

การศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ในภาวะอุณหภูมิสูง

The Study of Compressive Strength of Geopolymer in High Temperature

อนุรักษ์ เทพกรณ์¹, ขวัญชนก อุณหะอ่อน¹

นราพัฒน์ เรืองธำรงค์¹, ธันวา บุญทิม¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.พหลุณงศกรวม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800 E-mail: kwanchanok.o@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ในภาวะอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.20 โดยควบคุมอัตราส่วนผสมให้มีความสามารถในการทำงานได้ โดยควบคุมอัตราส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์ให้มีระยะเวลาการก่อตัวไม่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์เมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายโซเดียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นร้อยละ 85 จากผลการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) 300 และ 500 องศาเซลเซียส จีโอโพลิเมอร์มีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ ในขณะที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จีโอโพลิเมอร์มีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดีกว่ามอร์ตาร์ และที่อุณหภูมิเดียวกันพบว่า มอร์ตาร์เกิดการแตกร้าว นอกจากนี้พบว่า กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของสารโซเดียมซิลิเกตในจีโอโพลิเมอร์ร้อยละ 85

คำสำคัญ : จีโอโพลิเมอร์, กำลังรับแรงอัด, อุณหภูมิสูง

ABSTRACT

The objective of this paper is to study the compressive strength properties of geopolymer in high temperature compared with the mortar which has water cement ratio (W/C) equal to 0.20 and control the mixing ratio to be able to use at least 1 hour. Other than, Study of the variation on compressive strength of geopolymer when the amount of sodium silicate increased by 85%. The results showed at 25°C, 300 °C and 500 °C, the compressive strength of geopolymer was less than the compressive strength of mortar. In the other hand at 700 °C the compressive strength of geopolymer was more than compressive strength of mortars and at the same temperature,

trend of the compressive strength of geopolymer was decreased when increasing the amount of sodium silicate in geopolymer 85%.

Keywords: geopolymer, compressive strength, high temperature

1. บทนำ

ในงานก่อสร้างปัจจุบันได้นำเอาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาใช้อย่างแพร่หลายและเป็นวัสดุส่วนประกอบที่สำคัญของคอนกรีตและมอร์ตาร์ ซึ่งจากกระบวนการการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่มีผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) ดังนั้นจึงเป็นที่มาของจีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer) เพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุที่ใช้ผสมทำจีโอโพลิเมอร์คือวัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic materials) ซึ่งมีซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ดินขาว ดินขาวเผาแคลไซน์ และวัสดุของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเกษตร เช่น เถ้าลอย เถ้าชานอ้อย และเถ้าแกลบ เป็นต้น วัสดุจีโอโพลิเมอร์ มีสมบัติเปลี่ยนแปลงมาก เช่น การรับ แรงอัด การหดตัว ระยะเวลาการก่อตัวเร็วหรือช้า ความทนต่อสภาวะต่างๆ บุญฤทธิ์ แก้วคง, (2550) ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอย ซึ่งเถ้าลอยที่ได้มาจากระบวนการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในประเทศไทยได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งในแต่ละปีจะมีเถ้าลอยซึ่งเป็นขยะโลหะประมาณ 25 ล้านตัน [1] จีโอโพลิเมอร์ เกิดจากการทำปฏิกิริยাজีโอโพลิเมอไรเซชัน [2, 3] ของสารละลายอัลคาไลที่มีความเข้มข้นสูงและออกไซด์ของซิลิกอนและอะลูมิเนียม กลายเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างแข็งแรง สามารถก่อตัว แข็งตัว รับกำลังแรงอัดได้ คล้ายโครงสร้างของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของแนวคิดในการนำเอาเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุทดแทนการผลิตปูนซีเมนต์ ตัวอย่างงานวิจัยที่สนับสนุนการใช้วัสดุ Geopolymer เป็นวัสดุทดแทน ได้แก่ Somna et al. (2011) ศึกษาหาค่าจีโอโพลิ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

เมอร์โดยใช้เถ้าลอยบดละเอียดผ่านตะแกรง เบอร์ 325 อนุภาคคง ค้างน้อยกว่าร้อยละ 2 ใช้ตัวกระตุ้นต่าง NaOH ที่ความเข้มข้น 4.5, 7.0, 9.5, 12.0, 14.0 และ 16.5 M บ่มก่อนตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง และทดสอบการพัฒนากำลังอัดที่ 7 14 28 42 และ 60 วัน พบว่า การพัฒนากำลังอัดของก้อนจีโอโพลิเมอร์บ่มที่อุณหภูมิห้องคล้าย กับ Portland cement การเพิ่มความเข้มข้นสารละลายต่างจาก 4.5 เป็น 9.5 M เกิดปฏิกิริยาและพัฒนากำลังอัดได้ดี [4] จากรายงาน การวิจัยการพัฒนาวัสดุจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าหนักเพื่อใช้ เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกวรรณ ห่านจิตสุวรรณ [5] ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ใน การเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในการเตรียมเป็นวัสดุจีโอโพลิเมอร์ โดยศึกษาปัจจัยของปริมาณการ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ใน เถ้าหนัก ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ สารละลายต่อวัสดุประสาน ปริมาณการแทนที่เถ้าหนักในมวล รวมละเอียด ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ พบว่า กำลัง รับแรงอัดแปรผันตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ความเข้มข้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณ สารละลายต่อวัสดุประสาน และแปรผกผันตามปริมาณการแทนที่ เถ้าหนักในมวลรวมละเอียด สำหรับการดูดซึมน้ำจะแปรผกผัน กับกำลังรับแรงอัด

วัตถุประสงค์ในการศึกษานี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้าน กำลังรับแรงอัดและอุณหภูมิของจีโอโพลิเมอร์เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ กัน โดยให้ตัวอย่างถูกเผาที่อุณหภูมิ 300, 500 และ 700 องศาเซลเซียส และกำหนดระยะเวลาในการเผา เท่ากับ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดอุณหภูมิโดยการปล่อยให้เย็น 24 ชั่วโมงหลังจากการเผาแล้วนำไปทดสอบหาลำดับรับแรงอัด ผลการวิจัยนี้จะสามารถนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อประเมิน ความสามารถการทนไฟของจีโอโพลิเมอร์ และยังสามารถพัฒนา เป็นจนวนกันไฟในงานวิศวกรรมต่อไปในอนาคต

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารโซเดียมซิลิเกต น้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.80-2517
2. เถ้าลอย จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้เท่ากับ 2.44
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10.00 โมล

4. สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ความเข้มข้น 3.60 โมล

สำหรับปริมาณวัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ แสดง รายละเอียดดังในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

No.	Type	Proportion (g)				
		Cement	Fly ash	NaOH	Na_2SiO_3	H_2O
1	CW	2500	-	-	-	500
2	GW1	-	2500	400	400	-
3	GW2	-	2500	400	750	-

2.2 วิธีการทดสอบ

สำหรับการดำเนินการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของจีโอโพลิเมอร์ ได้ดำเนินการทดสอบตาม มาตรฐาน ASTM C109 [2] ที่อายุ 7 วัน โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ นี้มีรูปร่างทรงลูกบาศก์ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 5.0x5.0x5.0 ซม.

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ผสมมอร์ตาร์และจีโอโพลิเมอร์ตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 พร้อมเทลงในแบบหล่อ
2. หลังจากถอดแบบ จึงได้นำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบไปบ่มด้วยความชื้นเป็นระยะเวลา 7 วัน
3. นำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบผ่านการบ่มด้วยความชื้นแล้วไป เผชิญกับอุณหภูมิสูงที่ 300 500 และ 700 องศาเซลเซียส เป็น ระยะเวลา 1 ชั่วโมง
4. หลังจากตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้เผชิญกับอุณหภูมิสูงแล้ว นำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิของตัวอย่างลดลง
5. นำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้เครื่องทดสอบ ตามรูปที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C109 และบันทึกค่าต่อไป



รูปที่ 1 ทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้เครื่องทดสอบ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

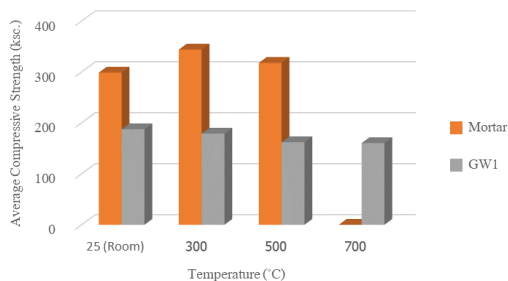
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ (GW1) ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) 300°C และ 500°C มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ (Mortar) ในขณะที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จีโอโพลิเมอร์มีความสามารถในด้านกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่ามอร์ตาร์และที่อุณหภูมิเดียวกันก็พบว่า มอร์ตาร์เกิดการแตกร้าวดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้เครื่องทดสอบ

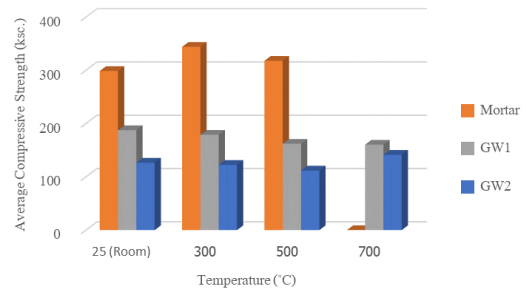
สำหรับค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์และมอร์ตาร์ที่ได้จากการทดสอบ แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ (GW1)

และมอร์ตาร์ (Mortar)

และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายโซเดียมซิลิเกตเป็นร้อยละ 85 พบว่า ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) 300 และ 500 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มีกำลังรับแรงอัดลดลง และมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เช่นเดียวกัน ในขณะที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จีโอโพลิเมอร์มีความสามารถในด้านกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่ามอร์ตาร์เช่นเดียวกันอีกด้วย ซึ่งค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ที่เพิ่มสารละลายโซเดียมซิลิเกตเป็นร้อยละ 85 แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ (GW1)

จีโอโพลิเมอร์ที่เพิ่มสารละลายโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 85 (GW2)

และมอร์ตาร์ (Mortar)

4. สรุปผลการทดสอบ

1. ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) 300°C และ 500°C มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์น้อยกว่ามอร์ตาร์ (Mortar)
2. ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จีโอโพลิเมอร์สามารถรับแรงอัดได้ดีกว่ามอร์ตาร์
3. เมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายโซเดียมซิลิเกตเป็นร้อยละ 85 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) 300 และ 500 องศาเซลเซียส มีค่าลดลง แต่ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จีโอโพลิเมอร์มีความสามารถในด้านกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่ามอร์ตาร์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้

บรรณานุกรม

- [1] นิชชา บุรณสิงห์, “ประโยชน์ของเถ้าลอยจากการผลิตกระแสไฟฟ้า : วัสดุทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม,” บทความ สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, กุมภาพันธ์ 2560
- [2] บุญฤทธิ์ คงแก้ว, (2550), จีโอโพลิเมอร์จากกากตะกอน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 85 หน้า.
- [3] สำเร็จ รักชอัน และนิโรจน์ เงินพรหม, (2553), การพัฒนาวัสดุจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย,

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
กรุงเทพมหานคร, หน้า 6-9.

- [4] สกลวรรณ ห่านจิตสุวรรณ, ธนากร ภูเงินขำ, และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์เพสต์ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ปีที่ 6 ฉบับที่ 1, มกราคม – มิถุนายน 2556
- [5] Somna, K., Jaturapitakkul, C., Kaiitvichyanukul, P. and Chindapasirt, P., 2011, "NaOH-activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature", *Fuel*, Vol.90, pp. 2118-2124