

จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากดินขาวระนองเผา*

เจริญชัย ฤทธิรุทร¹⁾ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ²⁾

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

²⁾ ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Email: cr_homemaker@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ที่ผลิตจากดินขาวระนองเผา ได้ทำการทดสอบกำลังแรงอัดโดยมีตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาดินขาว, อัตราส่วนระหว่างโซเดียมซิลิเกตต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, อัตราส่วนระหว่างโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์, ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์, ระยะเวลาและอุณหภูมิในการบ่ม และ อายุของตัวอย่าง

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเผาดินขาวคือ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ให้กำลังรับแรงอัดที่ดีกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนผสมที่ใช้อัตราส่วนของ $\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2/\text{KOH} = 1.33$ ให้กำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์เท่ากับ 320 กก./ตร.ซม. กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นมากกว่า 15 โมลลาร์ จะทำให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มที่เหมาะสมคือ 50 องศาเซลเซียส และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์หลังจากการบ่มที่อุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

คำสำคัญ : จีโอโพลีเมอร์, ดินขาว, ดินขาวเผา

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2550

Calcined Ranong Kaolin Geopolymer Mortar^{*}

Charoenchai Riddtirud¹⁾ and Prinya Chindaprasirt²⁾

¹⁾ M.Eng. Candidate, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

²⁾ Ph.D., Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

Email: cr_homemaker@hotmail.com

ABSTRACT

This research studies the properties of calcined ranong kaolin geopolymer mortar. Compressive strengths were tested with various parameters viz., kaolinite calcining temperature and duration, $\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2/\text{KOH}$ ratio, $\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2/\text{NaOH}$ ratio, concentration of KOH and NaOH, curing time and temperature and specimens age.

The results reveal that the optimum calcining temperature and duration are 600 °C and 3 hours. The mix with KOH gives higher compressive strength than that with NaOH. The strength increases with an increase in KOH concentration. The mix with $\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2/\text{KOH}$ of 1.33 gives strength mortar of 320 ksc. When the concentration of KOH exceeds 15 molar, the setting time is very fast. The optimum temperature and duration of curing are found to be 50 °C and 24 hours, respectively. In addition, it is found that the compressive strength of geopolymer mortar marginally increases after using heat to cure the mortar.

Keywords : geopolymer, metakaolinte, calcined kaolin

^{*} Original manuscript submitted: December 22, 2006 and Final manuscript received: February 27, 2007

บทนำ

ในประเทศไทยสารปอซโซลานที่มีอยู่ในปริมาณมากได้แก่ เถ้าลอย และดินขาว เถ้าลอยมีอยู่ประมาณ 2 - 3 ล้านกว่าตันต่อปี มีปริมาณดินขาวสำรองประมาณ 90,970,000 เมตริกตัน (ในปี 2547 ข้อมูลจากสำนักเหมืองแร่และสัมปทาน และฝ่ายอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่) ดินขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิพอเหมาะประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส สามารถใช้ทำปูนซีเมนต์ผสมได้ดีเช่นกัน (Ambrose, J. and Maximilien, S., 1994) สารปอซโซลานเหล่านี้เมื่อผสมกับปูนซีเมนต์จะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตดีขึ้น กล่าวคือมีความทนทานดีขึ้น โดยมีความทึบน้ำมากขึ้น ทนทานต่อการทำลายของสารซัลเฟต และคลอไรด์ ดีขึ้น ถึงแม้ว่าการต้านทานต่อการคาร์บอเนชัน (carbonation) จะลดลงบ้าง

นอกจากนี้ยังมีความพยายามที่จะพัฒนาสารซีเมนต์ที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่ใช้สารปอซโซลานที่ประกอบด้วยสารซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบในการทำวัสดุซีเมนต์ที่เรียกว่า จีโอโพลีเมอร์ (geopolymer) จีโอโพลีเมอร์เป็นสารเชื่อมประสานที่สามารถใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ โดยใช้หลักการของการทำปฏิกิริยาระหว่างซิลิกอน (Si) และอลูมิเนียม (Al) ให้เป็นโมเลกุลลูกโซ่ในลักษณะของโพลีเมอร์ (polymer) โดยการทำให้ปฏิกิริยาของ Si และ Al จะใช้สารละลายที่เป็นต่างสูง และใช้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้น (Davidovits, J. & James, C. 1999)

อนุชาติ (2006) ศึกษาการทำจีโอโพลีเมอร์ที่ได้จาก เถ้าลอย ผสมดินขาวระนอง ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โดยดินขาวเผาที่ 400, 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง โดยผสมและกระตุ้นด้วยสารละลายต่างสูงซึ่งก็ได้แก่ $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ และ NaOH และน้ำเป็นส่วนประกอบแล้วนำตัวอย่างไปบ่มในตู้อบเพื่อเร่งปฏิกิริยา Geopolymerlyzation ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินขาวเผาแทนที่เถ้าลอยอยู่ระหว่างร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้กำลังรับแรงอัดที่ดีอยู่ในช่วง 300-500 กก./ cm^2 จากผลการทดลองการใช้ดินขาวระนองแทนที่ร้อยละ 10 ยังได้ผลกำลังรับแรงอัดเพียง 1.1 กก./ cm^2 ควรมีการทำการศึกษาสารจีโอโพลีเมอร์จากดินขาวในประเทศไทยต่อไป

การเตรียมวัสดุและการทดลอง

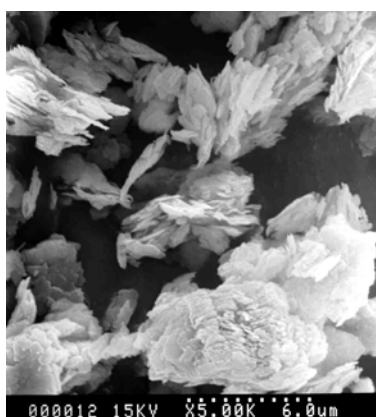
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ดินขาว ดินขาวมาจาก บ้านทุ่งคา ต.หาดส้มแป้น อ.เมือง จ.ระนอง มีรูปร่างอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อให้ความร้อนทั่วถึงและสม่ำเสมอ ทำการปรับระดับดินขาวให้หนาประมาณ 1 เซนติเมตร ในภาชนะความร้อน ทำการเผาในเตาเผาควบคุมอุณหภูมิ ตารางที่ 1 แสดงถึงองค์ประกอบหลักทางเคมีของดินขาวระนองที่ใช้ทำการทดสอบ

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	H ₂ O	LOI
44.85	37.98	0.97	0.06	0.12	0.04	1.23	0.07	0.65	13.94

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของดินขาวระนอง (ร้อยละ)

หมายเหตุ ข้อมูลจาก บริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด.



รูปที่ 1 ลักษณะอนุภาคของดินขาวเผา จากกล้อง Scanning Electron Microscope.(SEM)

2. ทราเยมน้ำ นำมาล้างเพื่อ เอาส่วนที่เป็นดินและสิ่งเจือปนอื่น ๆ ออก จนสะอาดแล้วทำการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. สารเคมีที่ใช้ทดสอบมีอยู่ 3 ชนิด คือ

3.1 สารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) ได้จากการผสมเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์กับน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 8, 10 และ 15 โมลาร์ โดยทำการเตรียมสารละลายก่อนทดลอง 24 ชั่วโมง

3.2 สารละลาย Potassium hydroxide (KOH) ได้จากการผสมเกล็ดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 8, 10 และ 15 โมลาร์ โดยทำการเตรียมสารละลายก่อนทดลอง 24 ชั่วโมง

3.3 สารละลาย Sodium silicate (Na₂O.SiO₂) ซึ่งมีองค์ประกอบของ Na₂O ร้อยละ 9.50, SiO₂ ร้อยละ 29.00 และ น้ำร้อยละ 61.50 โดยมวล

การผสมจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

การผสมเริ่มจากนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียม ผสมกับสารละลายโซเดียมซิลิเกต ผสมทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเทสารละลายทั้งสองผสมกับดินขาวเผาแล้วผสมด้วยเครื่องผสมมอร์ตาร์ ให้ส่วนผสมเข้ากันดีเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเททรายเข้าผสมต่ออีกเป็นเวลา 3 นาที จนส่วนผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ผสมแล้วเทเข้าแบบหล่อ ทรงลูกบาศก์ 5 x 5 x 5 เซนติเมตร โดยจะทำการเทเข้าแบบและกระทุ้งตามมาตรฐาน ASTM C349-97 นำขึ้นโต๊ะสั่น (vibrating table) 30 วินาที เพื่อไล่ฟองอากาศในมอร์ตาร์ เสร็จแล้วทิ้งตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ

23 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วหุ้มด้วยพลาสติกทั้งแบบหล่อ เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ หลังจากนั้นนำเข้าสู่ตูบที่อุณหภูมิและระยะเวลา ตามการทดลอง หลังนำออกจากตูบ นำมอร์ตาร์ออกจากแบบและบ่มที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เพื่อบริการทดสอบกำลังอัดต่อไป

MIX ID.*	MK	Sand	Na ₂ O.SiO ₂	KOH or NaOH
0.33MK (4.75)	13.89	65.95	4.95	15.21
0.67MK (4.75)	13.89	65.95	8.08	12.08
0.10MK (4.75)	13.89	65.95	10.08	10.08
1.33MK (4.75)	13.89	65.95	11.54	8.62
1.67MK (4.75)	13.89	65.95	12.61	7.55
0.67MK (5.25)	12.98	68.08	7.59	11.35
0.67MK (4.25)	14.91	63.36	8.71	13.02
0.67MK (3.75)	16.11	60.37	9.42	14.10
0.67MK (2.75)	19.17	52.71	11.21	16.77

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ (สำหรับน้ำหนักมอร์ตาร์ 100 กรัม)

หมายเหตุ ตัวเลขที่อยู่หน้า MK คืออัตราส่วนโซเดียมซิลิเกตต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนเลขในวงเล็บหมายถึง อัตราส่วน ทรายต่อดินขาวเผา

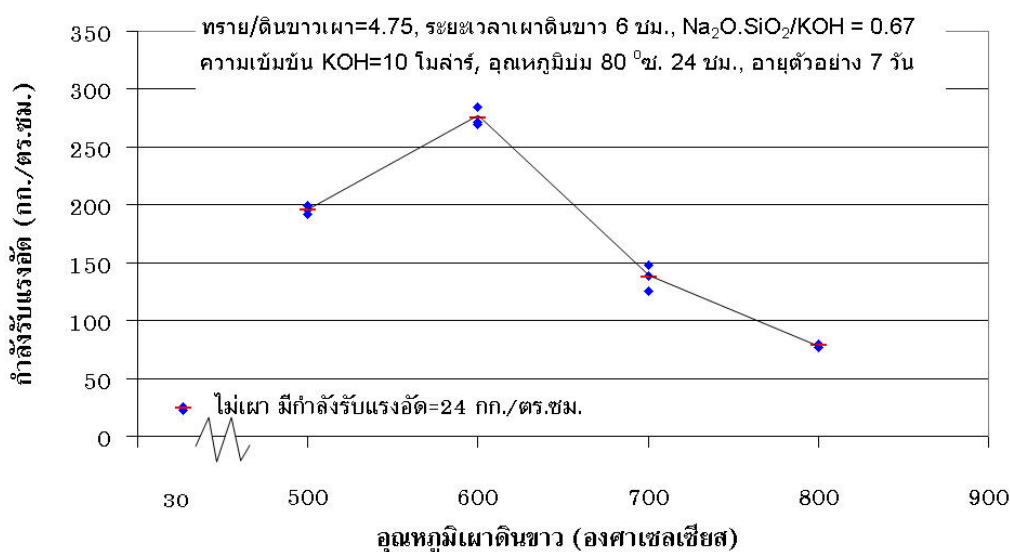
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดสอบหาค่าอัตราส่วนดินขาวเผ่าต่อทรายที่เหมาะสมต่อการทำจีโอโพลีเมอร์

ผลจากการทดสอบพบว่าส่วนผสมที่ใช้อัตราส่วนของทรายต่อดินขาวระนองเผา 2.75:1 และ 3.75:1 มีปริมาณของเพสต์สูง ซึ่งผสมได้ยากและเกิดการแยกตัวได้ง่าย มอร์ตาร์ที่ได้จะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของทรายต่อดินขาวระนองเผาเท่ากับ 4.75:1 จากผลการทดลองครั้งนี้ แสดงว่าการใช้ปริมาณทรายในปริมาณที่มากจะทำให้ต้นทุนในการผลิตมอร์ตาร์ต่ำลงด้วย

ผลกระทบของอุณหภูมิในการเผาดินขาวต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

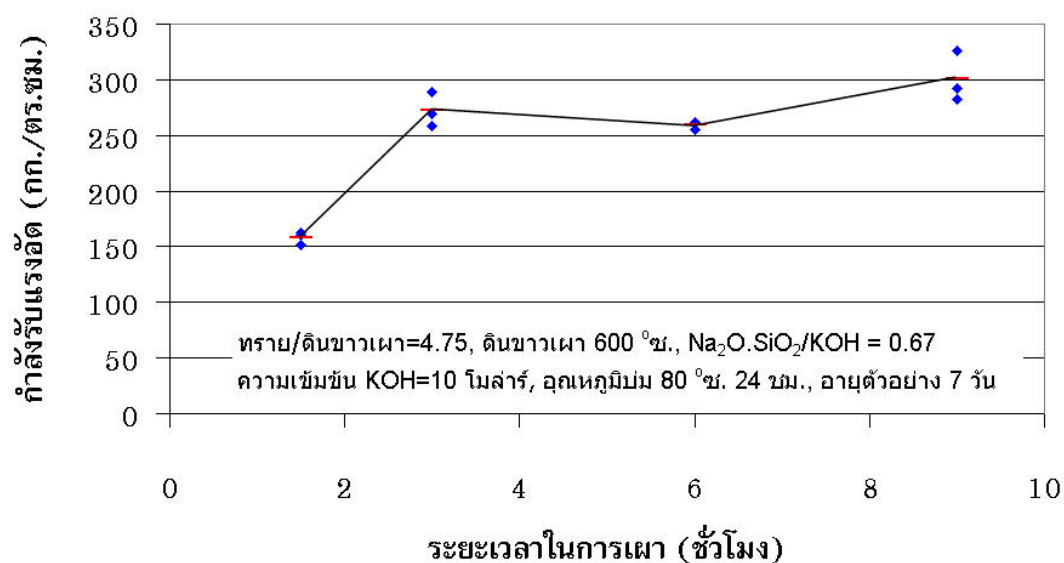
ช่วงอุณหภูมิในการเผาดินขาวช่วง 500-600 องศาเซลเซียส จะให้กำลังรับแรงอัดพัฒนาตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และอุณหภูมิในการเผาดินขาวที่เหมาะสมต่อการทำสารซีเมนต์ เพื่อผลิตจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เท่ากับ 600 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิในการเผาดินขาวที่สูงมากกว่า 600 องศาเซลเซียส ทำให้จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มีกำลังรับแรงอัดลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากอุณหภูมิเผาที่สูงขึ้นทำให้โครงสร้างของดินขาวเผาเปลี่ยนเป็นผลึกซึ่งไม่รองรับแรงอัดต่อการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเผาดินขาว

ผลกระทบของระยะเวลาในการเผาดินขาวต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

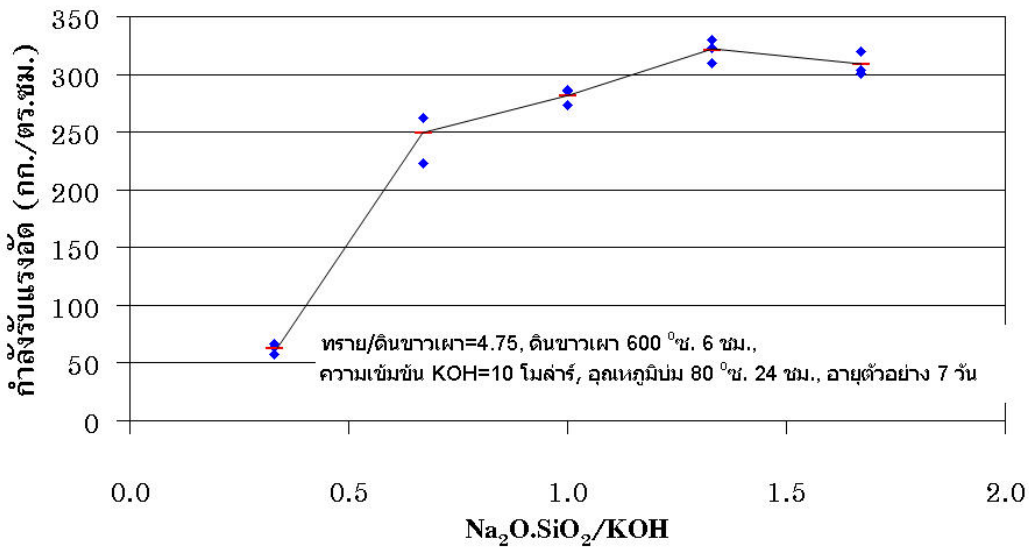
รูปที่ 3 พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเผาดินขาวเพื่อเป็นสารซีเมนต์ในการผลิตจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เท่ากับ 3 ชั่วโมง หากใช้เวลาในการเผามากขึ้น พบว่าไม่ส่งผลถึงการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินขาวให้ทำปฏิกิริยามากขึ้น หรือไม่ทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มมากขึ้นนัก ดังนั้นการใช้เวลาเผามากขึ้นจึงไม่เกิดประโยชน์ในด้านการพัฒนากำลังมากนัก และทำให้เสียพลังงานความร้อน แต่ถ้าวระยะเวลาในการเผาต่ำกว่า 3 ชั่วโมงพบว่า ระยะเวลาเผาไม่พอที่ทำให้เกิดสารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 ที่เหมาะสมในดินขาวเผา ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารละลายต่างไม่สมบูรณ์ ทำให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด เมื่อระยะเวลาในการเผาดินขาวเปลี่ยนแปลง

ผลกระทบของอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

รูปที่ 4 พบว่าอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มว่า ยิ่งค่าอัตราส่วนมีค่าสูงขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วย โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการทำจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากดินขาวเผาจะอยู่ช่วง 1.3 - 1.4 โดยน้ำหนัก ให้กำลังรับแรงอัดสูงถึง 320 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

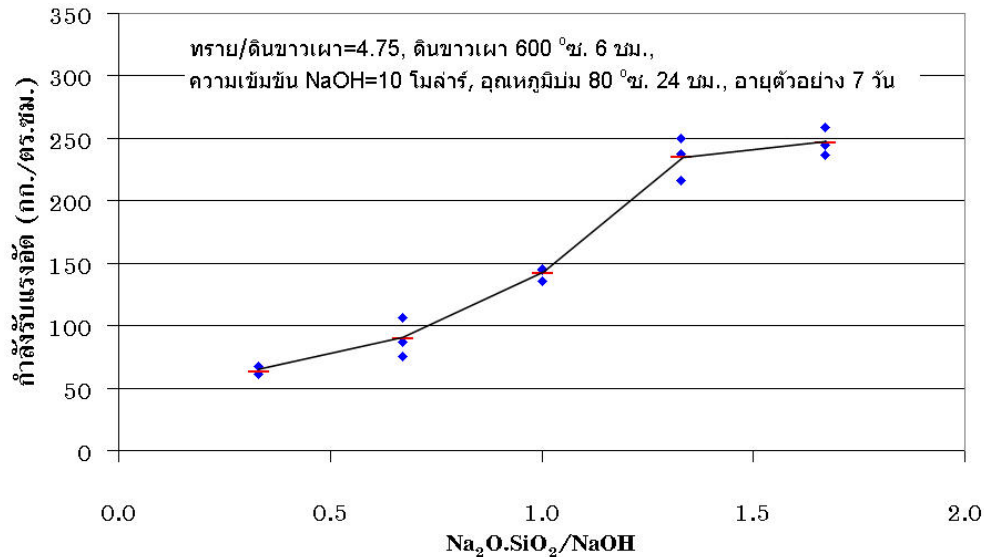


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

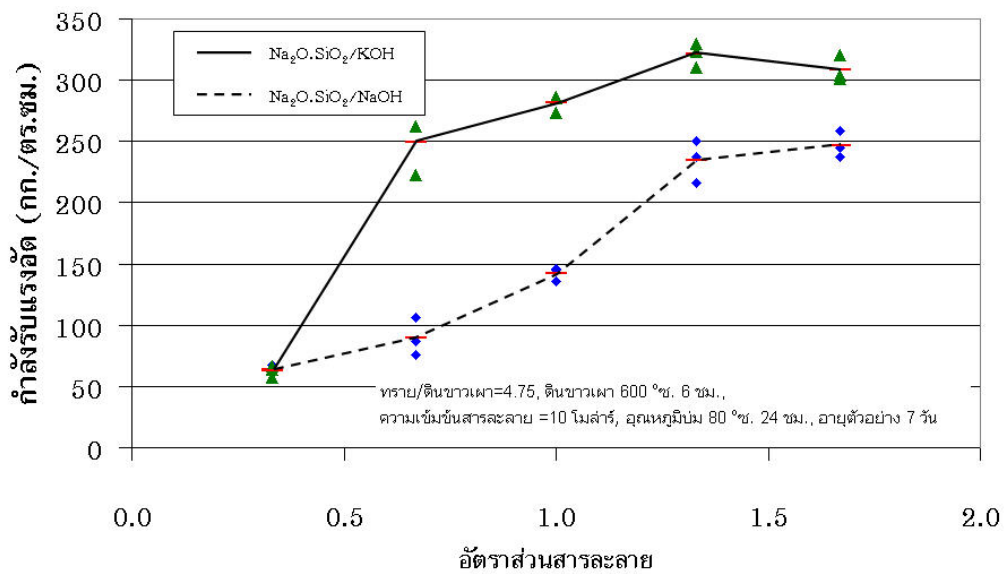
ผลกระทบของอัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

รูปที่ 5 พบว่าแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดจะสูงขึ้นตามอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนของโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้นมากว่า 1.33 กำลังรับแรงอัดจะสูงขึ้นอีกไม่มากนัก

เมื่อส่วนผสมและการควบคุมตัวแปรของจีโอโพลีเมอร์เหมือนกันแล้ว ในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลให้ได้กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มีค่าที่สูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สรุปได้ว่าสารละลายต่างที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาจีโอโพลีเมอร์ได้ดี คือ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



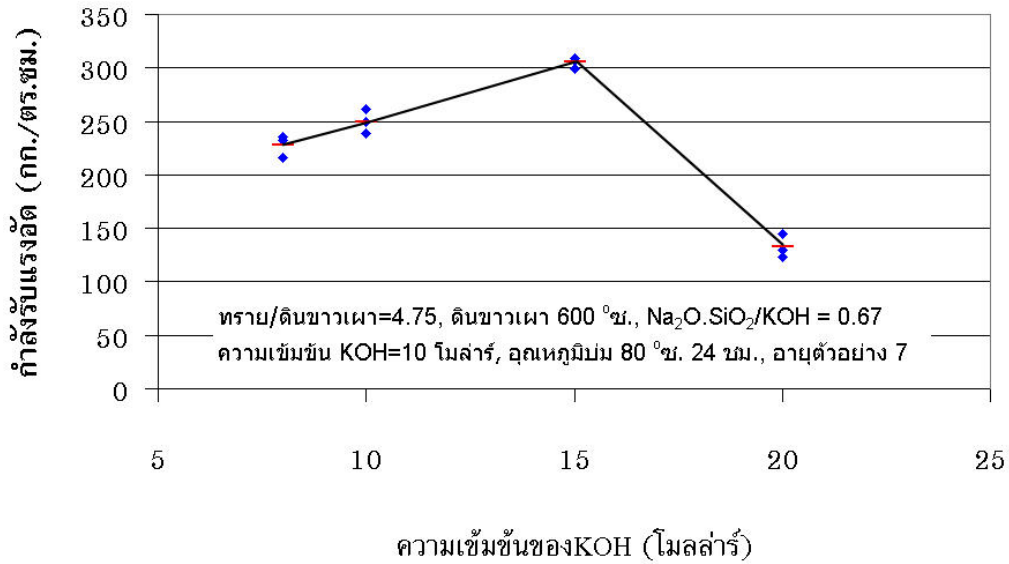
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 6 เปรียบเทียบระหว่างกำลังรับแรงอัดของการใช้สารละลาย KOH และ NaOH

ผลกระทบความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

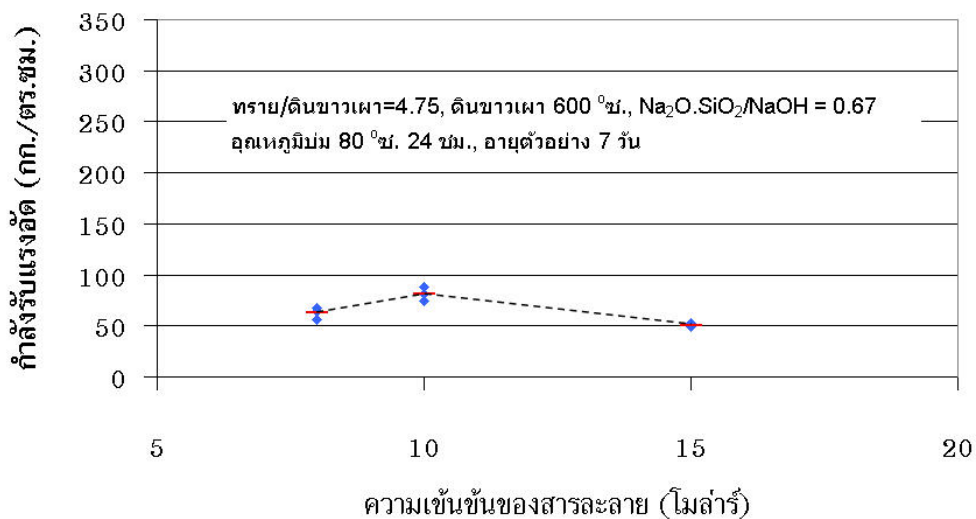
รูปที่ 7 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อมีค่าสูงจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ความรุนแรงของสารละลายต่างนั้นจะมากขึ้นตามไปด้วย และการทำปฏิกิริยาจะเร็วมากจนไม่สามารถทำงานได้ทัน ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดต่ำลง



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ผลกระทบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

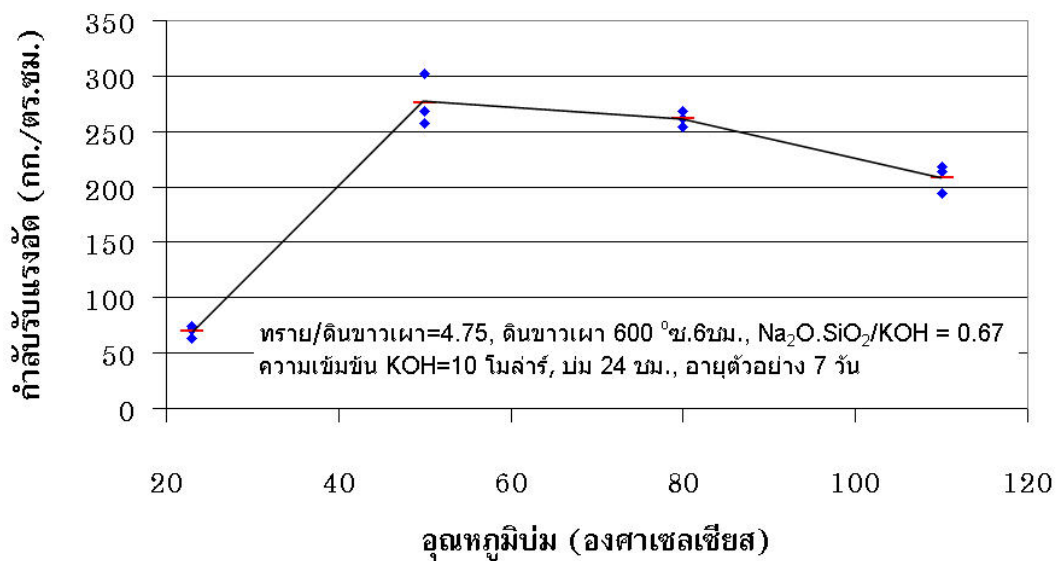
รูปที่ 8 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการทำวัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จะอยู่ช่วง 9 - 10 โมลลาร์ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ความร้อนขณะทำปฏิกิริยาและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยารวดเร็วมาก ส่งผลให้เกิดการก่อตัวหรือเกิดพันธะที่ไม่มีความแข็งแรงเท่ากับกรณีที่เกิดปฏิกิริยาอย่างพอเหมาะและต่อเนื่อง



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลกระทบของอุณหภูมิในการบ่มต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์

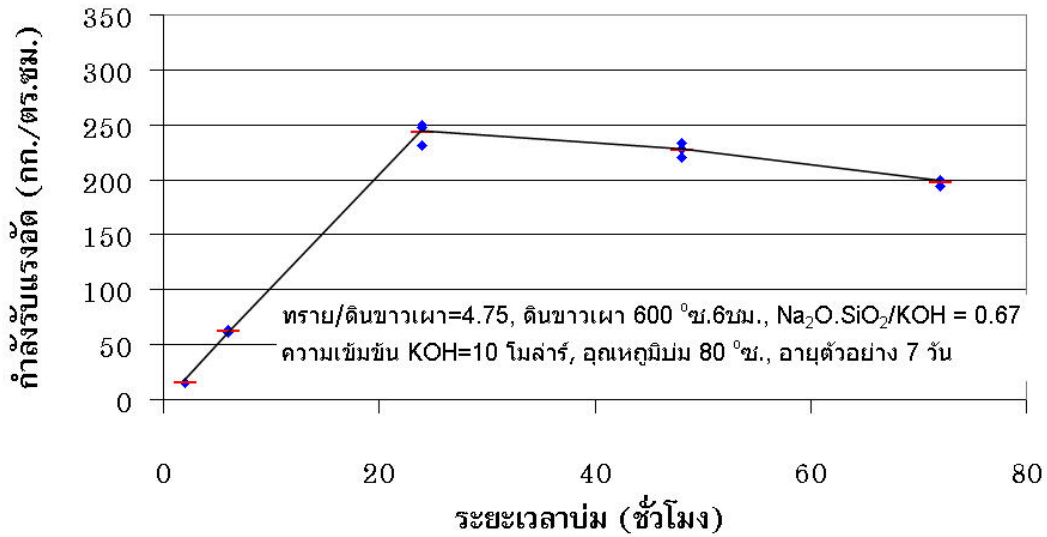
รูปที่ 9 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำจีโอโพลีเมอร์มอร์ต้าร์จากดินขาวเผาแห้งจะอยู่ประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าจะพบว่าตัวอย่างที่ได้มีความชื้นอยู่ข้างในที่สูงเมื่อทำการทดสอบตัวอย่างจะพบว่าเกิดการวิบัติไม่เต็มทีซึ่งจะเกิดการวิบัติที่ผิวภายนอกโดยที่ภายในแกนกลางยังมีความชื้นอยู่ซึ่งทำให้ได้กำลังต่ำ หากอุณหภูมิสูงมากกว่า 70 องศาเซลเซียสแล้ว จะพบว่ากำลังรับแรงอัดลดลง เกิดจากการสูญเสียความชื้น ความชื้นที่มีไม่เพียงพอกับการทำปฏิกิริยาโพลีเมอร์



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอุณหภูมิในการบ่ม

ผลกระทบของระยะเวลาในการบ่มต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์

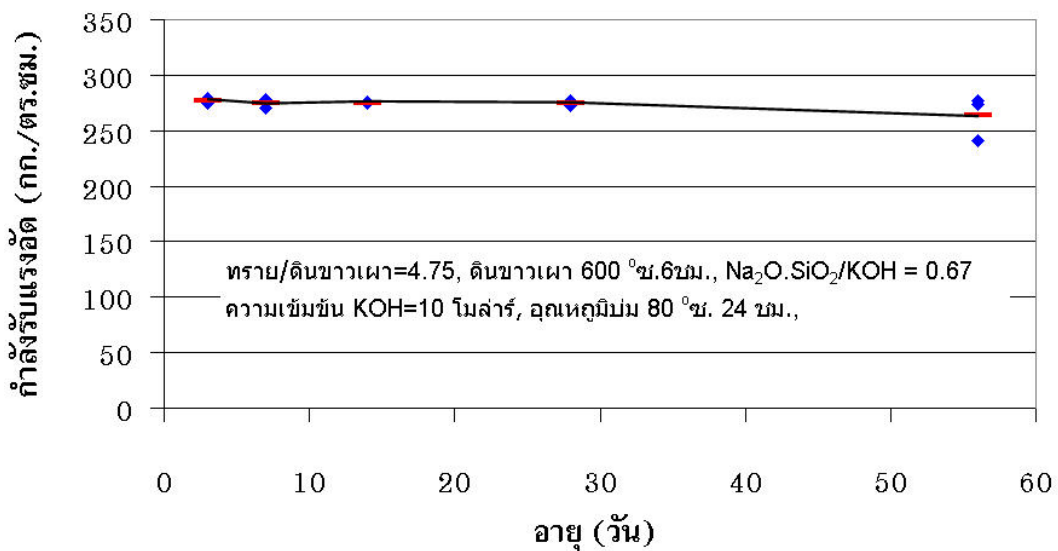
รูปที่ 10 พบว่าระยะเวลาบ่มตัวอย่างในตู้อบเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงจะให้กำลังรับแรงอัดดีที่สุด โดยถ้าใช้เวลาบ่มต่ำกว่า 24 ชั่วโมงจะพบว่าการทำปฏิกิริยาจีโอโพลีเมอร์ยังไม่สมบูรณ์ยังคงต้องให้เวลาในการให้ความร้อนต่ออีก เมื่อให้ความร้อนในการบ่มมากกว่า 24 ชั่วโมงแล้ว ยังพบว่าแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดจะลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาจีโอโพลีเมอร์นั้นยังจำเป็นต้องใช้น้ำต่อไปอีกระยะแต่เมื่อบ่มต่อไปจะทำให้น้ำในตัวตัวอย่างค่อยๆออกไปทำให้ตัวอย่างเสียน้ำที่จะใช้ในการทำปฏิกิริยาให้สมบูรณ์ ทำให้แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและระยะเวลาบ่มตัวอย่างในตู้อบ

ผลกระทบของอายุของตัวอย่างในการบ่มต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

รูปที่ 11 กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากดินขาวเผา เมื่ออายุของตัวอย่างมากขึ้นจะไม่ส่งผลให้จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์พัฒนากำลังรับแรงเพิ่มขึ้นอีก ในการเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อนจะทำให้จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เกิดปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ เมื่อนำมอร์ตาร์ออกจากเตาอบ ความร้อนที่อุณหภูมิห้องจะไม่มีพลังงานสูงพอให้ปฏิกิริยาของจีโอโพลีเมอร์ทำงานต่อทำให้กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างไม่สูงขึ้นอีก



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอายุของตัวอย่าง

สรุป

อัตราส่วนของดินขาวต่อทรายที่เหมาะสมต่อการทำจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ มีค่าเท่ากับ 4.75 จะทำให้มอร์ตาร์มีความเหมาะสมในการเทเข้าแบบและมีกำลังรับแรงที่ดี อุณหภูมิเผาและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำวัสดุจีโอโพลีเมอร์จากดินขาวเผาชนิดนี้ เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง การใช้เวลาในการเผาดินขาวหากใช้มากขึ้น จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นอีกไม่มาก ทำให้เสียพลังงานในการเผามากกว่าได้กำลังรับแรงที่เพิ่มขึ้น สารละลายที่ใช้ควรเป็นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 โมลลาร์ โดยการใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดก่อตัวเร็วมากขึ้น และอันตรายต่อผู้หล่อตัวอย่าง อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ดีมีค่าเท่ากับ 1.33 อุณหภูมิในการบ่มที่เหมาะสมคือ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ที่เร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อน จะไม่มีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่ออายุมากขึ้น

งานวิจัยนี้พัฒนากำลังรับแรงอัดของวัสดุจีโอโพลีเมอร์จากดินขาวระนองเผาร้อยละ 100 ของอนุชาติ(2006) ที่ทำได้เท่ากับ 1.1 กก./ตร.ซม. โดยในงานวิจัยนี้กำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 320 กก./ตร.ซม. ทำให้เข้าใจปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตวัสดุจีโอโพลีเมอร์จากดินขาวระนอง และสามารถประยุกต์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยเพื่อ ผลิตวัสดุจีโอโพลีเมอร์จากวัสดุประเภทอื่น ๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

สำนักเหมืองแร่และสัมประทาน และฝ่ายอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2547. **ลักษณะ**

ธรณีวิทยาแหล่งแร่. แผนผังโครงการทำเหมือง

อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ. 2549. **การศึกษาสารจีโอโพลีเมอร์จากเถ้าลอยและดินขาวเผา.**

วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Ambroise, J. and Maximilien, S. 1994, Properties of metakaolin blended cements, **Advanced Cement Based Materials** , 1(1): 161-168.

Davidovits, J. and James, C. 1999, Chemistry of Geopolymeric Systems Terminology in Geopolymer '99, **International Conference, France**, (1): 9-40.