

การศึกษามวลรวมละเอียดที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดสูงของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ เมื่อเร่งอุณหภูมิบ่มที่สูงขึ้น

Effect of Finesse Modulus and Curing Temperature on the Compressive Strength of Geopolymer Mortar

อนุชา บุญเกิด^{1*} สุภกิจ คุ่มเกิด² และ ชูชัย สุจิวิรกุล³

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง^{1*,2}

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี³

Anucha Boonkerd^{1*} Supakit Kumkerd² and Chuchai Sujivorakul³

Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University^{1*,2}

Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of
Technology Thonburi³

E-mail : Mailbox.mod@hotmail.com^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามวลรวมละเอียดที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดสูงของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เมื่อเร่งอุณหภูมิบ่มที่สูงขึ้นโดยขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ (1) อัตราส่วนของเถ้าลอยต่อมวลรวมละเอียด เท่ากับ 1:1.5 (2) อัตราส่วนของสารละลายต่างต่อเถ้าลอย (L/FA) 0.50 และ 0.75 (3) ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 10 โมลาร์ และ 14 โมลาร์ (4) อัตราส่วนสารละลายต่างเท่ากับ (NS/NH) 0.50 และ 0.75 (5) มวลรวมละเอียด หยาบแม่น้ำคัดขนาด ค้างตะแกรงเบอร์ 50 และ ค้างเบอร์ 100 (6) บ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เทียบกับอุณหภูมิปกติ ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 3 วัน และ 7 วัน จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.75 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง และที่อัตราส่วนเดียวกันเมื่อเพิ่มอุณหภูมิบ่ม กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่อายุบ่ม 7 วัน อุณหภูมิบ่ม 65 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายต่าง 14 โมลาร์ อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอย เท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนสารละลายต่าง 0.5 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 47.72 เมกะปาสกาล

คำสำคัญ : จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์, วัสดุประสาน, เถ้าลอย, กำลังรับแรงอัด

Abstract

This article reports the Study of Finesse Modulus in Effect for Compressive High Strength for Curing High Temperature of geopolymer mortar. The size of compression specimens was used in the tests according to ASTM C109, which has the cubic size of 50x50x50 mm. Parameters included: (1) Cementitious to sand ratio 1:1.5; (2) Solution to fly ash ratio of (L/FA) 0.50 and 0.75; (3) Sodium hydroxide concentration of 10 M and 14 M; (4) Sodium silicate to sodium hydroxide ratio of (NS/NH) 0.50 and 0.75 (5) Finesse Modulus of 2.75 (6) curing temperature of 65°C with normal temperature compares at on the 3 and 7 days compressive strength. The results indicated that compressive strength decreased with the increase in liquid to ash ratio (L/FA=0.70). At the same liquid to ash ratio, the increase in curing temperature from 65°C. However, in increase in the compressive strength maximum 47.72 MPa. at on 7 days, When the increase liquid

ratio compressive strength was decreased ($L/FA=0.5$, $NS/NH=0.5$). The cracking at the top surface of sample due to shrinkage was also observed.

Keywords: Geopolymer Mortar / Fly ash / Compressive Strength.

1. บทนำ

การศึกษาแนวทางการใช้วัสดุจีโอโพลิเมอร์ในงานคอนกรีตเป็นการส่งเสริมการผลิตวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่ไม่ต้องใช้น้ำซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในการศึกษาที่ผ่านมา [1-3] ได้มุ่งเน้นไปที่การผลิตวัสดุจีโอโพลิเมอร์จากวัสดุเหลือทิ้งหรือผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมภายในประเทศ โดยได้ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์ เช่น อุณหภูมิในการบ่มวัสดุจีโอโพลิเมอร์ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง และชนิดของวัสดุป้อนโซลานที่ใช้ทำจีโอโพลิเมอร์ ต่อสมบัติเชิงกลของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต ซึ่งพบว่าสมบัติดังกล่าวเป็นไปในทิศทางที่ดี และสามารถพัฒนาวัสดุได้อย่างต่อเนื่องได้ จีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในงานวัสดุก่อสร้าง วัสดุจีโอโพลิเมอร์จัดเป็นวัสดุเชื่อมประสานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำวัสดุพลอยได้จากอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรมมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิต ซึ่งถือเป็นการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี อีกทั้งยังใช้อุณหภูมิในการผลิตต่ำ การผลิตวัสดุจีโอโพลิเมอร์อาศัยหลักการทำปฏิกิริยาของซิลิกาและอะลูมินากับสารละลายต่างและใช้ความร้อนในการเร่งปฏิกิริยา สำหรับวัสดุตั้งต้นในประเทศไทยที่นิยมใช้ในการกระบวนการผลิตจีโอโพลิเมอร์ คือ เถ้าลอย ซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง เถ้าลอยดังกล่าวมีองค์ประกอบของซิลิกา อะลูมินาและแคลเซียมเป็นหลัก ส่งผลให้สามารถเกิดปฏิกิริยาในสภาวะสารละลายต่างได้ดี จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์ [4]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มีความสามารถในการรับกำลังได้ต่ำที่อุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) จำเป็นต้องใช้ความร้อนประมาณ 40-90 องศาเซลเซียส ในการเร่งปฏิกิริยา [5] ทำให้เป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ในงานทางด้านก่อสร้างจริง การเติมสารผสมเพิ่มจำพวกแคลเซียมในเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์ เช่น ยิปซัม และแคลเซียม เป็นต้น จึงได้รับการศึกษาและพัฒนา เพื่อให้วัสดุจีโอโพลิเมอร์สามารถรับกำลังได้เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิห้อง [6] แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นมีผลเชิงบวกต่อสมบัติทางกลของเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์ เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดผลผลิตไฮดรเจนแทรกอยู่กับจีโอโพลิเมอร์ทำให้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น [7]

อย่างไรก็ตามในการนำวัสดุจากการเหลือทิ้งของภาคอุตสาหกรรมมาใช้ในการก่อสร้างต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ เพื่อควบคุมให้เหมาะสมกับประเภทของการทำงาน งานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจในมวลรวมละเอียดที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เมื่อเร่งอุณหภูมิบ่มที่สูงขึ้นของระยะเวลาการบ่มในช่วงต้น

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุประสาน

วัสดุป้อนโซลาน ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash; FA) จากโรงไฟฟ้าฝ่ายผลิต อำเภอแม่เมาะ ซึ่งมีขนาดอนุภาคค้ำบน ตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 32 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 30.4 ไมครอน และความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.23 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินแม่เมาะ แสดงดังตารางที่ 1

มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ หินทรายแม่น้ำ ร่อนค้ำตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 ที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 2.75 และความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.61

สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3 ; NS) ซึ่งอัตราส่วน SiO_2 ต่อ Na_2O เท่ากับ 0.5 และ 0.75 โดยน้ำหนัก ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.36 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH; NH) ความเข้มข้น 10 และ 14 โมลาร์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของเถ้าลอย

| Material (%) | SiO_2 | CaO | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | SO_3 | MgO | K_2O | Na_2O | LOI |
|--------------|---------|-------|-----------|-----------|--------|------|--------|---------|------|
| FA | 30.10 | 22.81 | 17.10 | 16.60 | 5.64 | 2.24 | 2.21 | 1.47 | 0.06 |

2.2 วิธีการดำเนินการทดสอบ

ทดสอบกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 อัตราส่วนผสมของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์แสดงตารางที่ 2 เริ่มด้วยการผสมเถ้าลอยและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลาประมาณ 5 นาที ใส่มวลรวมละเอียดแล้วผสมต่อไปอีกประมาณ 5 นาที จากนั้นใส่สารละลายโซเดียมซิลิเกตและผสมต่อไปอีก 5 นาที หลังจากผสมจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เสร็จเทลงในแบบหล่อ ขนาด 50x50x50 มม. แบ่งเป็น 2 ชั้น เท่าๆ กัน เขย่าบนโต๊ะสั่นสะเทือนเป็นเวลา 10 วินาที แต่งผิวให้เรียบปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วหุ้มพลาสติกใสและนำเข้าตูบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการแกะแบบหล่อและบ่มต่อที่อุณหภูมิห้องจนอายุครบ 3 และ 7 วัน โดยผลการทดสอบใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ทำการวัดขนาด ซึ่งน้ำหนักของตัวอย่างและทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ทดสอบจนตัวอย่างสูญเสียกำลังหรือเกิดการวิบัติ พร้อมบันทึกค่าแรงกระทำและลักษณะของการแตกร้าวที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์

| Sample | Solution (Molar) | Mix Proportion (by Weight) | | | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------|------|-------|
| | | Curing | FA : Sand | L/FA | NS/NH |
| 10M,14M-C50S0.5L0.5 10M,14M-C100S0.5L0.5 | 10, 14 | Control | 1:1.5 | 0.50 | 0.50 |
| 10M,14M-C50S0.50L0.75 10M,14M-C100S0.50L0.75 | | | | | 0.75 |
| 10M,14M-C50S0.75L0.5 10M,14M-C100S0.75L0.5 | | | | 0.75 | 0.50 |
| 10M,14M-C50S0.75L0.75 10M,14M-C100S0.75L0.75 | | | | | 0.75 |
| 10M,14M-65C50S0.50L0.5 10M,14M-65C100S0.50L0.5 | | 65 °C | 1:1.5 | 0.50 | 0.50 |
| 10M,14M-65C50S0.50L0.75 10M,14M-65C100S0.50L0.75 | | | | | 0.75 |
| 10M,14M-65C50S0.75L0.5 10M,14M-65C100S0.75L0.5 | | | | 0.75 | 0.50 |
| 10M,14M-65C50S0.75L0.75 10M,14M-65C100S0.75L0.75 | | | | | 0.75 |

หมายเหตุ

| | |
|-------------------|---|
| L/FA | หมายถึง สารละลายต่างต่อเถ้าถ่านหิน (Liquid: Fly ash) |
| NS/NH | หมายถึง สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) |
| Control | หมายถึง ตัวอย่างควบคุมและทดสอบการบ่มที่อุณหภูมิห้องปกติ |
| 10MC50S0.5L0.5 | หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ ตัวอย่างควบคุมของมวลรวมละเอียด ค้างตะแกรงเบอร์ 50 อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอย 0.50 และอัตราส่วนสารละลายต่าง 0.50 |
| 10MC50S0.5L0.75 | หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 10 โมลาร์ อุณหภูมิบ่มปกติ มวลรวมละเอียด ค้างตะแกรงเบอร์ 50 อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอย 0.50 และอัตราส่วนสารละลายต่าง 0.75 |
| 14M65C100S0.5L0.5 | หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 14 โมลาร์ อุณหภูมิบ่ม 65 °C มวลรวมละเอียด ค้างตะแกรงเบอร์ 100 อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอย 0.50 และอัตราส่วนสารละลายต่าง 0.50 |



รูปที่ 1 การเตรียมตัวอย่างจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์และการทดสอบกำลังอัด

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

3.1 อุณหภูมิที่มีต่อกำลังอัด

เมื่อพิจารณาผลจากการทดสอบกำลังอัดที่สูงที่สุดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากเถาถ่านหินบ่มอุณหภูมิปกติและเร่งอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ตารางที่ 3 พบว่ากำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิบ่ม การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดอย่างรวดเร็วในระยะเวลาช่วงต้น เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายต่างที่สูงขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ เช่น จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ บ่มอุณหภูมิห้องปกติ 3 วัน ใช้มวลรวมละเอียดคัดขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 31.92 เมกะปาสกาล กำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 279 ที่อายุการทดสอบเดียวกันทั้งอุณหภูมิปกติและเพิ่มอุณหภูมิบ่ม ทั้งนี้เป็นผลจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นสามารถชะลิกและอลูมินาจากเถาถ่านหินได้มากขึ้น ส่งผลให้จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มีกำลังอัดสูงตามไปด้วย [8-9] อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา กำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ที่เพิ่มอุณหภูมิบ่ม 65 องศาเซลเซียส และบ่มอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน พบว่าจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มีกำลังอัดลดลงที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 14 โมลาร์ อาจเป็นผลจากปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากเกินไปและเหลือจากการทำปฏิกิริยาและเมื่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สัมผัสกับความชื้นจะมีลักษณะลื่น ซึ่งอาจทำให้การยึดเกาะของจีโอโพลีเมอร์เจลกับมวลรวมในมอร์ตาร์ลดลงได้ [1]

ตารางที่ 3 กำลังอัดที่สูงที่สุดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากเถาถ่านหิน

| Specimens | Curing Temp. | Compressive Strength (MPa.) | | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------------------|----------|--------|---------|----------|--------|
| | | 3 days | | | 7 days | | |
| | | Control | Strength | % | Control | Strength | % |
| 10MC100S0.75L0.75 | Control | | 24.70 | | | 20.55 | |
| 10M65C50S0.5L0.5 | 65 °C | 11.44 | 31.92 | 279.00 | 15.40 | 18.76 | 121.80 |
| 14M65C50S0.5L0.5 | | | | | 10.79 | 47.72 | 442.41 |
| 14M65C50S0.75L0.75 | | 10.62 | 21.70 | 204.47 | | | |
| 10M65C100S0.75L0.75 | | | | | 20.55 | 26.67 | 129.75 |
| 14M65C100S0.5L0.5 | | 18.67 | 21.98 | 117.75 | 32.90 | 40.85 | 124.17 |

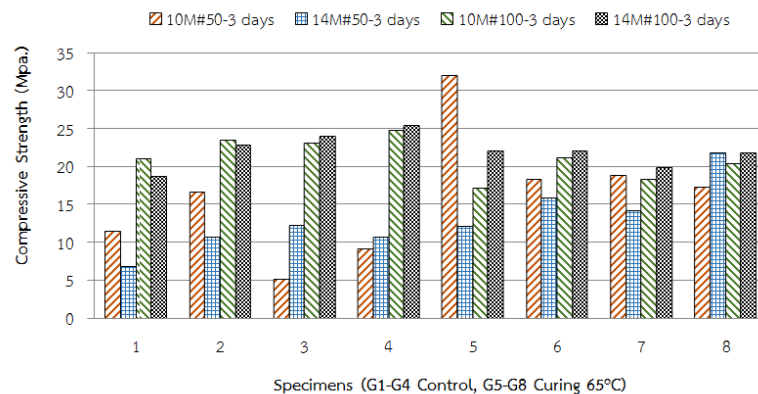
หมายเหตุ

Control หมายถึง ตัวอย่างควบคุมและทดสอบการบ่มที่อุณหภูมิห้องปกติ

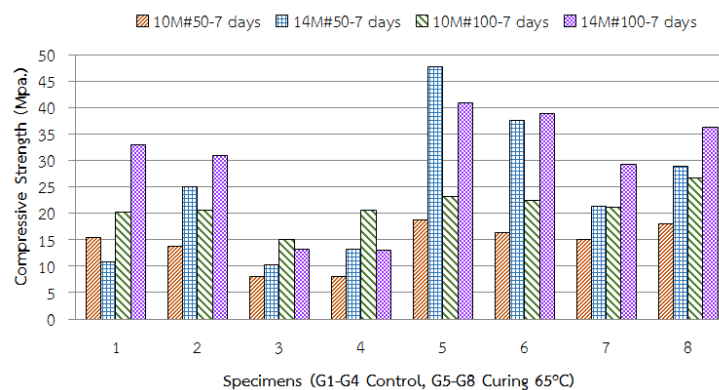
กรณีที่ใช้อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอยเดียวกันและเพิ่มอุณหภูมิบ่ม และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 65 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมงแรก ค่ากำลังอัดลดลงทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากการหดตัวของตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวที่ผิวหน้า เมื่ออุณหภูมิบ่มตัวอย่างอัตราเกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่ผิวหน้า เมื่อบ่มในอุณหภูมิที่สูงขึ้นผิวหน้าจะเกิดการแตกร้าว และเกิดการหดตัวของตัวอย่าง การใช้อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอยเพิ่มขึ้นคาดว่าจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายต่างทั้งสองชนิดกับเถ้าลอย และการเพิ่มอุณหภูมิบ่มคาดว่าจะเป็นการเร่งความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้ได้เป็นวัสดุประสานที่มีการต้านทานกำลังอัดที่ดี

3.2 อิทธิพลของมวลรวมละเอียด

จากรูปที่ 2 และรูปที่ 3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าถ่านหินกับมวลรวมละเอียด ที่อัตราส่วนผสม 1:1.5 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 และ 14 โมลาร์ บ่มอุณหภูมิห้องปกติกับเร่งอุณหภูมิบ่ม 65 องศาเซลเซียส ทดสอบกำลังอัดที่ 3 และ 7 วัน พบว่ามวลรวมละเอียดที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารละลายต่าง 14 โมลาร์ ขนาดมวลรวมละเอียดค่าตะแกรงเบอร์ 100 เร่งอุณหภูมิบ่ม 65 องศาเซลเซียส และทดสอบที่ 7 วัน ทำให้กำลังอัดมีแนวโน้มในการพัฒนาไปในทางที่ดี แต่ในทางกลับกันเมื่อมีความละเอียดสูงกำลังอัดในระยะเวลาดังต้นต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยาของจีโอโพลิเมอร์เกิดจากปฏิกิริยากอนเดนเซชันช่วงต้น จากการควบแน่นของน้ำที่มีอยู่ในสารละลายต่างในช่วงต้นเมื่อเร่งอุณหภูมิบ่ม หลังจากนั้นก็เมื่อระยะเวลาที่มากขึ้นเกิดการพัฒนาโดยแยกโมเลกุลของน้ำออกหรือการคายน้ำออกที่แทรกอยู่ในมวลรวมละเอียดและเกิดได้จากสารละลายต่างที่ชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากเถ้าถ่านหินออกมาและมีแนวโน้มเกิดการพัฒนากำลังอัดได้ดีในช่วงปลาย



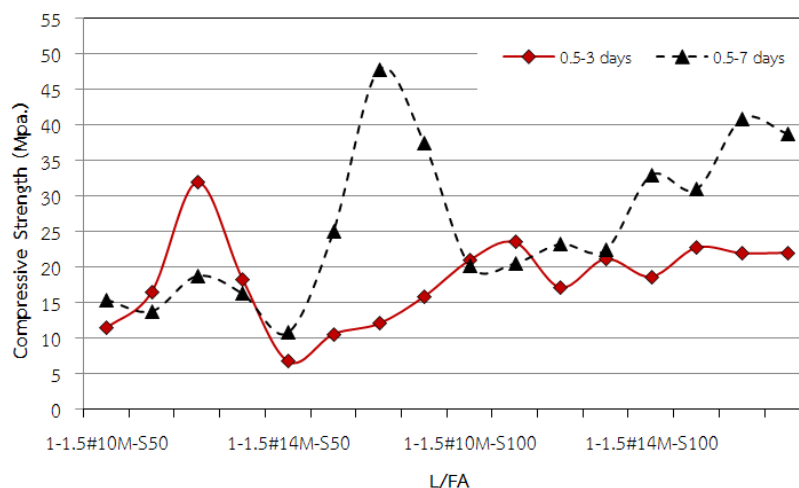
รูปที่ 2 เปรียบเทียบกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์กับอุณหภูมิบ่มที่ต่างกัน อายุการทดสอบ 3 วัน



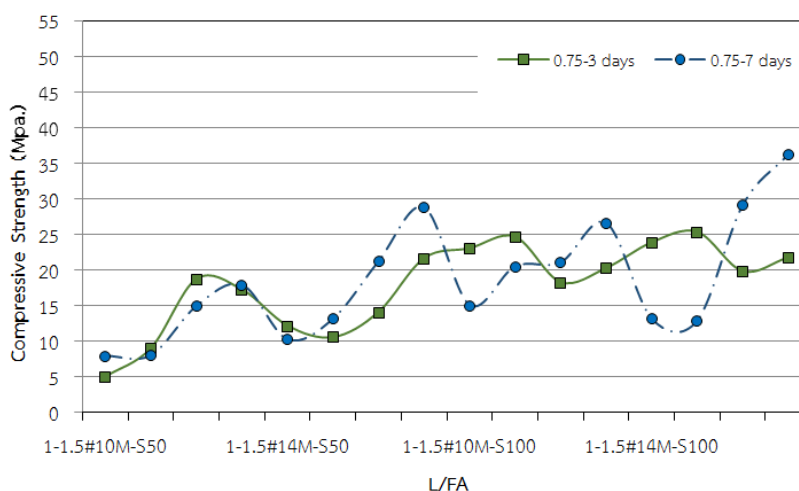
รูปที่ 3 เปรียบเทียบกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์กับอุณหภูมิบ่มที่ต่างกัน อายุการทดสอบ 7 วัน

3.3 อิทธิพลของอัตราส่วนสารละลายต่าง

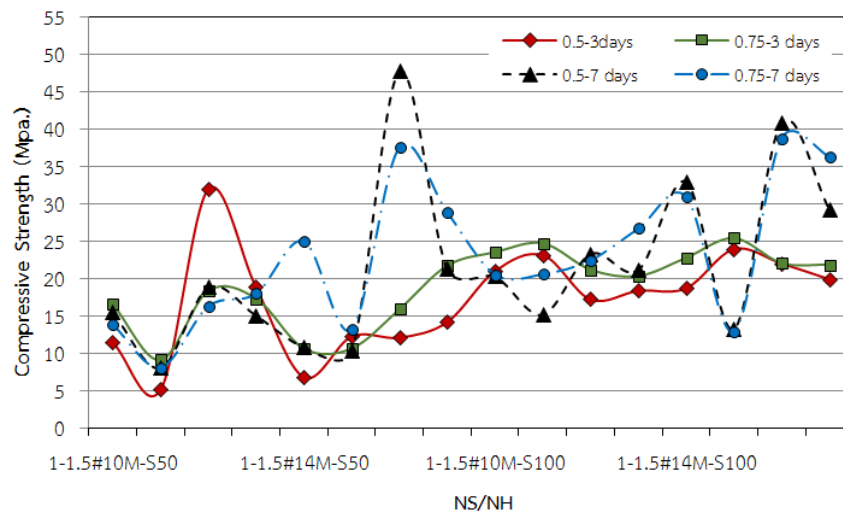
จากรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 5 เปรียบเทียบกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์กับอัตราส่วนของสารละลายต่างเท่ากับ 0.5 และ 0.75 ต่อเก้านหิน ทดสอบที่ระยะเวลา 3 วัน และ 7 วัน พบว่าทุกอัตราส่วนของสารละลายต่างต่อเก้านหินมีแนวโน้มต่อการพัฒนากำลังที่สูงขึ้นเมื่อระยะเวลาที่มากขึ้น และจากรูปที่ 4 เมื่อบ่มอย่างต่อเนื่องจนครบ 7 วัน ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายต่าง 14 โมลาร์ อัตราส่วนสารละลายต่างต่อเก้านหิน 0.5 และอัตราส่วนสารละลายต่าง 0.5 กำลังอัดเพิ่มขึ้น 47.72 เมกะปาสกาล ซึ่งทำให้ทราบว่าอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายต่าง และแรงอุณหภูมิมีผลต่อกำลังอัดที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน และจากรูปที่ 6 เปรียบเทียบกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์กับอัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่อแรงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่อายุ 3 วันความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ทราศัดขนาดเบอร์ 50 อัตราส่วนสารละลายต่างต่อเก้านหิน 0.5 และอัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 (10M65C50S0.5L0.5) ค่ากำลังอัดเท่ากับ 31.92 เมกะปาสกาล อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นและแรงอุณหภูมิในช่วงต้นมีผลต่อกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์



รูปที่ 4 ผลของอัตราส่วน L/FA เท่ากับ 0.5 ต่อกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากเก้านหิน



รูปที่ 5 ผลของอัตราส่วน L/FA เท่ากับ 0.75 ต่อกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากเก้านหิน



รูปที่ 6 ผลของความเข้มข้นของ NS/NH ต่อกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าถ่านหิน

4. สรุปผลการวิจัย

4.1 อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผสมวัสดุประสานที่ทำให้ได้กำลังอัดสูงที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ที่อายุ 3 วัน ความเข้มข้นของสารละลายต่าง 10 โมลาร์ ทรายคัตขนาดเบอร์ 50 อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าถ่านหินเท่ากับ 0.50 และอัตราส่วนสารละลายต่าง เท่ากับ 0.50 กำลังอัดเท่ากับ 31.92 เมกะปาสกาล ร้อยละ 279 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิปกติในอัตราส่วนผสมเดียวกัน

4.2 ระยะเวลาช่วงต้นที่เกิดจากใช้อุณหภูมิเพื่อเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำให้ตัวอย่างมีกำลังอัดที่สูงที่สุด ของอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ที่อายุ 7 วัน ความเข้มข้น 14 โมลาร์ ทรายคัตขนาดเบอร์ 50 อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าถ่านหินเท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนสารละลายต่าง เท่ากับ 0.50 กำลังอัดเท่ากับ 47.72 เมกะปาสกาล ร้อยละ 442.41

4.3 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ ที่เพิ่มอุณหภูมิช่วงต้น โดยการใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในช่วง 14 โมลาร์ ทรายคัตขนาดเบอร์ 100 ให้กำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ไม่แตกต่างกันมากและมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาที่มากขึ้น

4.4 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์พบว่าจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่บ่มด้วยอุณหภูมิปกติมีอัตราการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และต่อเนื่อง สำหรับกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่เร่งอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส พัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น

5 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเรื่องกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เมื่อเร่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นของระยะเวลาการบ่มในช่วงต้น มีประเด็นที่น่าสนใจ สามารถอภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้

อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าถ่านหินเดียวกันและเพิ่มอุณหภูมิ พบว่าเมื่ออุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากการหดตัวของตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวที่ผิวหน้า กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิบ่มตัวอย่างอัตราเกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่ผิวหน้า

กำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น และมีการพัฒนากำลังอัดในอัตราที่สูงในช่วง 3 วันแรก หลังจากนั้นกำลังอัดมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้น

6. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ควรควบคุมการสูญเสียความชื้นขณะใช้งาน เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนที่สูงกระทบกับตัวอย่างโดยตรงเพื่อลดการแตกร้าวที่ผิวหน้าของตัวอย่างได้

ควรศึกษาผลของการใช้เถ้าลอยเพื่อผลิตจีโอโพลีเมอร์ในด้านความทนทานต่อสภาวะการกัดกร่อนจากสารเคมีอื่นๆ โดยทดสอบในแบบเร่งควบคู่กับธรรมชาติในระยะเวลาที่นานขึ้น

ควรมีการศึกษาระยะเวลาการก่อตัวที่จะนำจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ไปใช้งานอุตสาหกรรมก่อสร้าง

ควรมีการศึกษาสัดส่วนการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นโดยลดความเข้มข้นของสารกระตุ้นลงเพื่อประหยัดการใช้สารเคมี และลดฤทธิ์ความรุนแรงของสารได้

เนื่องจากจีโอโพลีเมอร์ต้องเตรียมจากสารละลายต่างสูง การทำงานจริงจึงต้องมีการระมัดระวัง ควรหาแนวทางที่จะใช้สารละลายที่มี pH ที่ไม่อันตรายมากนัก

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ท่านสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานวิจัยและพัฒนา ประจำปี 2561 มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง และสาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จังหวัดราชบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชรินทร์ เสนาวงษ์, เกียรติสุตา สมนา และ วิเชียร ชาลี, 2553. กำลังอัดและกำลังยึดเหนี่ยวของจีโอโพลีเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหิน. *Burapha Sci.*, J.15(1) : 13-22
- [2] Gum Sung Ryu, Young Bok Lee, Kyung Taek Koh, Young Soo Chung, 2013. The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. *Constr Build Mater*, 47 : 409-418.
- [3] P. Chindapasirt, W. Chalee, C. Jaturapitakkul, U. Rattanasak, 2009. Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers. *Waste Manage*, 29 : 539-543.
- [4] Hanjitsuwan, S., Phoo-ngernkham, T. and Chindapasirt, P., (2013). "Influence of Fineness of High Calcium Fly Ash on Properties of Geopolymer Paste," *KMUTT Research and Development Journal*. 36(4) : 399-408.
- [5] Bakharev, T., (2006). "Thermal Behaviour of Geopolymers Prepared Using Class F Fly Ash and Elevated Temperature Curing," *Cement and Concrete Research*. 36(6) : 1134-1147.
- [6] Allahverdi, A., Kani, E.N. and Yazdanipour, M., (2011). "Effects of Blast-furnace Slag on Natural Pozzolan-based Geopolymer Cement," *Ceramics- Silikaty*. 55(1) : 68-78.
- [7] Garcia-Lodeiro, I., Palomo, A., Fernandez-Jimenez, A. and MacPhee, D.E., (2011). "Compatibility Studies between N-A-S-H and C-A-S-H Gels. Study in the Ternary Diagram Na₂O-CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O," *Cement and Concrete Research*, 41(9) : 923-931.
- [8] C. Sanawong, W. Chalee, 2010. Water permeability in fly ash based geopolymer concrete. *J. of Civil engineering and architecture*, 4 : 15-19.
- [9] U. Rattanasak, P. Chindapasirt, 2009. Influence of Na(OH) solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Miner Eng*, 22 : 1073-1078.