

# กำลังอัดและการดูดซึมน้ำจีโอพอลิเมอร์เถ้าลอยผสมเถ้าไม้ยางพารา Compressive Strength and Water Absorption of Fly Ash Based Geopolymer Containing Para Wood Ash

มุอัหมัดรีซวัน วาเต็ง<sup>1</sup> อีรวัน รอมะ<sup>1\*</sup> และ จีรายุทธ์ นุเคราะห์วัด<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา มหาวิทยาลัยนครราชสีมาชนครินทร์ อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัด  
นครราชสีมา 96000

รับบทความ 29 กันยายน 2568

แก้ไขบทความ 20 พฤศจิกายน 2568

ตอบรับบทความ 28 พฤศจิกายน 2568

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนสารละลายอัลคาไลน์ต่อตัววัสดุประสาน และการแทนที่เถ้าลอยด้วยเถ้าไม้ยางพาราต่อคุณสมบัติของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ โดยใช้อัตราส่วนสารอัลคาไลน์ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 อัตราส่วนโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 2.5 ใช้เถ้าไม้ยางพาราร้อย 0, 20, 40 และ 60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.2 และ 0.3 และอัตราส่วนทรายเท่ากับ 2.75, 3.00 และ 3.25 โดยน้ำหนักทุกส่วนผสม ใช้การบ่มที่อุณหภูมิห้อง  $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 1, 7 และ 28 วัน และการทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสม 40P0.6A สามารถให้กำลังอัดสูงสุด 35.93 เมกะพาสคัล มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.88 ที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 24 ชม. การเพิ่มปริมาณเถ้าไม้ยางพาราและทรายทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มอัตราส่วนสารอัลคาไลน์มากขึ้นการดูดซึมน้ำลดลง การวิจัยนี้มีประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมโดยช่วยลดการใช้ปูนซีเมนต์และนำของเสียจากชีวมวลกลับมาใช้ใหม่ในการผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรงและทนทาน

**คำสำคัญ :** เถ้าลอย; เถ้าไม้ยางพารา; วัสดุประสาน; สารอัลคาไลน์; จีโอพอลิเมอร์

\* ผู้ประพันธ์หลัก E-mail : eruwan.r@pnu.ac.th



# กำลังอัดและการดูดซึมน้ำจีโอพอลิเมอร์เถ้าลอยผสมเถ้าไม้ยางพารา Compressive Strength and Water Absorption of Fly Ash Based Geopolymer Containing Para Wood Ash

Muhamadrisuwan Wadeng<sup>1</sup> Eruwan Romoh<sup>1\*</sup> and Jeerayut Nukrohwa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Building Construction, Naradhiwas Technical College, Princess of Naradhiwas University, Mueang Narathiwat District, Narathiwat 96000

Received 29 September 2025

Revised 20 November 2025

Accepted 28 November 2025

## Abstract

This study aimed to evaluate the effects of the alkaline solution-to-binder ratio and partial replacement of fly ash with Para wood ash on the properties of geopolymer mortar. The mix variables included alkaline-to-binder ratios of 0.4, 0.6, and 0.8; a sodium silicate-to-sodium hydroxide ratio of 2.5; Para wood ash contents of 0%, 20%, 40%, and 60%; water-to-binder ratios of 0.2 and 0.3; and sand-to-binder ratios of 2.75, 3.00, and 3.25 by mass across all mixtures. Specimens were ambient-cured at  $30 \pm 2$  °C for 24 h, with compressive strength tested at 1, 7, and 28 days and water absorption measured at 28 days. The 40P0.6A mixture exhibited the highest compressive strength of 35.93 MPa and a 24-h water absorption of 0.88%. Increasing the Para wood ash and sand contents increased water absorption, whereas increasing the alkaline-to-binder ratio reduced it. Environmentally, this research is beneficial for lowering cement consumption and upcycling biomass waste to produce durable, high-strength construction materials.

**keyword :** Fly ash; Para wood ash; Binder; Alkaline activator; Geopolymer

---

\* Corresponding author E-mail : eruwan.r@pnu.ac.th

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานมีความจำเป็นสำหรับหลาย ๆ ประเทศ โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนา หนึ่งในวัสดุที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากคือคอนกรีต ในประเทศกำลังพัฒนามีแนวโน้มการใช้คอนกรีตเพิ่มทุกปี ซึ่งต้องใช้น้ำซีเมนต์ในการเชื่อมประสานระหว่างมวลรวม แต่ในการผลิตปูนซีเมนต์นั้นต้องมีการทำลายธรรมชาติ มีการทำเหมือง และยังปล่อยก๊าซคาร์บอนเป็นจำนวนมากในขั้นตอนกระบวนการผลิต ในขณะที่ปัจจุบันได้มีความพยายามจากหลาย ๆ ฝ่ายที่จะให้มีการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน ในส่วนของการผลิตคอนกรีตนั้นได้มีนักวิจัยทำการศึกษาวัดผลเสียต่าง ๆ มาแทนที่ปูนซีเมนต์ อย่างไรก็ตาม ยังสามารถแทนที่ได้บางส่วน เช่น แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ เถ้าลอย เถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ถึงกระนั้นก็ตามนักวิจัยได้มีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการใช้วัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ ทั้งหมดโดยไม่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้องอย่างจีโอพอลิเมอร์

จีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุประสานชนิดหนึ่งที่สามารถเชื่อมประสานระหว่างมวลรวม โดยการเกิดปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชัน (Geopolymerization) เกิดเป็นผลิตภัณฑ์และมีการยึดประสาน ในการเกิดปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชันจะมีซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) และอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) เป็นองค์ประกอบหลัก องค์ประกอบทางเคมีทั้งสองพบในเถ้าลอย และดินขาวเผา ซึ่งทำให้วัสดุทั้งสองได้รับความนิยมใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตจีโอพอลิเมอร์ [1-3] อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษาวัดผลตั้งต้นอื่น ๆ เช่น เถ้าปาล์มน้ำมัน [4] เถ้าแกลบ [5] เถ้าขานอ้อย [6] เป็นต้น แต่วัสดุเหล่านี้ให้กำลังอัดได้ไม่สูงเมื่อเทียบกับการใช้เถ้าลอยหรือดินขาวเผา ถึงกระนั้นก็ตามเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดนี้ นักวิจัยได้นำวัสดุตั้งต้นเหล่านี้มาผสมร่วมกับเถ้าลอยหรือดินขาวเผา ซึ่งสามารถให้ค่ากำลังอัดที่สูงขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม [7-9] หรืออาจมีการผสมวัสดุตั้งต้นมากกว่า 2 ชนิด [10-12] การที่จีโอพอลิเมอร์สามารถให้สมบัติที่คล้ายปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดการศึกษาจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตเพื่อใช้แทนคอนกรีตทั่วไป นอกจากนั้นจีโอพอลิเมอร์ยังช่วยปัญหาสิ่งแวดล้อมได้สองทางเป็นหลัก 1. ลดการใช้ปูนซีเมนต์ ที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนในกระบวนการผลิต 2. ลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายในการกำจัด

จีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยได้มีการศึกษามาระยะหนึ่งแล้วทำให้ผลการทดสอบเป็นที่ชัดเจนถึงสมบัติต่าง ๆ แต่ด้วยที่มีความต้องการเพิ่มสมบัติด้านกำลังหรือด้านอื่น ๆ ให้ดีขึ้น จึงได้มีการศึกษาการใช้วัสดุอื่นเข้าผสมโดยการแทนที่บางส่วนในเถ้าลอย เช่นการแทนที่ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน Ranjbar และคณะ [13] ศึกษาจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยผสมด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 5-100 โดยน้ำหนัก โดยผลการทดสอบพบว่าส่วนผสมเถ้าปาล์มน้ำมันไม่ได้ทำให้กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การผสมเถ้าปาล์มน้ำมันทำให้ความหนาแน่นของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ลดลงอย่างชัดเจน Nuaklong และคณะ [14] ใช้เถ้าแกลบผสมเพิ่มในจีโอพอลิเมอร์ร้อยละ 1.2, 2.4 และ 3.6 โดยน้ำหนัก เทียบกับเถ้าลอย พบว่าการผสมเพิ่มเถ้าแกลบส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตมีค่าสูงขึ้นในทุกอายุบ่ม 7, 28 และ 90 วัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของพันธะ Si-O-Si จากปฏิกิริยาและยังมีการเพิ่มขึ้นของเฟสผลึกฐานที่มีการผสม  $\text{SiO}_2$  ทำให้มีกำลังอัดเพิ่มขึ้น Rihan และคณะ [15] กล่าวว่า จีโอพอลิเมอร์เถ้าลอยผสมเถ้าขานอ้อยให้ค่ากำลังอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าขานอ้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตมีการบ่มร้อน 24 ชม. พบว่าจีโอพอลิเมอร์เถ้าลอยผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 5 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไปสามารถให้กำลังที่สูงกว่าจีโอพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อย Abdulkareem และคณะ [16] รายงานผลการศึกษาจีโอพอลิเมอร์เถ้าลอยผสมเถ้าไม้ โดยการแทนที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก การผสมเถ้าไม้ไม่ผลให้ระยะเวลาก่อตัวลดลงอย่างชัดเจน ในขณะที่กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้เถ้าลอยเพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นยังพบว่ารูพรองมีปริมาณน้อยกว่า Bijeljic และคณะ [17] ใช้เถ้าไม้เข้าไปแทนที่บางส่วนในเถ้าลอยในการผลิตจีโอพอลิเมอร์ พบว่าการแทนที่เถ้าไม้ร้อยละ 20 สามารถให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และยังสามารถลดการกัดกร่อนจากซัลเฟตได้อีกด้วย Arunkumar และคณะ [18] ใช้เถ้าไม้ที่มีแคลเซียมต่ำเป็นส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีต โดยการแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 0-100 พบว่าที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักสามารถให้กำลังอัดสูงสุด

เถ้าไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าชีวมวล มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาล มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลัก [19, 20] ที่ผ่านมามี



| สารประกอบ                      | เถ้าลอย<br>(ร้อยละ) | เถ้าไม่ยางพารา<br>(ร้อยละ) |
|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 45.27               | 14.73                      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23.00               | 6.50                       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9.39                | 3.01                       |
| CaO                            | 12.47               | 31.90                      |
| MgO                            | 1.70                | 4.58                       |
| Na <sub>2</sub> O              | 1.03                | 0.18                       |
| K <sub>2</sub> O               | 2.31                | 2.63                       |
| SO <sub>3</sub>                | 2.73                | 0.34                       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -                   | 3.50                       |
| TiO <sub>2</sub>               | -                   | 0.47                       |

ทั้งหมดผสมอย่างทั่วถึงเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์เหลวเทเข้าแบบหล่อขนาด 5x5x5 ซม. เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 24 ชม. แล้วทำการแกะแบบหล่อ นำจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจนครบอายุการทดสอบ ซึ่งการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 1, 7 และ 28 วัน การดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน อัตราส่วนผสมเป็นไปตามตารางที่ 2

การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสารอัลคาไลน์ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8 0.6 และ 0.4 (0.8A, 0.6A และ 0.4A) ตามลำดับ

การศึกษาอิทธิพลของน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.3 และ 0.2 (0.6A และ 0.6A-0.2 กับ 0.4A และ 0.4A-0.2) ตามลำดับ

การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการแทนเถ้าลอยด้วยเถ้าไม่ยางพาราเท่ากับ 0.2 0.4 และ 0.6 (20P0.6A, 40P0.6A และ 60P0.6A) ตามลำดับ

การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.75 3.00 และ 3.25 (60P0.6A, 60P0.6A-3S และ 60P0.6A-3.25S)

### 2.3 การทดสอบ

การทดสอบกำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ทดสอบมาตรฐาน ASTM C109/C109M [22] ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine เมื่อตัวอย่างอายุครบ 1, 7 และ 28 วัน ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง มาเฉลี่ยค่า

การทดสอบการดูดซึมน้ำใช้ตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม. ที่อายุครบ 28 วัน เริ่มจากการนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปแช่น้ำที่เตรียมไว้ เมื่อแช่น้ำครบ 1 ชม. ยกตัวอย่างขึ้นมาเช็ดผิวให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำตัวอย่างไปแช่ต่อ 5 ชม. รวมเป็น 6 ชม. ยกตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำกลับไปแช่น้ำอีกครั้งให้ครบ 24 ชม. โดยรวมระยะเวลาแช่น้ำก่อนหน้า น้ำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณที่อายุ 1, 6 และ 24 ชม. เพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำโดยใช้สมการ (1)

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ (เทียบกับเถ้าลอย 1,000 กรัม) สืบหาหมายถึง การจัดกลุ่มของอิทธิพลต่าง ๆ

| สัญลักษณ์     | เถ้าลอย | เถ้าไม่ยางพารา | โซเดียมซิลิเกต | โซเดียมไฮดรอกไซด์ | ทราย  | น้ำ |
|---------------|---------|----------------|----------------|-------------------|-------|-----|
| 0.8A          | 1,000   | 0              | 571.5          | 228.6             | 2,750 | 300 |
| 0.6A          | 1,000   | 0              | 428.5          | 171.5             | 2,750 | 300 |
| 0.4A          | 1,000   | 0              | 285.7          | 114.3             | 2,750 | 300 |
| 0.6A-0.2      | 1,000   | 0              | 428.5          | 171.5             | 2,750 | 200 |
| 0.4A-0.2      | 1,000   | 0              | 285.7          | 114.3             | 2,750 | 200 |
| 20P0.6A       | 800     | 200            | 428.5          | 171.5             | 2,750 | 300 |
| 40P0.6A       | 600     | 400            | 428.5          | 171.5             | 2,750 | 300 |
| 60P0.6A       | 400     | 600            | 428.5          | 171.5             | 2,750 | 300 |
| 60P0.6A-3S    | 400     | 600            | 428.5          | 171.5             | 3,000 | 300 |
| 60P0.6A-3.25S | 400     | 600            | 428.5          | 171.5             | 3,250 | 300 |

$$W_{ab} = \left( \frac{W_f - W_i}{W_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดย

$W_{ab}$  = การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)

$W_f$  = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม)

$W_i$  = น้ำหนักหลังแช่น้ำแต่ละอายุ (กรัม)

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 3.1 กำลังอัด

##### 3.1.1 อิทธิพลของสารอัลคาไลน์

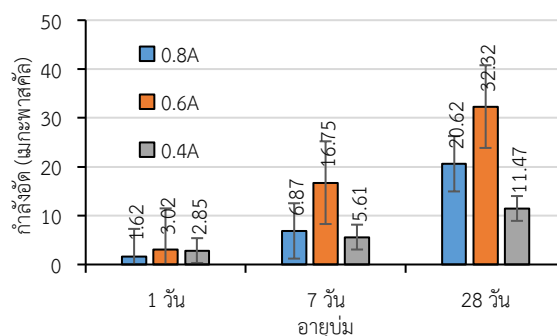
ผลการศึกษากำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอย เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลของสารอัลคาไลน์ดังรูปที่ 2 พบว่ากำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุ 1 วัน มีค่าใกล้เคียงทั้งสามอัตราส่วนผสม (0.8, 0.6 และ 0.4) แต่เมื่ออายุถึง 7 วัน ขึ้นไป อัตราส่วนสารอัลคาไลน์ต่อเถ้าลอยที่ 0.6 มีกำลังอัดสูงชันอย่างโดดเด่นทั้งที่อายุ 7 และ 28 วัน เป็นไปได้ว่าที่อัตราส่วน 0.6 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมตามอัตราส่วนผสมการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สกลวรรณ และคณะ [23] ตัวอย่าง 0.6A สามารถให้กำลังอัดได้สูงสุด ซึ่งในอัตราส่วนผสมสารอัลคาไลน์ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8 และ 0.4 มีกำลังที่น้อยกว่า 0.6 อย่างชัดเจน เป็นไปได้ว่าการใช้สารละลาย 0.8 ทำให้มีสารอัลคาไลน์ในระบบมากเกินไปสำหรับการทำปฏิกิริยา ในขณะที่การใช้สารละลาย 0.4 มีสารอัลคาไลน์น้อยเกินไป

ในการศึกษานี้ใช้การบ่มที่อุณหภูมิห้อง ( $32 \pm 2$  องศาเซลเซียส) ทำให้กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุ 1 วัน มีค่ากำลังอัดน้อย เนื่องจากจีโอพอลิเมอร์บ่มที่อุณหภูมิสูงถึงสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาได้

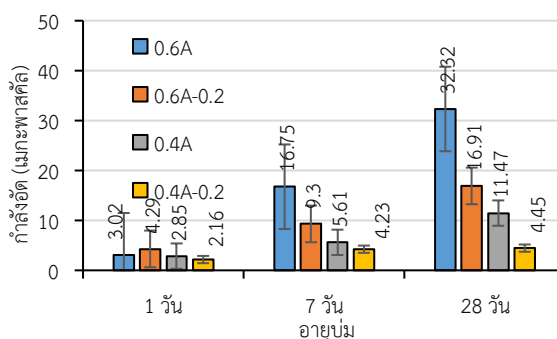
##### 3.1.2 อิทธิพลของน้ำ

อิทธิพลของน้ำที่มีผลต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ดังรูปที่ 3 จีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์มีการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.2 และ 0.3 ของตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนสารละลายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.4 และ 0.6 โดยน้ำหนัก ช่วงอายุบ่ม 1 วัน อัตราส่วนที่แตกต่างกันดังที่กล่าวข้างต้นไม่ได้มีผลต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์มากนัก เนื่องจากการทำปฏิกิริยาช่วงแรกเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จากการบ่มที่อุณหภูมิปกติ กำลังอัดมีค่า

เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม การบ่มที่อุณหภูมิห้องไม่สามารถให้กำลังในช่วงแรก แต่จะให้กำลังอัดสูงที่อายุ 28 วัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณน้ำพบว่าการลดปริมาณน้ำมีผลให้กำลังอัดลดลงทั้งที่อัตราส่วนสารอัลคาไลน์ต่อวัสดุประสาน 0.4 และ 0.6 เนื่องจากปริมาณน้ำที่ลดลงมีผลทำให้เนื้อจีโอพอลิเมอร์แห้ง ซึ่งในขั้นตอนการผสมเมื่อเนื้อจีโอพอลิเมอร์แห้งทำให้เนื้อจีโอพอลิเมอร์ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีโพรงจำนวนมาก ซึ่งดูได้จากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ การใช้ น้ำ 0.2 ในตัวอย่าง 0.4A และ 0.4A-0.2 ตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์มีการดูดซึมน้ำมากขึ้นอย่างชัดเจน จากศึกษาของ Wardhono และคณะ [24] พบว่าจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อเถ้าลอยเท่า 0.3 สามารถให้กำลังอัดดีที่สุด ในขณะที่อัตราส่วน 0.2 กำลังอัดที่ได้มีค่าลดลง แต่ถึงกระนั้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมากกว่า 0.3 ค่ากำลังอัดมีค่าลดลงตามปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้น



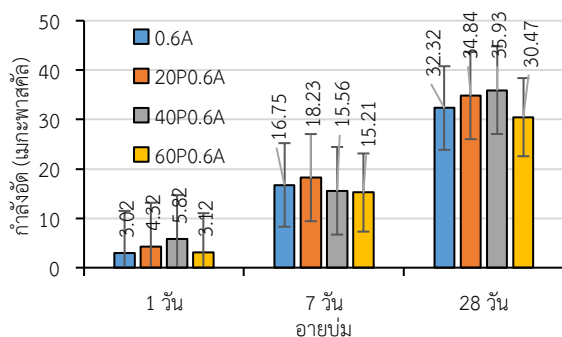
รูปที่ 2 กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนสารอัลคาไลน์ต่อวัสดุประสาน



รูปที่ 3 กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

### 3.1.3 อิทธิพลของเถ้าเฝ้ายางพารา

จีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ใช้เถ้าลอยผสมเถ้าเฝ้ายางพาราเป็นวัสดุประสานร่วม โดยใช้เถ้าเฝ้ายางพาราเข้าแทนที่เถ้าลอยบางส่วนร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเถ้าเฝ้ายางพาราร้อยละ 10 และ 20 ส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์ให้กำลังอัดดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เถ้าลอยเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าการผสมเถ้าเฝ้ายางพาราที่มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักนั้นส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยามีผลให้กำลังอัดสูงขึ้น Garcia-Lodeiro และคณะ [25] กล่าวว่า การเพิ่ม Ca ส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้นเนื่องการเกิด C-S-H และ C-A-S-H เจล เพิ่มขึ้น Abdulkareem และคณะ [16] รายงานว่าการแทนที่เถ้าเฝ้ายางพาราร้อยละ 10 ในเถ้าลอยส่งผลให้กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างไม่ได้ผสมเถ้าเฝ้ายางพารา ปริมาณ CaO ที่สูงเมื่อมีการผสมกับสารอัลคาไลด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชันเนื่องจากมีไอออน  $Ca^{+2}$  ที่มีปฏิกิริยาสูง เกิดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชันมากขึ้นมีผลให้มีความแข็งแรงมากขึ้น [26] อย่างไรก็ตามเมื่อผสมเถ้าเฝ้ายางพาราร้อยละ 30 กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างไม่ผสมเถ้าเฝ้ายางพารา (0.6A) การทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ Bijeljic และคณะ [17] เมื่อแทนที่เถ้าลอยด้วยเถ้าเฝ้ายางพารามากกว่าร้อยละ 20 กำลังอัดลดลง

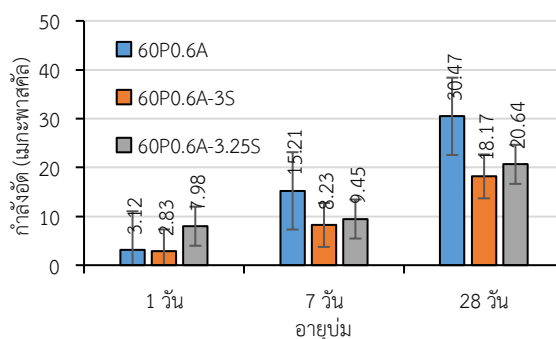


รูปที่ 4 กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเถ้าเฝ้ายางพารา

### 3.1.4 อิทธิพลของมวลรวม

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ใช้อัตราส่วนมวลรวมต่อวัสดุประสาน 1,000 กรัม

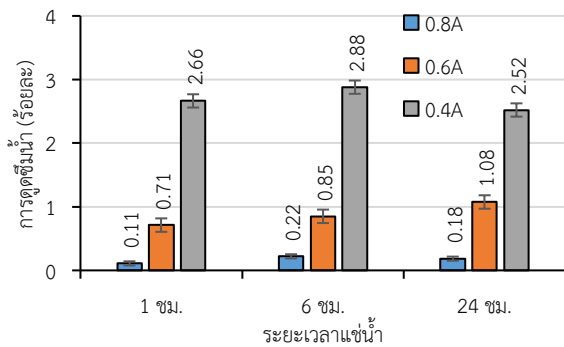
เท่ากับ 2,750, 3,000 และ 3,250 กรัม ผลการทดสอบมีความคล้ายกับอัตราส่วนอื่น ๆ เมื่ออายุ 1 วัน กล่าวคือ มีกำลังอัดใกล้เคียงกัน แต่หลังจาก 7 วัน ขึ้นไปกำลังอัดตัวอย่างที่ใช้ทราย 2,750 กรัม (60P0.6A) มีค่ากำลังอัดสูงกว่าการใช้ทราย 3,000 และ 3,250 กรัม ทั้งที่ 7 และ 28 วัน เนื่องจากปริมาณทรายที่เพิ่มมากขึ้นทำให้วัสดุประสานเคลือบผิวมวลรวมไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างมวลรวมลดลงและยังทำให้มีรูโพรงเกิดขึ้นพิจารณาได้จากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำดังรูปที่ 6(ง)



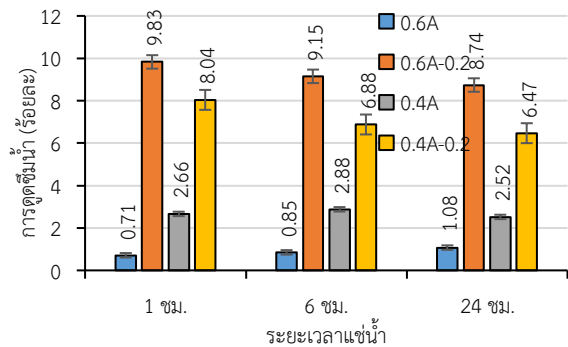
รูปที่ 5 กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน

### 3.2 การดูดซึมน้ำ

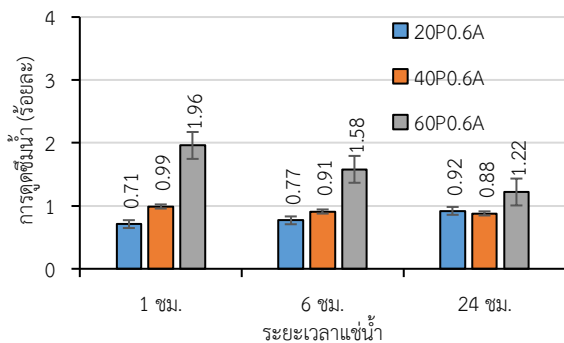
การดูดซึมน้ำจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ใช้ตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม. ขนาดเท่ากับตัวอย่างที่ใช้ทดสอบกำลังอัด ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นที่น่าสังเกตว่าการดูดซึมน้ำที่ระยะเวลาบ่ม 1 ชม. มีค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกับการแช่น้ำ 24 ชม. แสดงให้เห็นว่าจีโอพอลิเมอร์เมื่อมีการแช่น้ำ 1 ชม. การซึมของน้ำเข้าไปในเนื้อจีโอพอลิเมอร์เต็มช่องว่างของเนื้อจีโอพอลิเมอร์ การดูดซึมน้ำที่มีอิทธิพลจากอัตราส่วนสารละลายดังรูปที่ 6(ก) การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นชัดเจนเมื่ออัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอยลดลง โดยเฉพาะเมื่อใช้อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.4 การดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนนี้ เนื่องจากการใช้อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอยลดลงมีผลให้จีโอพอลิเมอร์มีปริมาณน้ำน้อยกว่าการใช้อัตราส่วนสารละลายต่อเถ้าลอยที่มาก ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเหลวซึ่งมีน้ำผสมอยู่ การที่เนื้อจีโอพอลิเมอร์มีน้ำน้อย (จากการใช้สารละลายน้อย) ส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์มีการดูดซึมน้ำมากขึ้น และยังไปกวนน้ำในการดูดซึมน้ำของจีโอพอลิ-



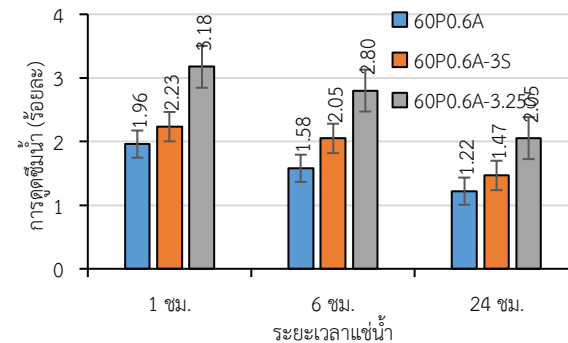
(ก) อัตราส่วนสารอัลคาไลน์



(ข) อัตราส่วนน้ำ



(ค) อัตราส่วนเถ้าไม้ยางพารา



(ง) อัตราส่วนทราย

รูปที่ 6 การดูดซึมน้ำจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์

เมอร์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อเถ้าลอยลดลงดังรูปที่ 6(ข) การใช้ อัตราส่วนน้ำต่อเถ้าลอยเท่า 0.2 (0.6A-0.2 และ 0.4A-0.2) ทำให้ตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทั้งอัตราส่วน สารละลายต่อเถ้าลอยเท่า 0.6 และ 0.4 การดูดซึมน้ำที่ เพิ่มขึ้นหลายเท่านี้เกิดจากปริมาณน้ำที่ผสมในจีโอ พอลิเมอร์มีน้อยทำให้เกิดการดูดซึมน้ำมาก ใช้น้ำปริมาณ น้อยในการผสมทำให้เนื้อจีโอพอลิเมอร์แห้งมีโอกาสเป็น โพร่งสูง ซึ่งส่งผลให้มีการดูดซึมน้ำมากยิ่งขึ้นไปอีก

อิทธิพลของเถ้าไม้ยางพาราคือการดูดซึมน้ำของจีโอ พอลิเมอร์มอร์ตาร์ดังรูปที่ 6(ค) การแทนที่เถ้าไม้ยางพารา เพิ่มขึ้นการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในทุกอายุบ่ม การดูด ซึมน้ำที่มากขึ้นเกิดจากการที่เถ้าไม้ยางพารามีโพรงจำนวนมาก [27] ทำให้น้ำสามารถซึมเข้าไปได้มาก อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่าการแทนที่เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 60 การ ดูดซึมน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาแช่น้ำมากขึ้น มีความเป็นไปได้ว่าเนื้อจีโอพอลิเมอร์มีการหลุดร่อนหรือการ ละลายน้ำของวัสดุประสานออกจากกันดูได้จากน้ำหนัก ก่อนตัวอย่างที่อายุบ่ม 24 ชม. มีน้ำหนักน้อยกว่าก่อน

ตัวอย่างที่อายุ 1 และ 6 ชม. ทำให้น้ำหนักลดลง และเมื่อ เพิ่มอัตราส่วนทรายพบว่าปริมาณทรายที่เพิ่มขึ้นการดูดซึมน้ำ เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 6(ง) เกิดจากการที่ทรายมีปริมาณมากทำ ให้วัสดุประสานอาจจะมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการเชื่อม ประสานหรือแทรกระหว่างทราย นอกจากนั้นการแทนที่เถ้า ไม้ยางพาราร้อยละ 60 ทำให้จีโอพอลิเมอร์ทำปฏิกิริยาได้ไม่ ดี ทำให้มีผลลัพท์จากการทำปฏิกิริยาน้อยทำให้ไม่ สามารถเข้าไปอุดในช่องว่างได้มาก

## 4. สรุปผล

เถ้าไม้ยางพาราที่ผ่านบดละเอียดสามารถนำมา แทนที่เถ้าลอยเพื่อเป็นวัสดุประสานในงานจีโอพอลิเมอร์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้อัตราส่วนสารอัลคาไลน์ต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.6 สามารถให้กำลังอัดสูงสุด แต่เมื่อลดอัตราส่วน น้ำจาก 0.3 เป็น 0.2 โดยน้ำหนัก กำลังอัดจีโอ พอลิเมอร์มอร์ตาร์ลดลงอย่างชัดเจน

2. จีโอพอลิเมอร์เถ้าลอยสามารถแทนที่ด้วยเถ้าไม้อย่างพาราถึงร้อยละ 20 เมื่อแทนที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้เถ้าลอยอย่างเดียว และอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมเป็น 2.75
3. จีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ใช้อัตราส่วนสารอัลคาไลน์ต่อวัสดุประสานที่ลดลง มีผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และยังไปกวนนั้นการลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด
4. อัตราส่วนเถ้าไม้อย่างพาราที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับการเพิ่มอัตราส่วนทรายที่สูงขึ้นการดูดซึมน้ำสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

จากผลการทดสอบพบว่าการใช้เถ้าไม้อย่างพาราแทนเถ้าลอยสามารถประยุกต์ต่อยอดเพื่อการผลิตอิฐบล็อก อิฐปูพื้นได้ และยังช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้อีกทาง

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยโครงสร้างพื้นฐานและนวัตกรรมวัสดุ และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ในการศึกษาครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Shamsah, R. Kalfat, and K. V. L. Subramaniam, "Impact of low NaOH molarities on mechanical and durability properties of ambient and oven-cured fly ash geopolymer concrete," *Journal of Building Engineering*, vol. 105, 112491, 2025, doi.org/10.1016/j.jobee.2025.112491
- [2] I. Skyrianou, L. N. Koutas, and C. G. Papakonstantinou, "Metakaolin-based geopolymer mortars: Influence of mix design on mechanical properties and durability," *Construction and Building Materials*, vol. 490, 142526, 2025, doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142526
- [3] 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 & Materials Sciences*, vol. 14, 499-506, 2017.
- [4] A. Hawa, P. Salaemae, A. Abdulmatin, K. Ongwuttiwat, and W. Prachasaree, "Properties of Palm Oil Ash Geopolymer Containing Alumina Powder and Field Para Rubber Latex," *Civil Engineering Journal*, vol. 9, no. 5, 1271-1288, 2023, doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-05-017
- [5] R. Wulandari, Meysara, Emiliana, Sunarno, D. Heltina, Khairat, and A. Amri, "Structural and physicomechanical properties of rice husk Ash-based geopolymer mortar with the addition of graphene nanosheets," *Materials today: Proceedings*, vol. 87, part 2, pp. 70-78, 2023, doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.375
- [6] A. Akbar, F. Farooq, M. Shafique, F. Aslam, R. Alyousef, and H. Alabduljabbar, "Sugarcane bagasse ash-based engineered geopolymer mortar incorporating propylene fibers," *Journal of Building Engineering*, vol. 33, 101492, 2021, doi.org/10.1016/j.jobee.2020.101492
- [7] I. Aziz, M. I. U. Hassan, E. U. Haq, and W. Abbass, "Development of geopolymer foam concrete incorporating sugarcane bagasse ash and fly ash; 100% recycled and cement-less concrete," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 48, pp. 5655-5665, 2023, doi.org/10.1007/s13369-022-07511-z
- [8] P. Nuaklong, K. Janprasit, and P. Jongvivatsakul, "Enhancement of strengths of

- high-calcium fly ash geopolymers containing borax with rice husk ash,” *Journal of Building Engineering*, vol. 40, 102762, 2021, doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102762
- [9] X. Liu, J. Jiang, H. Zhang, M. Li, Y. Wu, L. Guo, W. Wang, P. Duan, W. Zhang, and Z. Zhang, “Thermal stability and microstructure of metakaolin-based geopolymer blended with rice husk ash,” *Applied Clay Science*, vol. 196, 105769, 2020, doi.org/10.1016/j.clay.2020.105769
- [10] A. Hawa, D. Tonnayopas, and W. Prachasaree. “Performance evaluation of metakaolin based geopolymer containing parawood ash and oil palm ash blends,” *Materials Science*, vol. 20, no. 3, pp. 339-344, 2014, doi.org/10.5755/j01.ms.20.3.4543
- [11] S. Chelluri and N. Hossiney, “Performance evaluation of ternary blended geopolymer binders comprising of slag, fly ash and brick kiln rice husk ash,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 20, e02918, 2024, doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02918
- [12] G. F. Huseien, Z. Kubba, and S. K. Ghoshal, “Engineering attributes of ternary geopolymer mortars containing high volumes of palm oil fuel ash: impact of elevated temperature exposure,” *Fire*, vol. 6, no. 9, 340, 2023, doi.org/10.3390/fire6090340
- [13] N. Ranjbar, M. Mehrali, A. Behnia, U. J. Alengaram, and M. Z. Jumaat. “Compressive strength and microstructural analysis of fly ash/palm oil fuel ash based geopolymer mortar,” *Materials and Designs*, vol. 59, pp. 532-539, 2014, doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.037
- [14] P. Nuaklong, P. Jongvivatsakul, T. Pothisiri, V. Sata, and P. Chindaprasirt, “Influence of rice husk ash on mechanical properties and fire resistance of recycled aggregate high-calcium fly ash geopolymer concrete,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 252, 119797, 2020, doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119797
- [15] M. A. M. Rihan, R. O. Onchiri, N. Gathimba, and B. Sabuni. “Effect of sugarcane bagasse ash addition and curing temperature on the mechanical properties and microstructure of fly ash-based geopolymer concrete,” *Open Ceramics*, vol. 19, 100616, 2024, doi.org/10.1016/j.oceram.2024.100616
- [16] O. A. Abdulkareem, M. B. Ramli, and J. C. Matthews, “Production of geopolymer mortar system containing high calcium biomass wood ash as a partial substitution to fly ash: An early age evaluation,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 174, 106941, 2019, doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106941
- [17] J. Bijeljic, N. Ristic, D. Grdic, and M. Pavlovic, “Possibilities of biomass wood ash usage in geopolymer mixtures,” *Technical gazette*, vol. 30 no. 1, 52-60, 2023, doi.org/10.17559/TV-20220215222503
- [18] K. Arunkumar, M. Muthukannan, and A. S. Kumar, “Cleaner environment approach by the utilization of low calcium wood ash in geopolymer concrete,” *Applied Science and Engineering Progress*, vol. 15 no. 1, 1-13, 2022, doi.org/10.14416/j.asep.2021.06.005
- [19] D. Tonnayopas, A. Hawa, W. Prachasaree, and P. Taneerananon, “Effect of parawood ash on drying shrinkage, compressive strength and microstructural characterization of metakaolin-based geopolymer mortar,” *Key Engineering Materials*, vol. 594-595, pp. 411-415, 2013, doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.411

- [20] ทวีศักดิ์ ทองขวัญ นันทชัย ชูศิลป์ จุฑามาศ ลักษณะกิจ, “กำลังคอนกรีตผสมเถ้าไม้อย่างพาราสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จรูป,” *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, จังหวัดเชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565.
- [21] *Standard Specification for Concrete Aggregates*, ASTM C33/C33M, 2018.
- [22] *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens)*, ASTM C109/C109M, 2021.
- [23] สกลวรรณ ห่านจิตสุวรรณ์ ธนากร ภูเงินคำ ปริญญาจินดาประเสริฐ. อิทธิพลของความละเอียดเถ้าลอยแคลเซียมสูงต่อสมบัติของจีโอโพลิเมอร์เฟสดี. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. ปี 36, ฉบับ 4, หน้า 399-408. 2556.
- [24] A. Wardhono, Y. Risdianto, K. D. Handayani, N. Andajani, and D. W. Law, “The role of water-to-binder ratio on strength of fly ash geopolymer as sustainable green materials in supporting SDG 13,” *International Conference on SDGs and Bibliometric Studies (ICoSBI 2025)*, 640, 01005, 15 August 2025.
- [25] I. Garcia-Lodeiro, A. Palomo, A. Fernández-Jiménez, and D. E. Macphee. “Compatibility studies between N-A-S-H and C-A-S-H gels. Study in the ternary diagram  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ ,” *Cement and Concrete Research*, vol. 41, no. 9, 923-931, 2011, doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.05.006
- [26] C. C. Ban, P. W. Ken, M. Ramli, “The hybridizations of coal fly ash and wood ash for the fabrication of low alkalinity geopolymer load bearing block cured at ambient temperature,” *Construction and Building Materials*, vol. 88, pp. 41-55, 2015, doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.020
- [27] อาปีเต็ง ฮาวา “สมบัติของคอนกรีตมวลรวมเบาหินผสมเถ้าลอยไม้อย่างพาราและเถ้ากลบ,” *วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 2551.