

การศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลล์สำหรับงานโครงสร้าง

A Study of Properties of Structural Cellular Lightweight Geopolymer Mortar

พัชรพล โพธิ์ศรี (Patcharapol Posi)* ปรินญา จินดาประเสริฐ (Prinya Chindaprasirt)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลล์สำหรับงานโครงสร้าง ใช้เถ้าลอย, โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซิลิเกตกับการบ่มโดยใช้อุณหภูมิ ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของวัสดุจีโอโพลิเมอร์มวลเบา โดยมีตัวแปรที่ศึกษาต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอย, อัตราส่วนของโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์, ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, อัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอย, ปริมาณร้อยละของโฟมโดยมวล และอุณหภูมิสำหรับการบ่ม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.7, อัตราส่วนของโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0, ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 15 โมลาร์, อัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอย เท่ากับ 2.75, ระยะเวลา ก่อนบ่มตัวอย่างด้วยความร้อน 1 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40°C 1 วันตามด้วยการบ่มที่ 60°C 2 วัน ปริมาณร้อยละของโฟมโดยมวลเท่ากับ 3% ทำให้ได้วัสดุจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มวลเบา เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้าง จะได้กำลังรับแรงอัดของวัสดุจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เท่ากับ 185 กก./ตร.ซม. และความหนาแน่นเท่ากับ 1,760 กก./ม³

ABSTRACT

This research studies the properties of structural cellular lightweight geopolymer mortar. Geopolymer made from fly ash, sodium hydroxide and sodium silicate with temperature curing were investigated. Compressive strengths and densities of lightweight geopolymers were tested with various parameters viz., liquid alkaline to ash ratios, sodium silicate to NaOH ratios, concentration of NaOH solutions, sand to ash ratios, percent foam by mass and curing temperature. The results revealed that the liquid alkaline to ash ratio of 0.7, sodium silicate to NaOH ratio of 1.0, concentration of NaOH of 15M, sand to ash ratio of 2.75, 1 hour delay time before heat curing, curing at 40°C for 1 day followed by 60°C for 2 days, 3% foam by mass gave suitable structural lightweight geopolymer mortar. The strength of synthesized geopolymer mortar of 185 ksc and the density of 1,760 kg/m³ were obtained.

คำสำคัญ : จีโอโพลิเมอร์ มอร์ตาร์ มวลเบาแบบเซลล์

Key Words : Geopolymer, Mortar, Cellular lightweight

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

เนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ใช้พลังงานสูงในกระบวนการผลิตและปล่อยก๊าซที่มีผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ถึงปีละ 13,500 ล้านตันออกสู่ชั้นบรรยากาศจำนวนมากประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซที่ปล่อยออกมาทั้งหมด (Chindaprasirt, Chareerat and Sirivivananon, 2007) ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการวิจัยเพื่อผลิตสารซีเมนต์โดยไม่จำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อเป็นการอนุรักษ์และรักษาสีสิ่งแวดล้อมจากการระเบิดภูเขาเพื่อผลิตปูนซีเมนต์และยังต้องเข้าสู่กระบวนการผลิตปูน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน สารซีเมนต์ดังกล่าวคือวัสดุจีโอโพลิเมอร์ (geopolymer) ที่เป็นสารเชื่อมประสานที่สามารถใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ โดยใช้หลักการของการทำปฏิกิริยาระหว่าง ซิลิกอน (Si) และอะลูมิเนียม (Al) ให้เป็น โมเลกุลลูกโซ่ในลักษณะของโพลิเมอร์ (polymer) โดยการทำให้ปฏิกิริยาของ Si และ Al จะใช้สารละลายที่เป็นด่างสูง และใช้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้น (ประมวล, ชาญชัย และปริญา, 2551)

การก่อสร้างในปัจจุบันส่วนใหญ่ โครงสร้างจะมีขนาดใหญ่เพราะต้องรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร ใน การที่จะลดน้ำหนักของโครงสร้างจึงได้มีการนำวัสดุ ก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบามาใช้ในภาพแบบบล็อกมวลเบา หรือใช้ในชิ้นส่วนของโครงสร้าง เช่น เสา คาน พื้น เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการทดลองผลิตจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มวลเบา ระบบเซลล์ลูต้าสำหรับงานโครงสร้าง (Structural cellular lightweight geopolymer mortar) ขึ้น เพื่อลดน้ำหนักของอาคาร ส่งผลให้ประหยัดต้นทุนโดยรวม ใช้ ส่วนผสมของเถ้าลอย ทราย โขเดียมไฮดรอกไซด์ โขเดียมซิกเนต และสารที่ทำให้เกิดฟองอากาศที่เป็นเม็ดกลมขนาดเล็กมาก ซึ่งทำให้เกิดฟองก่อนการผสม ฟองอากาศนี้จะต้องมีเสถียรภาพสูงระหว่างการผสม การเท จนกระทั่งจีโอโพลิเมอร์แข็งตัว ฟองอากาศแบบไม่ต่อเนื่องในมวลจีโอโพลิเมอร์ ก่อให้เกิดผลดีคือน้ำหนักเบาป้องกันความร้อน เสียง และทนไฟได้ดีกว่า

วัสดุจีโอโพลิเมอร์ปกติ ดังนั้นวัสดุจีโอโพลิเมอร์มวลเบา ระบบเซลล์ลูต้าจึงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง หรือทำโครงสร้างอาคาร ทั้งผนังภายใน และภายนอกอาคาร ซึ่งในกระบวนการผลิต มีความสะดวกและไม่ ต้องใช้เครื่องอบไอน้ำ ความดันสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มวลเบา ระบบเซลล์ลูต้า สำหรับงานโครงสร้าง เพื่อเป็น ข้อมูลที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง และ พัฒนาการผลิตวัสดุจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มวลเบา ระบบเซลล์ลูต้า

วัสดุและวิธีการวิจัย

วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ คุณสมบัติทางกายภาพของ เถ้าลอย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ทดสอบความ ถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM C188 (ASTM C188-95, 2001) ความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C204 (ASTM C204-00, 2001) องค์ประกอบทางเคมีของเถ้า ลอยแสดงไว้ในตารางที่ 2 มวลรวมละเอียดใช้ทราย แม่น้ำ ที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.33 ทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C136 (ASTM C136-96a, 2001) และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.59 ทดสอบตาม มาตรฐาน ASTM C128 (ASTM C128-97, 2001)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย

คุณสมบัติทางกายภาพ	เถ้าลอย
ค่าความละเอียดโดยวิธีเบลน (ตร.ชม./ก.)	2000
ความถ่วงจำเพาะ	2.47

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO ₂	35.27
Al ₂ O ₃	16.6
Fe ₂ O ₃	13.68
CaO	25.57
Na ₂ O	2.74
MnO	0.1
K ₂ O	1.99
MgO	3.28
P ₂ O ₅	0.27
TiO ₂	0.3
LOI (%)	0.37

การเตรียมตัวอย่าง

การทดลองนี้ใช้อัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 ใช้สารละลาย Sodium Silicate (NaSiO₃) ซึ่งมีองค์ประกอบของ Na₂O 9.5%, SiO₂ 9.00% และน้ำ 61.50% โดยน้ำหนักสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 5, 10, 15 โมลลาร์ ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วน NaSiO₃/NaOH เท่ากับ 0.33, 0.67, 1.00, 1.50, 3.00 ใช้อัตราส่วนทรายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 2.00, 2.25, 2.50, 2.75, 3.00, 3.25 ใช้ปริมาณโฟม 3, 4, 5, 6 และ 7% โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการบ่มใช้ 40 °C เป็นเวลา 1 วัน และใช้ 40, 50, 60, 75 และ 90 °C เพิ่มอีก 2 วัน

กระบวนการผสมเริ่มต้นจากนำเถ้าลอยมาผสมกับ NaOH เป็นเวลา 5 นาที เติมทรายผสมอีก 5 นาที เติม Sodium Silicate ผสมอีก 5 นาที ผิดโฟมลงไปผสมอีก 2 นาทีเป็นขั้นตอนสุดท้าย หลังจากผสมเสร็จแล้วนำมอร์ตาร์เทลงในแบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 50 × 50 × 50 มม. ทั้งตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง ทำการห่อตัวอย่างและแบบหล่อด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น นำเข้าตู้บ่มเป็นเวลา 3 วันหลังจากบ่ม

เสร็จนำตัวอย่างทดสอบไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เย็นลง ทำการถอดแบบและเก็บไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 °C และความชื้นที่ 50% R.H. จนกระทั่งถึงอายุทดสอบ ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 วันตาม ASTM C 109 (ASTM C109/C109M-99, 2001) กำลังที่รายงานเป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 3 ก้อน

ชุดของการทดสอบ

ออกแบบการทดสอบโดยเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลล์ดู ดังนี้

1. Series A: ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ L/A เป็น 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 โดยคงที่ค่าของ NaOH 15 M, S/A = 2.75, NS/NH = 1.00 ปริมาณโฟม 3%, อุณหภูมิบ่ม 40 °C 1 วันตามด้วย 60 °C 2 วัน

2. Series B: ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ NS/NH เป็น 0.33, 0.67, 1.00, 1.50, 3.00 โดยคงที่ค่าของ NaOH 15 M, L/A = 0.7, S/A = 2.75, ปริมาณโฟม 3%, อุณหภูมิบ่ม 40 °C 1 วันตามด้วย 60 °C 2 วัน

3. Series C: ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NaOH เป็น 5, 10, 15 M โดยคงที่ค่าของ L/A = 0.7, NS/NH = 1.00, S/A = 2.75, ปริมาณโฟม 3%, อุณหภูมิบ่ม 40 °C 1 วันตามด้วย 60 °C 2 วัน

4. Series D: ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ S/A เป็น 2.00, 2.25, 2.50, 2.75, 3.00, 3.25 โดยคงที่ค่าของ L/A = 0.7, NS/NH = 1.00, NaOH 15 M, ปริมาณโฟม 3%, อุณหภูมิบ่ม 40 °C 1 วันตามด้วย 60 °C 2 วัน

5. Series E: ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม โดยทำการบ่มด้วยอุณหภูมิ 40 °C 1 วัน แล้วทำการเปลี่ยนอุณหภูมิในการบ่มอีก 2 วันที่ 40, 50, 60, 75, 90 °C โดยคงที่ค่าของ

L/A = 0.7, NS/NH = 1.00, NaOH 15 M, S/A = 2.75, ปริมาณ โฟม 3%

6. Series F: ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลง ปริมาณ โฟม โดยใช้ปริมาณ โฟม 3, 4, 5, 6, 7 % โดยคงที่ ค่าของ L/A = 0.7, NS/NH = 1.00, NaOH = 15 M, S/A = 2.75, อุณหภูมิ บ่ม 40 °C 1 วันตามด้วย 60 °C 2 วัน

เมื่อ L/A = อัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอย

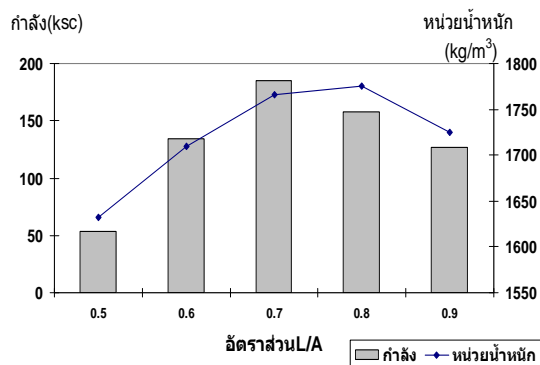
S/A = อัตราส่วนทรายต่อเถ้าลอย

NS/NH = อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซัลเฟต ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

Series A: ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอย

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอย เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 ได้แสดงในภาพที่ 1



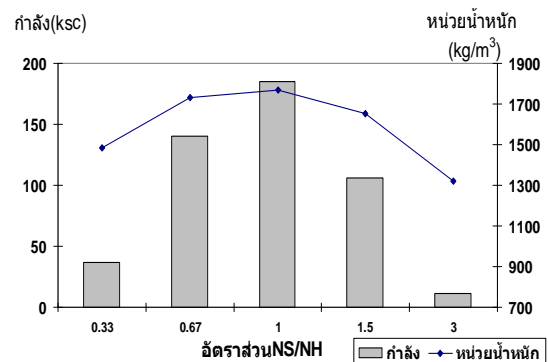
ภาพที่ 1 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอย

แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์มวลเบา มีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอยมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงที่สุดที่อัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.7 โดยมี

กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 185 ksc และ 1,770 kg/m³ ตามลำดับ แต่เมื่ออัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอยมีค่าสูงมากกว่า 0.7 ทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักลดลงเนื่องมาจากเมื่ออัตราส่วนของของเหลวต่อเถ้าลอยมีค่าสูงมากไปจะทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเหลวทำให้โฟมสามารถเข้าไปในเนื้อของจีโอโพลิเมอร์ได้ง่ายจึงทำให้เกิดรูพรุนมากส่งผลให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักลดลง

Series B: ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซัลเฟตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์

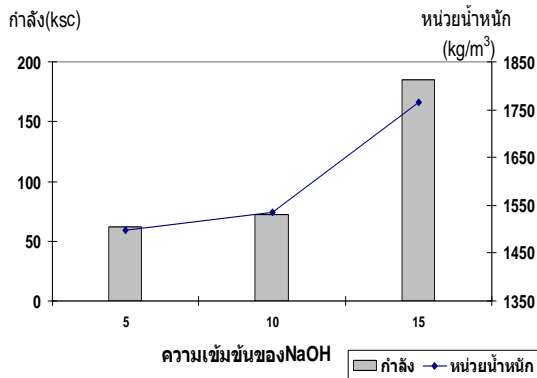
กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์มวลเบาเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซัลเฟตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.33, 0.67, 1.00, 1.50, 3.00 ได้แสดงในภาพที่ 4.2 แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักสูงขึ้นตามอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซัลเฟตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นและมีค่าสูงที่สุดเมื่ออัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซัลเฟตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1.00 ซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนัก เท่ากับ 185 ksc และ 1,770 kg/m³ แต่เมื่ออัตราส่วนของโซเดียมซัลเฟตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ สูงกว่า 1.00 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักมีแนวโน้มลดลง



ภาพที่ 2 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซัลเฟตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์

Series C: ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์มวลเบาโดยทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็น 5, 10, 15 โมลลาร์ แสดงในภาพที่ 3



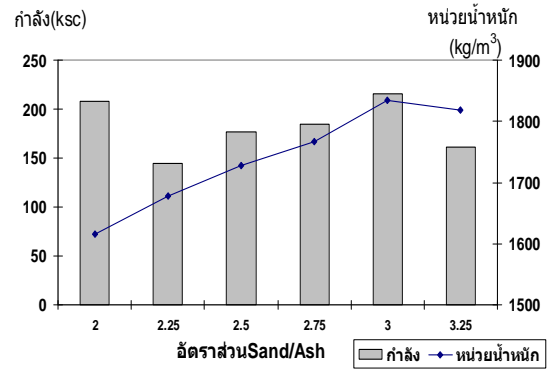
ภาพที่ 3 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการเจือจางความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในขั้นตอนการเติมโพลีเมอร์เป็นส่วนประกอบหลัก ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมมีค่าที่ 15 โมลลาร์ ทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักมีค่าสูงสุด และในการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงประมาณ 20 โมลลาร์ การเตรียมทำได้ยากเนื่องจากเกิดการตกผลึกอย่างฉับพลัน

Series D : ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอย

ภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์มวลเบาโดยทำการ

เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 2.00, 2.25, 2.50, 2.75, 3.00, 3.25



ภาพที่ 4 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอย

เมื่ออัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอยเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณของทรายที่เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอยมีค่าเท่ากับ 3.00 แต่เมื่ออัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอยสูงมากกว่า 3.00 ทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักลดลงเนื่องจากส่วนผสมมีปริมาณทรายมากเกินไปทำให้เนื้อของมอร์ตาร์มีลักษณะแห้งเกิดการผสมกันอย่างไม่ทั่วถึงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักลดลง และอัตราส่วนทรายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 3.00 นั้น ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 215 ksc และ 1,840 kg/m³ แต่ว่าอัตราส่วนทรายต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมสำหรับการทำอิโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลลูโลส สำหรับงานโครงสร้างนั้น จะมีค่าเท่ากับ 2.75 โดยให้ค่ากำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 185 ksc และ 1,770 kg/m³ ซึ่งอัตราส่วนทรายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 3.00 จะให้ค่าหน่วยน้ำหนักที่สูง และอัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอยมีค่าเท่ากับ 2.00 จะทำให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการแยกชั้นของทรายและฟองอากาศ เพราะว่ามีปริมาณทรายที่น้อยเกินไปไม่เพียงพอที่จะกักฟองอากาศไว้ได้ดังแสดงในภาพที่ 5 จึงทำให้ค่ากำลังรับแรงอัด และ

หน่วยน้ำหนักมอร์ตาร์มวลเบาที่อัตราส่วนทรายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 2.00 มีค่าที่คลาดเคลื่อนได้ สาเหตุของกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนทรายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 2.00 มีค่าสูงเพราะว่าเมื่อเกิดการแยกชั้นของฟองอากาศและมอร์ตาร์ ชั้นล่างของตัวอย่างทดสอบจะเป็นมอร์ตาร์ที่อัดตัวกันแน่น ไม่มีฟองอากาศแทรกในเนื้อของมอร์ตาร์จึงทำให้กำลังรับแรงอัดสูงและเนื่องจากอัตราส่วนของทรายต่อเถ้าลอยเท่ากับ 2.00 มีปริมาณทรายที่น้อยจึงทำให้มีหน่วยน้ำหนักต่ำ

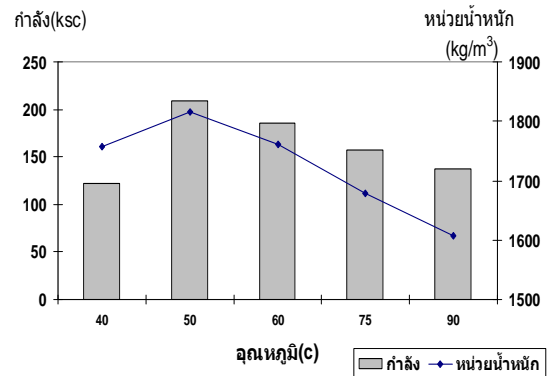


ภาพที่ 5 อัตราส่วนที่ทำให้เกิดการแยกตัวเป็นชั้นเมื่อปริมาณทรายน้อยเกินไป

Series E : ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบ่ม

ภาพที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์มวลเบาโดยอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเป็น 40°C 1 วัน จากนั้นเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่มเป็น 40, 50, 60, 75, 90 °C อีก 2 วัน ผลการทดสอบพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำมอร์ตาร์มวลเบา นั้นจะอยู่ประมาณ 50-60 °C ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 50°C พบว่าตัวอย่างทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ มีความชื้นอยู่ภายในสูงจึงทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำ และหน่วยน้ำหนักมีค่าค่อนข้างสูง หากอุณหภูมิสูงมากกว่า 60 °C กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากโครงสร้างภายในที่แห้งไม่มีความชื้นอยู่จาก

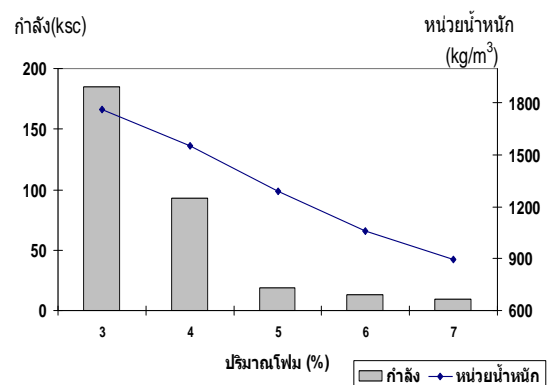
การสูญเสียความชื้นจากการบ่มด้วยอุณหภูมิที่สูงและหน่วยน้ำหนักจะมีแนวโน้มที่ลดลง (เจริญชัย, 2550)



ภาพที่ 6 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบ่ม

Series F: ผลของการเปลี่ยนปริมาณโฟม

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์มวลเบาโดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโฟมเป็น 3, 4, 5, 6 และ 7% ได้แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเมื่อเปลี่ยนปริมาณโฟม

แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักมีค่าลดลงเมื่อปริมาณโฟมสูงขึ้น เมื่อปริมาณโฟมสูงขึ้นทำให้เนื้อของตัวอย่างทดสอบมีรูพรุนเพิ่มขึ้นจึงส่งผล

ให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของวัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลลูโลส มีค่าลดลง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของวัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลลูโลส สำหรับงานโครงสร้างสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่ออัตราส่วนของ L/A มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักมีค่าสูงขึ้น และมีค่าสูงที่สุดที่อัตราส่วนของ L/A มีค่าเท่ากับ 0.7 แต่เมื่ออัตราส่วนของ L/A มีค่าสูงมากกว่า 0.7 ทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักลดลง

2. เมื่ออัตราส่วนของ NS/NH สูงขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักสูงขึ้นและมีค่าสูงที่สุดเมื่ออัตราส่วนของ NS/NH เท่ากับ 1.00 แต่เมื่ออัตราส่วนของ NS/NH สูงมากกว่า 1.00 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักลดลง

3. ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH

4. เมื่ออัตราส่วนของ S/A เพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนของ S/A มีค่าเท่ากับ 3.00 แต่เมื่ออัตราส่วนของ S/A มากกว่า 3.00 ทำให้กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักลดลง

5. อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำวัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลลูโลส สำหรับงานโครงสร้างนั้นจะอยู่ประมาณ 50-60 °C ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 50 °C ทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำแต่หน่วยน้ำหนักจะมีค่าค่อนข้างสูง และอุณหภูมิสูงมากกว่า 60 °C แล้วพบว่ากำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักมีแนวโน้มที่ลดลง

6. ปริมาณโฟมที่เหมาะสมในการทำวัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลลูโลส สำหรับงานโครงสร้างมีค่าประมาณ 3% เมื่อทำการเพิ่มปริมาณโฟม

สูงขึ้นกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักจะมีค่าลดลงมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษากการบ่มด้วยการใช้ความร้อนจากแดดเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

2. ควรศึกษาตัวแปรเพิ่ม เช่น การใช้เถ้าลอยที่ละเอียดขึ้น อายุของตัวอย่างการทดลองที่มากขึ้น เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนวิจัย วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

เจริญชัย ฤทธิรัฐ. 2550. การศึกษาสารจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากดินขาวระนองเผา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประมวล โสมละคร, ชานูชัย เสาะปก และ ปริญญาจินดาประเสริฐ. 2551. การก่อตัวและกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยผสมแร่ดินเบา.การประชุมวิชาการคอนกรีตและจีโอโพลีเมอร์แห่งชาติ ครั้งที่ 2. :181-189.

American Society for Testing and Materials. ASTM C109/C109M-99. 2001. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in or [50 mm] cube specimens), Annual book of ASTM Standards, Philadelphia. 4(1):83-88.

American Society for Testing and Materials, ASTM

C128-97. 2001. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates. Annual Book of ASTM Standards. 4(2): 69-73.

American Society for Testing and Materials, ASTM

C136-96a. 2001. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of ASTM Standards. 4(2): 78-82.

American Society for Testing and Materials, ASTM

C188-95. 2001. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standards. 4(1): 179-180.

American Society for Testing and Materials, ASTM

C204-00. 2001. Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus. Annual Book of ASTM Standards. 4(1): 184-191.

Chindaprasirt, P., Chareerat, T., and Sirivivananon, V.

2007. Workability and Strength of Coarse High Calcium Fly Ash Geopolymer, Cem Concr Compos . 29:224-9.