



# การผลิตจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์โดยวัสดุเหลือทิ้ง

## Geopolymer Mortar Production from Waste Materials

วรยศ วิฑูรธีรสถานต์\* สหलग หอมวุฒิวังศ์ และ จักรพันธ์ วงษ์พา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

41/20 อ.กันทรวิชัย ต.ขามเรียง จ.มหาสารคาม 44150 โทรศัพท์ : 0-4375-4333 โทรสาร : 0-4375-4235

**Worayot Witoteerasan\* Sahalaph Homwuttiwong and Jakrapan Wongpa**

Department of Civil Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham, 44150, Thailand

E-mail : worayotmf69@hotmail.com\*

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำล้างอัดของวัสดุจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ผลิตจากเถ้าชานอ้อยผสมตะกอนน้ำประปาเผา โดยสารตั้งต้นทั้งสองชนิดถูกนำมาอบแห้ง แล้วบดละเอียดจนมีอนุภาคข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 5 ใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาควบคุมอัตราส่วนสารละลายอัลคาไลต่อวัสดุตั้งต้น (LA/B) เท่ากับ 0.50 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุตั้งต้นเท่ากับ 0.25 ใช้ตะกอนน้ำประปาเผาแทนที่เถ้าชานอ้อยร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อโซเดียมซิลิเกต เท่ากับ 0.50-1.50 และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 5-15 โมลาร์

พบว่าการใช้ตะกอนน้ำประปาที่เผาด้วยอุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ½ ชั่วโมง การแทนที่เถ้าชานอ้อยไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำให้กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม และยังพบอีกว่า กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ที่ผลิตจากเถ้าชานอ้อยผสมตะกอนน้ำประปาเผา มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อโซเดียมซิลิเกต เท่ากับ 1.0 และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 15 โมลาร์

### ABSTRACT

The objective of this research was to study the properties of geopolymer mortar from bagasse ash and burnt water supply sludge. Both materials were dried and grinded until only 5% of their particles retained on a sieve No. 323. Sodium silicate (NS) and sodium hydroxide (NH) solution were used as activators. The ratio of the activators solution to binder and the water to binder materials were controller of the 0.50 and 0.25 respectively. Burnt water sludge waste was used to replace bagasse ash in range of 0-40% by weight. The ratio of NS/NH was varied between 0.50-1.50 and the concentration of NaOH (NH) solution was controlled at 5.0-15.0 molar.

It was found that, the burnt water supply sludge was improved by drying at 600°C for 2½ hours. At 10% replacement by burnt water supply sludge, the compressive strength of bagasse ash geopolymer mortar was higher than that of the controller mortar. The ratio of NS/NH at 1.0 and the concentration of NH solution of 15 molar tended to create higher compressive strength of geopolymer mortar.

## 1. บทนำ

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานหลักที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายด้าน แต่ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อหลายด้าน โดยที่สำคัญคือทางด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ปัจจุบันจึงมีการใช้วัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ โดยวัสดุปอซโซลานเป็นหนึ่งในการใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านต่างๆของคอนกรีตให้ดีขึ้น[1] นอกจากนี้การใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์แล้วยังมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตสารเชื่อมประสานที่ไม่จำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์ สารเชื่อมประสานที่กล่าวถึง คือ จีโอโพลิเมอร์

จีโอโพลิเมอร์ มีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน โดยเกิดจากการนำเอาวัสดุปอซโซลานที่มีองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) และอลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) เป็นวัสดุตั้งต้น และใช้หลักการของการทำปฏิกิริยาระหว่างซิลิกอน (Si) และอลูมิเนียม (Al) ให้เป็นโมเลกุลลูกโซ่ในลักษณะของโพลิเมอร์ (Polymer) ซึ่งการทำปฏิกิริยาลูกโซ่จะใช้สารละลายที่เป็นด่างสูงมาเป็นตัวกระตุ้น (Activator) การเกิดปฏิกิริยา และทำให้เกิดการชะละลาย (Dissolution) ของสารประกอบต่างๆเพื่อทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอไรเซชัน (Geopolymerisation) เกิดเป็นสารจีโอโพลิเมอร์ที่มีความร้อนเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา[2]ซึ่งอัตราส่วนของอะตอม  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$  แนะนำในการผลิตจีโอโพลิเมอร์อยู่ในช่วง 3.50-4.50 [3,12]

ซึ่งปัจจุบันมีการศึกษาโดยใช้วัสดุปอซโซลาน มาเป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์ เช่น ถ้ำถ่านหิน [4] ซึ่งพบว่าการใช้ถ้ำถ่านหินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์นั้น ทำให้ได้กำลังอัดที่สูง เนื่องจากมีปริมาณสัดส่วนของ  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ที่ค่อนข้างเหมาะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 2.2:1 [5] แต่อย่างไรก็ตาม ถ้ำถ่านหินมีเฉพาะในบางพื้นที่ และเริ่มมีมูลค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีการใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีตอย่างแพร่หลาย รวมไปถึงต้นทุนของค่าขนส่งจากแหล่งต่างๆ ดังนั้นจึงพิจารณาวัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ทั่วไปและมีปริมาณที่ค่อนข้างมากมา

ศึกษาเพื่อผลิตสารจีโอโพลิเมอร์ ซึ่งพบว่าถ้ำถ่านหินเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีในหลายพื้นที่ และมีปริมาณที่ค่อนข้างมาก [6] ซึ่งเกิดจากการเผาถ้ำถ่านหินที่เหลือจากการหีบนำถ้ำถ่านหินเพื่อผลิตพลังงานภายในโรงงานผลิตน้ำตาล

โดยทั่วไปในถ้ำถ่านหินนั้นมีองค์ประกอบของ  $\text{SiO}_2$  ในปริมาณค่อนข้างสูง และมีปริมาณของ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  น้อย [7] ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีศึกษาการใช้ถ้ำถ่านหินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์ และได้มีการผสมตะกอนน้ำประปาเข้าไปบางส่วน เนื่องจากพบว่าในตะกอนน้ำประปามีปริมาณของ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ที่ค่อนข้างสูง [8] แต่กลับพบว่าแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดลดลงในช่วงอายุต้น [7] ซึ่งอาจเกิดจากโครงสร้างของดินที่มีอนุภาคบางส่วนไม่ทำปฏิกิริยา และจากลักษณะทางกายภาพของตะกอนน้ำประปาที่มีความคล้ายกับดินขาว ซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพของดินขาว คือ การเผาด้วยอุณหภูมิสูงเพื่อผลิตจีโอโพลิเมอร์ [9] จึงเป็นไปได้ว่าการเผาตะกอนน้ำประปาจะสามารถทำให้คุณสมบัติดีขึ้นเช่นเดียวกับการเผาดินขาว และสามารถช่วยให้ผลิตจีโอโพลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงสูงขึ้นได้

## 2. การเตรียมวัสดุและการทดลอง

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

#### 2.1.1 ถ้ำถ่านหิน

ถ้ำถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากแหล่งฝังกลบของโรงงานน้ำตาลในจังหวัดชัยภูมิ ใช้ตะแกรงเบอร์ 16 ร่อนเอาสิ่งเจือปนออก เช่น เศษวัชพืช ก้อนดิน ฯลฯ จากนั้นนำถ้ำถ่านหินไปอบในเตาที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสเพื่อทำให้แห้งสนิท แล้วนำถ้ำแห้งไปบดให้ละเอียดจนเหลือปริมาณอนุภาคที่ต่ำกว่าตะแกรงเบอร์ 325 ไม่นเกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แล้วบรรจุถ้ำถ่านหินที่บดละเอียดไว้ภาชนะที่ปิดมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้น

#### 2.1.2 ตะกอนน้ำประปา

ตะกอนน้ำประปาแห้ง ถูกรับมาจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ทำการย่อยให้มีขนาดเฉลี่ยไม่เกิน 10 มิลลิเมตร แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนด

ปล่อยให้เย็นตัว จากนั้นนำไปบดละเอียดจนได้น้ำหนักอนุภาคข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ไม่นเกินร้อยละ 5 เก็บใส่ภาชนะปิดมิดชิด

### 2.1.3 สารเคมี

ในการทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ด มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 โดยทำการเตรียมสารละลายก่อนการทดลองเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง และสารละลายโซเดียมซิลิเกตซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของ  $\text{Na}_2\text{O}$  ร้อยละ 15.32,  $\text{SiO}_2$  ร้อยละ 32.87,  $\text{H}_2\text{O}$  ร้อยละ 51.81 โดยน้ำหนัก

### 2.2 การผลิตจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการผสมจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาผสมตัวอย่าง ทำการชั่งน้ำหนักเอาชาม อ้อย ตะกอนน้ำประปา เสาเคมี น้ำ และทราย ตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ นำเอาชาม อ้อย และตะกอนน้ำประปาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ในเครื่องผสมมอร์ตาร์ ใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใส่ทรายที่เตรียมไว้ และขั้นตอนสุดท้ายใส่สารละลายโซเดียมซิลิเกต และน้ำกลั่น แล้วทำการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน เทใส่แบบหล่อทรงลูกบาศก์ 50x50x50 มิลลิเมตร แล้วทำให้แน่นโดยการกระทุ้งและใช้โตะเขย่าเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ฟองอากาศ จากนั้นทำการห่อพลาสติกทั้งแบบหล่อเพื่อไม่ให้สูญเสียความชื้น บ่มที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดเมื่อตามมาตรฐาน ASTM C109 [10] ที่อายุ 3 7 และ 28 วัน

### 3. การทดสอบ

ในรูปที่ 1 แสดงแผนภูมิการทดสอบในงานวิจัยนี้ โดยใช้เอาชาม อ้อย เป็นวัสดุตั้งต้นแล้วถูกแทนที่ด้วยตะกอนน้ำประปาที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยวิธีการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.25 อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายเท่ากับ 1:2.75

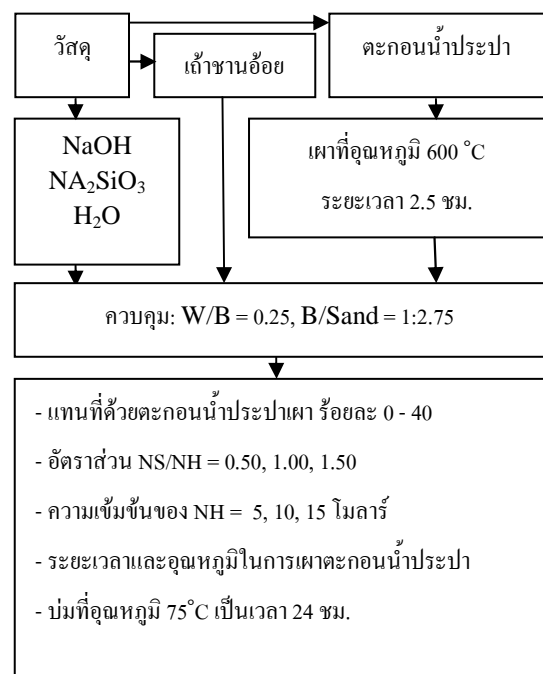
ความเข้มข้นของของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 15 โมลาร์

ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่

1. ปริมาณการแทนที่เอาชาม อ้อยด้วยตะกอนน้ำประปา เสา ร้อยละ 10 20 30 และ 40

2. อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NS/NH) เท่ากับ 0.50 1.00 และ 1.50

3. เข้มข้นสารละลายโซเดียมซิลิเกต โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่ 5 10 และ 15 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนที่ได้กำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน อันดับที่ 1 จากการแทนที่ของตะกอนน้ำประปา



รูปที่ 1 แผนภูมิส่วนผสมและการทดสอบ

### 4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลทดสอบโครงสร้างผลึกและเฟสของตะกอนน้ำประปา

โดยทำการทดสอบโดยวิธี X-ray diffraction (XRD) สามารถระบุออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุ ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าเอาชาม อ้อยมี  $\text{SiO}_2$  เป็นองค์ประกอบหลัก และมีอยู่ในปริมาณสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และในส่วนของตะกอนน้ำประปา

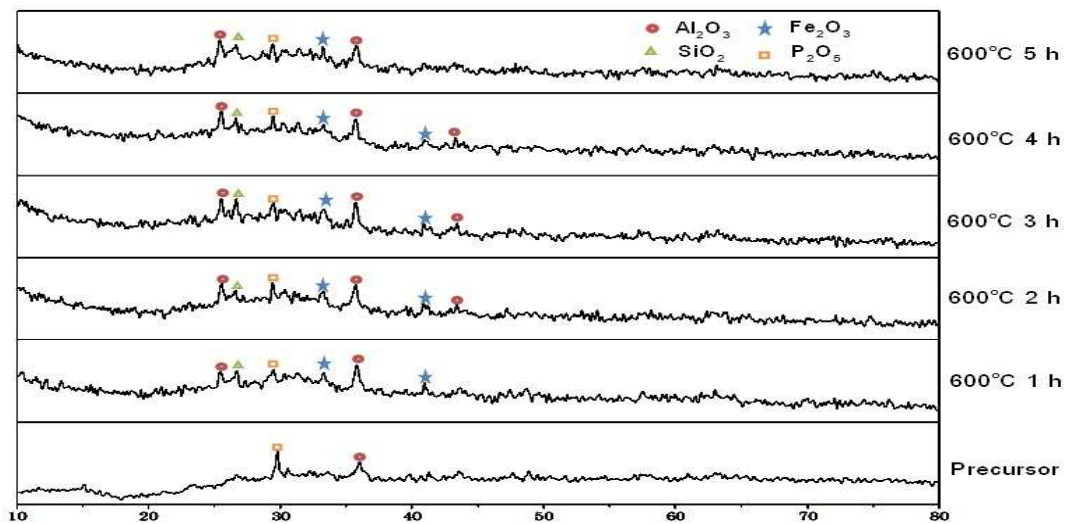
มีทั้ง  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของ  $\text{SiO}_2$  ที่มีอยู่เข้าชานอ้อย และมีปริมาณ LOI ค่อนข้างสูง ในรูปที่ 2 จะเป็นของลักษณะโครงสร้างที่เปรียบเทียบระหว่างตะกอนน้ำประปาไม่ได้ผ่านการเผากับตะกอนน้ำประปาที่นำเผาคด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างกัน โดยมีงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทดลองเผาดินขาวเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์ และพบว่าดินขาวที่เผาคด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ให้ผลกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์ที่ค่อนข้างสูง [11,12] ในการทดลองนี้ก็พบว่าตะกอนน้ำประปาที่ไม่ผ่านการเผาคจะมีลักษณะความเป็นอสัณฐานและผลึกของธาตุ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  อยู่ค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนน้ำประปาที่ผ่านการเผาคที่ระยะเวลาต่างๆ โดยที่ตะกอนน้ำประปาเผาคมี

ความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ที่นุ่ม 25 ถึง 38 องศา และพีคของธาตุ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเผาค ซึ่งระยะเวลาในการเผาคที่ 2 และ 3 ชั่วโมง มีแนวโน้มการเกิดพีคของธาตุ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ที่สูงขึ้น และพีคของธาตุ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ลดลงเมื่อทำการเผาคด้วยระยะเวลา 5 ชั่วโมงและยังพบว่าการเผาคตะกอนน้ำประปาจะทำให้เกิดพีคของธาตุ  $\text{SiO}_2$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{P}_2\text{O}_5$  เพิ่มขึ้น

จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าแนวโน้มว่าการเผาคตะกอนน้ำประปาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง น่าจะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของตะกอนน้ำประปาให้มีความเป็นอสัณฐานและมีธาตุประกอบของ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ จากเข้าชานอ้อยผสมตะกอนน้ำประปาเผาค

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเข้าชานอ้อยและตะกอนน้ำประปา (ร้อยละ)

| องค์ประกอบ    | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | อื่นๆ | LOI   |
|---------------|----------------|-------------------------|--------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|-------|-------|
| เข้าชานอ้อย   | 74.73          | 1.02                    | 2.6          | 1.43                    | 2.08                 | 0.1                   | 18.04 | 15.06 |
| ตะกอนน้ำประปา | 48.19          | 25.1                    | 0.99         | 8.1                     | 2.41                 | 0.23                  | 14.98 | 12.27 |



รูปที่ 2 ผลทดสอบโครงสร้างผลึกของตะกอนน้ำประปาเผาคที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลาต่างๆ

#### 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 2 แสดงถึงค่ากำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ผลิตจากเถ้าขานอ้อยและถูกแทนที่ด้วยตะกอนน้ำประปาเผาในช่วงร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NS/NH) เท่ากับ 0.50-1.50 และทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C39 ที่อายุบ่ม 3 7 และ 28 วัน ตามลำดับ

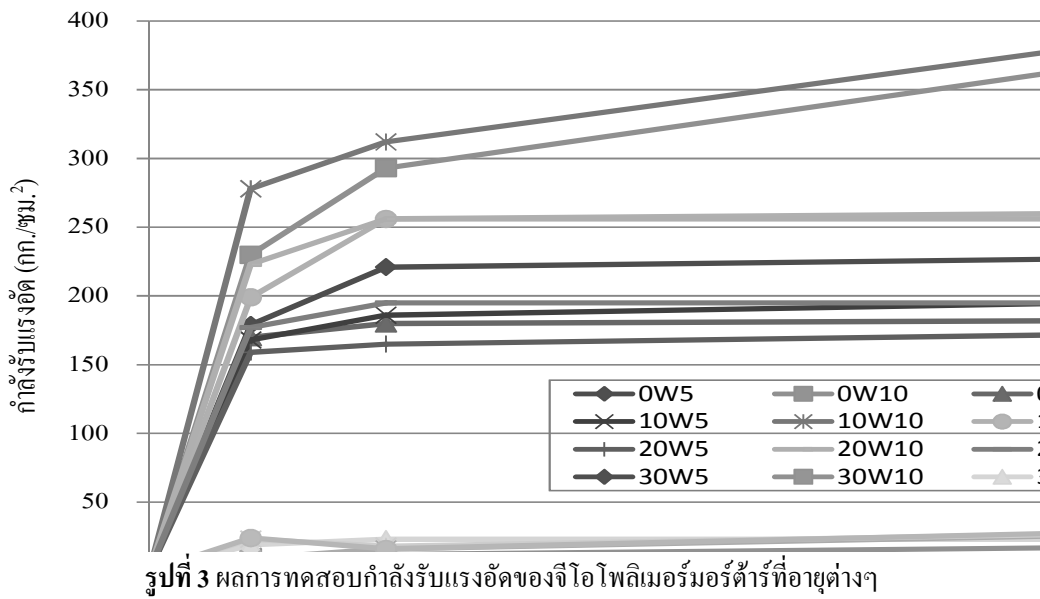
กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์พัฒนาสูงขึ้นอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 7 วัน และหลังจากนั้น

กำลังรับแรงอัดจะมีค่าค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนตัวอย่างมีอายุครบ 28 วัน อย่างไรก็ตามยังมีบางส่วนผสมที่แสดงแนวโน้มของกำลังอัดที่สูงขึ้นหลังจากตัวอย่างอายุมากกว่า 28 วัน ได้แก่ 0W10 และ 10W10 ดังแสดงในรูปที่ 3 กำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 382 กก./ซม.<sup>2</sup> ได้จากส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ผลิตจากเถ้าขานอ้อยแทนที่ด้วยตะกอนน้ำประปาเผาร้อยละ 10 (10W10) แต่ก็มีส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์ที่ให้กำลังรับแรงอัดต่ำมาก เช่น ส่วนผสม 30W5 ซึ่งมีกำลังอัดเพียง 4 กก./ซม.<sup>2</sup>

ตารางที่ 2 ค่ากำลังรับแรงอัดจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากการแทนที่ตะกอนน้ำประปาเผาในเถ้าขานอ้อยและอัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์

| ลำดับที่ | สัญลักษณ์ | ร้อยละการแทนที่ด้วยตะกอนน้ำประปาเผา | อัตราส่วนสารละลาย | กำลังรับแรงอัด (กก./ซม. <sup>2</sup> ) |       |        |
|----------|-----------|-------------------------------------|-------------------|--|-------|--------|
|          |           |                                     |                   | 3 วัน                                  | 7 วัน | 28 วัน |
| 1        | 0W5       | 0                                   | 0.50              | 179                                    | 221   | 213    |
| 2        | 0W10      | 0                                   | 1.00              | 230                                    | 293   | 367    |
| 3        | 0W15      | 0                                   | 1.50              | 181                                    | 180   | 182    |
| 4        | 10W5      | 10                                  | 0.50              | 168                                    | 186   | 150    |
| 5        | 10W10     | 10                                  | 1.00              | 278                                    | 301   | 382    |
| 6        | 10W15     | 10                                  | 1.50              | 199                                    | 256   | 242    |
| 7        | 20W5      | 20                                  | 0.50              | 159                                    | 153   | 172    |
| 8        | 20W10     | 20                                  | 1.00              | 223                                    | 256   | 253    |
| 9        | 20W15     | 20                                  | 1.50              | 177                                    | 195   | 177    |
| 10       | 30W5      | 30                                  | 0.50              | 4                                      | 6     | 8      |
| 11       | 30W10     | 30                                  | 1.00              | 10                                     | 12    | 17     |
| 12       | 30W15     | 30                                  | 1.50              | 19                                     | 23    | 23     |
| 13       | 40W5      | 40                                  | 0.50              | 9                                      | 16    | 26     |
| 14       | 40W10     | 40                                  | 1.00              | 23                                     | 18    | 27     |
| 15       | 40W15     | 40                                  | 1.50              | 24                                     | 16    | 28     |

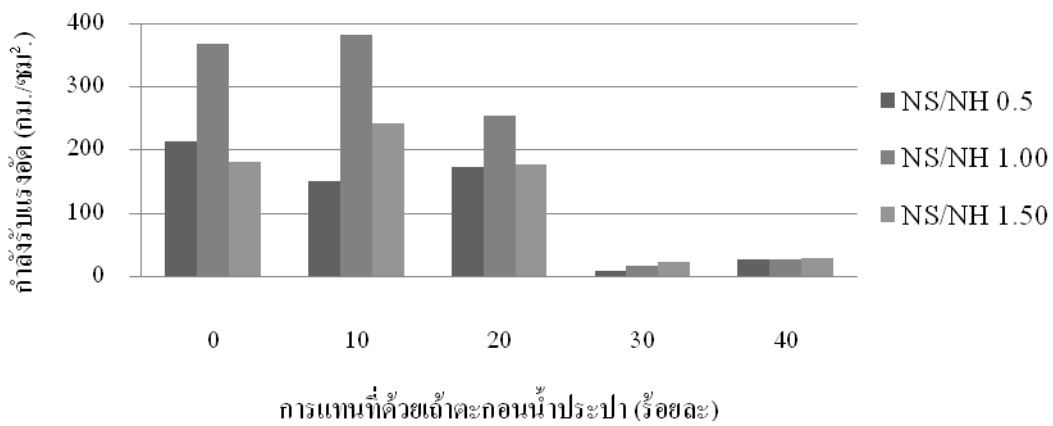
หมายเหตุ: สัญลักษณ์ส่วนผสม xxWyy, xx = ร้อยละการแทนที่เถ้าขานอ้อยด้วยตะกอนน้ำประปาเผา, yy = อัตราส่วน NS/NH



#### 4.3 ผลกระทบของอัตราส่วนการแทนที่ของตะกอนน้ำประปาเผาในเถ้าชานอ้อยต่อกำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์

จากการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงของมอร์ตาร์แปรผกผันกับปริมาณการแทนที่ของตะกอนน้ำประปาเผา ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยเมื่อทำการแทนที่ร้อยละ 10 สัดส่วนผสม 10W10 ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 382 กก./ซม.<sup>2</sup> ที่อายุ 28 วัน สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม 0W10 ซึ่งใช้เถ้าชานอ้อยเพียงอย่างเดียวเป็นสารตั้งต้น ซึ่งมีกำลังรับแรงอัด 367 กก./ซม.<sup>2</sup> และเมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดในช่วงอายุต้น (7 วัน) พบว่ามอร์ตาร์ส่วนผสม 10W10 มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่เถ้าชานอ้อยด้วยตะกอนน้ำประปาเผาให้สูงกว่าร้อยละ 10 กลับทำให้

กำลังรับแรงอัดลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแทนที่ร้อยละ 30 และ 40 จะทำให้จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มีกำลังรับแรงอัดต่ำมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเพิ่มปริมาณตะกอนน้ำประปาเผานั้น จะมีส่วนของวัสดุเหนียวหรือดินเหนียวเผาที่ไม่ทำปฏิกิริยา [12] ซึ่งอาจทำให้เกิดโพรงหรือเป็นส่วนที่ไม่แข็งแรงในของพาสต์ ประกอบกับปริมาณของเถ้าชานอ้อยที่ลดลง จึงส่งผลให้การชะล้าง SiO<sub>2</sub> และ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ได้ปริมาณน้อยลง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลง ดังนั้นผลจากการทดลองนี้ อาจกล่าวได้ว่าปริมาณที่เหมาะสมของการใช้ตะกอนน้ำประปาเผาแทนที่เถ้าชานอ้อยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 10

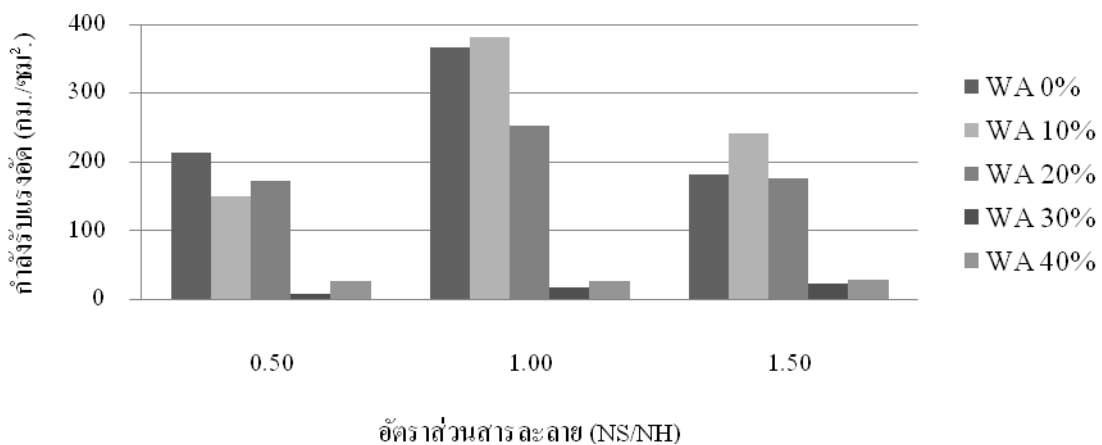


รูปที่ 4 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วันตามอัตราส่วนการแทนที่ด้วยตะกอนน้ำประปาเผา

#### 4.4 ผลกระทบอัตราส่วนสารละลายระหว่างโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ (NS/NH)

จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มอัตราส่วน NS/NH ผลกำลังรับแรงอัดค่อนข้างแปรปรวน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ NS/NH ขึ้นเรื่อยๆ จะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อัตราส่วนของ NS/NH เท่ากับ 1.00 ดังแสดงในรูปที่ 5 และกำลังรับแรงอัดกลับลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ NS/NH อาจเกิดจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มี

ปริมาณลดลง เนื่องจากอัตราส่วนสารละลายที่เพิ่มขึ้น โดยจะทำให้การชะละลายสารประกอบต่างๆ โดยเฉพาะอลูมิเนียม (Al) และซิลิกอน (Si) ในวัสดุตั้งต้นที่เป็นสารหลักได้ลดลงจนส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปริญา จินดาประเสริฐ [13] ที่พบว่าการใช้อัตราส่วนของ NS/NH ในช่วง 0.67 – 1.00 ในการผลิตจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จะได้กำลังอัดสูงกว่าการใช้อัตราส่วนของสารดังกล่าวที่อยู่ในช่วง 1.50 – 3.00

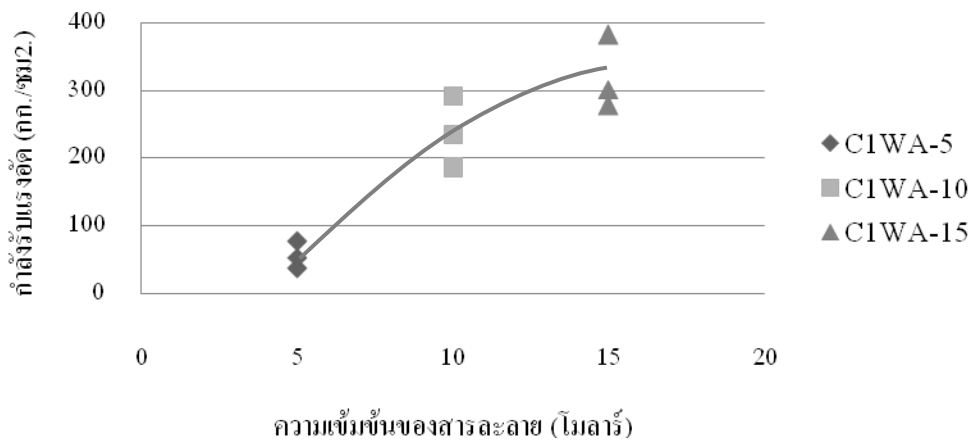


รูปที่ 5 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วันตามอัตราส่วนสารละลาย

**4.5 ผลกระทบของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังรับแรงอัด**

เมื่อพิจารณารูปที่ 6 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 15 โมลาร์ เนื่องจากเถ้าตะกอนที่ทำการแทนที่ในเถ้าชานอ้อยมีของอนุภาคดินเป็นหลักอาจทำให้เกิดการหน่วงการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่ำ และให้กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ได้ค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น โดยกำลังรับแรงอัดมีค่าระหว่าง

371-385 กก./ซม<sup>2</sup>. ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มตามไปด้วย แต่การใช้สารละลายที่เข้มข้นก็กระทบต่อระยะเวลาการก่อตัวและความสามารถทำงานได้ของมอร์ตาร์ลดลง [14] **หมายเหตุ:** สัญลักษณ์ส่วนผสม xxWA-yy, xx = อัตราส่วนผสมที่ได้กำลังอัดสูงสุดจากการแทนที่, yy = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH



รูปที่ 6 แนวโน้มกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารละลาย

**5. สรุปผลการวิจัย**

จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากตะกอนน้ำประปาผสมเถ้าชานอ้อย สรุปได้ว่า

1. ในการใช้ตะกอนน้ำประปาเผาที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 องศา เป็นเวลา 2 1/2 ชั่วโมง เป็นการปรับปรุงคุณภาพของตะกอนน้ำประปาให้มีความเป็นอสัณฐาน และมีธาตุประกอบของ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

2. ด้านอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชานอ้อยด้วยตะกอนน้ำประปาเผาที่ร้อยละ 10 และใช้อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.00 ให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับทุกอัตราส่วนการแทนที่

3. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 15 โมลาร์ และให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดในทุกช่วงอายุ โดยกำลังรับแรงอัดมีค่าระหว่าง 371-385 กก./ซม.<sup>2</sup>



## เอกสารอ้างอิง

- [1] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2553). เถ้าปล้มน้ำมัน เถ้าขานอ้อย และวัสดุพอชโซลานชนิดอื่นๆ, *ปูนซีเมนต์ พอชโซลาน และคอนกรีต*, พิมพ์ครั้งที่ 6, มกราคม 2553, หน้า 286–287.
- [2] Duxson, P., Tierney. (2007). Geopolymer Technology, The current State of The Art, *Material Science*, 2007 ; 42 : 2917–2993.
- [3] Daviodoyits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry & Application*, 3<sup>rd</sup> edition, Institute Geopolymer, France.
- [4] Swanepoel, Jc. (2002). Utilization of fly ash in a geopolymeric material, *Geochemistry Applied*, 17; 8 : 1143-1148.
- [5] มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์ (2545). การพัฒนาประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ในไทย, *ในหนังสือรางวัลนักเทคโนโลยีดีเด่นประจำปี พ.ศ. 2545*, ISBN 974-229-369-4, หน้า 10-16
- [6] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2550) สัมภาษณ์พิเศษ ดร.ประเสริฐ ตปนียางกูร เลขาธิการคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.) *วารสารอ้อยและน้ำตาลทราย*. 3(5): 2.
- [7] อธิกา วงศ์วานกลม (2552). การศึกษาจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าขานอ้อยผสมตะกอนน้ำประปา, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม
- [8] ธเนศ มุณีเนม (2546). คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดจ์ที่ได้จากโรงประปาในการนำมาใช้งานเป็นวัสดุพอชโซลาน, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- [9] เจริญชัย ฤทธิรุทร (2550). การศึกษาจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากดินขาวระนองเผา, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
- [10] ASTM C109/C109M-02, Standard Testing Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar [C.D.], *Annual Book ASTM Standards*.
- [11] อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ (2549). การศึกษาสารจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยและดินขาวเผา, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
- [12] กฤษดา นุ่มนวล (2540). การใช้ตะกอนจากระบบประปาทดแทนดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- [13] ปริญญา จินดาประเสริฐ (2553). จีโอโพลิเมอร์เถ้าลอย, *เถ้าลอยในงานคอนกรีต*, พิมพ์ครั้งที่ 4, พฤษภาคม 2553, หน้า 118.
- [14] Chindaprasirt, P., Chareerat, T., Sirivivatnanon, V. Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. *Cement & Concrete Composites Journal*, 2007; 29: 224-229.