

วัสดุก่อผนังจากเศษคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ
กระตุ้นด้วยอัลคาไลเพื่อทดแทนการใช้ซีเมนต์และทรายจากธรรมชาติ
Alkali-Activated Masonry Units Using Crushed Cellular Lightweight Concrete to
Fully Replace Cement and Natural Sand

วาริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์^{1*} และ สุรพันธ์ สันติยานนท์²
Warisara Lertpaitoonpan^{1*} and Suraphan Santiyanon²

บทคัดย่อ

คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (CLC) ที่แตกหักเสียหายจากการผลิต การขนย้าย รวมทั้งเศษเหลือจากการตัด เป็นขยะที่จะต้องขนทิ้ง ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายและเป็นภาระต่อพื้นที่ฝังกลบ การผลิต CLC ก็ต้องใช้ซีเมนต์และทรายที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมด หากสามารถนำเศษ CLC กลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างก็จะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและตอบสนองต่อโมเดลเศรษฐกิจบีซีจี (BCG Economy) งานวิจัยนี้จึงนำเศษ CLC ที่บดละเอียด ผสมกับสารกระตุ้น (Activating Solution) คือโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซิลิเกต เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุเบาก่อผนังแทน CLC ชนิด C16 ที่ต้องมีค่ากำลังต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 7.5 โมลาร์ และมีอัตราส่วนของ เศษ CLC: สารกระตุ้น เป็น 1: 1.5 ผลการวิจัยพบว่า ก้อนตัวอย่าง มีค่าความต้านแรงอัดสูงสุด (ที่ 28 วัน) เท่ากับ 115 และ 99 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 5 และ 7.5 โมลาร์ ตามลำดับ และมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,600-1,650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทุกระยะเวลาการบ่ม

คำสำคัญ: วัสดุก่อผนังชนิดกระตุ้นด้วยอัลคาไล เศษคอนกรีตบล็อกมวลเบา วัสดุทดแทนซีเมนต์

Abstract

The broken Cellular Lightweight Concrete (CLC) from production, handling, including the cutting residues. It must be disposed of, which is costly, and burdens the landfill area. In addition, the production of CLC requires depleted natural resources, cement and sand. If CLC scraps can be reused as building materials, it would be good for the environment and a response to the BCG Economy model as well. In this research, the crushed CLC fragments was mixed with an activating solution, sodium hydroxide and sodium silicate solution, to develop a lightweight wall material substituting CLC type C16 that must have a compressive strength of not less than 51 kg/cm². The sodium hydroxide concentrations of 5 and 7.5 molar, and the ratio of ground CLC: activating solution was 1: 1.5. The results showed that samples had the highest compressive strength, at 28 days curing age, of 115 and 99 kg/cm², for the sodium hydroxide concentrations of 5 and 7.5 molar, respectively. The density were between 1,600-1,650 kg/m³ for every mix recipe.

Keywords: Alkali-activated wall material, CLC fragment, Cement-substitute masonry

¹ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ถนนพหลโยธิน กรุงเทพฯ

¹ Department of Civil Engineering, School of Engineering, Sripatum University, Phahonyotin Road, Bangkok.

² สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ถนนพหลโยธิน กรุงเทพฯ

² Department of Civil Engineering, School of Engineering, Sripatum University, Phahonyotin Road, Bangkok.

* Corresponding author. E-mail: warisara.le@spu.ac.th

บทนำ (Introduction)

คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (Cellular Lightweight Concrete-CLC) หรือเรียกกันทั่วไปว่า คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส มีโครงสร้างรูพรุนที่เกิดจากการเติมสารก่อฟองกระจายอย่างสม่ำเสมอ ด้วยโครงสร้างเช่นนี้จึงมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบากว่าอิฐมวลเบาประมาณร้อยละ 40 มีขนาดก้อนใหญ่กว่าอิฐมวลเบาและผิวเรียบทำให้ประหยัดทั้งปูนก่อและปูนฉาบรวมทั้งก่อได้รวดเร็วกว่า เป็นฉนวนกันความร้อนช่วยลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้ ทนไฟ มีความแข็งแรง เจาะฝังทุกยึดแขวนได้ มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Autoclaved aerated lightweight concrete-AAC) ทำให้ลดปัญหาความชื้นและเชื้อรา ดังนั้น CLC จึงได้รับความนิยมในการใช้เป็นวัสดุก่อผนังอาคาร (คำภี จิตชัยภูมิ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2563; Bhosale et al., 2020) วัสดุที่ใช้ในการผลิต CLC ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทราย น้ำ และสารก่อฟอง โดยเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าปูนซีเมนต์ผลิตมาจากทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป นอกจากนี้กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ยังปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง นั่นคือ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 0.66 ถึง 0.82 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ต่อทุกๆ 1 ตันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตได้ ซึ่งปริมาณ CO₂ ที่ปล่อยออกจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 5 ถึง 7 ของปริมาณ CO₂ ที่เกิดจากมนุษย์ทั่วโลก (Turner and Collins, 2013; Sheheryar et al., 2021)

ทรายเป็นทรัพยากรธรรมชาติชนิดที่ใช้แล้วหมดไป และเป็นวัสดุที่มีความต้องการใช้มากในการก่อสร้าง โดยมีแนวโน้มความต้องการที่ยังคงเพิ่มอย่างต่อเนื่อง อันมีผลมาจากการขยายตัวของเมืองและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การขุดทรายออกจากแม่น้ำและริมตลิ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ ด้านชีววิทยา ด้านเคมี และสภาพแวดล้อมของมนุษย์ เช่น ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นและระดับต่ำลง ความหลากหลายทางชีวภาพลดลงและทอดยาวในน้ำและชายฝั่งไปจนถึงพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงทั้งหมด คุณภาพน้ำ อากาศ และดินลดลงเนื่องจากมลพิษที่ปนเปื้อน โครงสร้างพื้นฐานเสียหาย การเข้าถึงน้ำจำกัดและเกิดการสูญเสียทางการเกษตร เมื่อปริมาณความต้องการทรายเพิ่มขึ้น ทำให้แหล่งของทรายขยายไปสู่พื้นที่ที่เปราะบางมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อความยั่งยืนตั้งแต่ระดับท้องถิ่นไปจนถึงระดับโลก (Rentier and Cammeraat, 2022; UN Environment Programme, 2022)

CLC ที่แตกหักเสียหายจากการผลิต การขนย้าย รวมทั้งเศษเหลือจากการตัด ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นขยะที่จะต้องขนทิ้งซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่าย และการกำจัดที่ต้องฝังกลบก็เป็นการเพิ่มภาระต่อพื้นที่ฝังกลบซึ่งก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ทั้งนี้จากรายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564 โดยกรมควบคุมมลพิษ (2564) ระบุว่า มีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบที่ดำเนินการกำจัดอย่างถูกต้องที่เปิดดำเนินการอยู่เพียง 70 แห่ง ในขณะที่สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการกำจัดแบบไม่ถูกต้อง (แบบเทกอง) ที่เปิดดำเนินการอยู่มีจำนวนถึง 1,888 แห่ง ในขณะที่ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งประเทศมีปริมาณ 24.98 ล้านตัน ถูกนำไปใช้ประโยชน์ 7.89 ล้านตัน (ร้อยละ 32) ถูกกำจัดอย่างถูกต้อง 9.28 ล้านตัน (ร้อยละ 37) และถูกกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง 7.81 ล้านตัน (ร้อยละ 31) ซึ่งหากลดปริมาณขยะ CLC ที่จะต้องทิ้งก็จะส่งผลดีหลายด้านด้วยกัน เช่น ลดความต้องการใช้พื้นที่ฝังกลบ ลดการใช้พลังงานในการขนส่งของเสียไปยังพื้นที่ฝังกลบ ลดพลังงานที่ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพและกำจัดของเสีย เป็นต้น และหากสามารถลดปริมาณขยะให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการนำมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุดก่อนที่จะกำจัดทิ้ง จะเป็นการยืดอายุการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้นานที่สุด รวมทั้งลดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติมาใช้ และลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศ ซึ่งเป็นหลักการของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และ ระบบเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) โดยทั้งสองระบบนี้

รวมอยู่ในโมเดลเศรษฐกิจบีซีจี (BCG Economy Model) (Figure 1) ที่ประเทศไทยกำลังส่งเสริมสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนดำเนินการ ทั้งนี้เศรษฐกิจบีซีจีจะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยให้บรรลุตามยุทธศาสตร์เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ (Sustainable Development Goals--SDGs) (กรมควบคุมมลพิษ, 2563; กรมควบคุมมลพิษ, 2565; วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์ และ สมบัติ โพนนา, 2565)

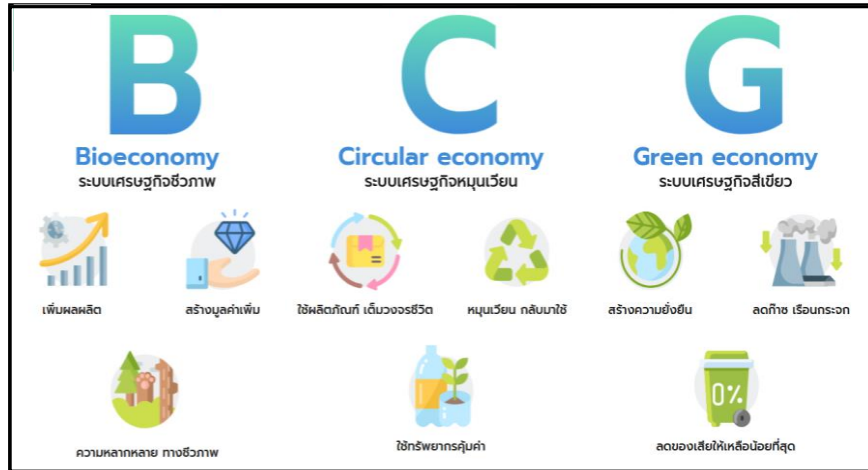


Figure 1 BCG economy model (ที่มา: <https://www.bcg.in.th/>)

จีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer) หรือ วัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่าง (Alkali Activated Materials--AAM) เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่แทนซีเมนต์ เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายต่างความเข้มข้นสูง ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และสารตั้งต้นที่มีองค์ประกอบของอะลูมินา (Alumina) และซิลิกา (Silica) เป็นหลัก ซึ่งสารตั้งต้นมีทั้งได้จากธรรมชาติและจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เช่น เถ้าลอยจากโรงงานไฟฟ้า ดินขาวเถ้า กากซีเมนต์ เถ้าแกลบจากการเผาข้าว เถ้าขาน้อย เถ้าปาล์มน้ำมัน (วราพร วงษ์เจริญสมบัติ และคณะ, 2563) โดยมีผู้ศึกษาถึงการพัฒนา AAM กันอย่างกว้างขวางในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา เพราะใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าปูนซีเมนต์ กระบวนการผลิตไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และส่งเสริมการใช้วัสดุรีไซเคิลและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบทุติยภูมิ จึงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (นิดา ชัยมุล และ กริสน์ ชัยมุล, 2014; Provis, 2018)

ด้วยปัญหาเศษ CLC ที่ต้องทิ้งเป็นปริมาณมาก อีกทั้งยังไม่พบการนำเศษ CLC มาใช้เป็นสารตั้งต้นผลิต AAM เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเศษ CLC ที่บดละเอียด ผสมกับสารกระตุ้น (Activating Solution) คือโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซิลิเกต พัฒนาเป็น AAM ที่จะใช้เป็นวัสดุทดแทน CLC ชนิด C16 นอกจากนี้จะลดปริมาณเศษ CLC แล้ว ยังลดการใช้ปูนซีเมนต์และทรายจากธรรมชาติ เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

วิธีการศึกษา (Methodology)

1. วัสดุและสารเคมี

1) เศษ CLC ที่ใช้เพื่อเป็นสารตั้งต้น นำจากโรงงานผู้ผลิตเพียงแห่งเดียว (Figure 2) โดยโรงงานนี้ผลิต CLC เฉพาะชนิด C12 เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อต้องการควบคุมคุณสมบัติของผง CLC ให้คงที่และเหมือนกันตลอดทุกส่วนผสม

2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3) สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3)

4) น้ำสะอาด

2. เตรียมผง CLC

นำเศษ CLC มาทุบด้วยค้อนให้มีขนาดเล็กลง และบดให้เป็นผงด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion Machine จากนั้น คัดแยกขนาดผง CLC ด้วยตะแกรงเบอร์ 60 เพื่อให้ได้ขนาด 0.250 มิลลิเมตร (Figure 3)



Figure 2 Broken CLC from manufacture



Figure 3 Crushed CLC (left); CLC powder size 0.25 (right)

3. ออกแบบส่วนผสม

1) สารกระตุ้น เป็นสารผสมระหว่างสารละลาย NaOH และ Na_2SiO_3 ที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลาย NaOH : Na_2SiO_3 เท่ากับ 1 : 2

2) อัตราส่วนผงคอนกรีตมวลเบา : สารกระตุ้น เท่ากับ 1 : 1.5

3) เปรียบเทียบผลของความเข้มข้น NaOH ที่มีต่อคุณสมบัติของ AAM โดยใช้ความเข้มข้นของ NaOH เท่ากับ 5 และ 7.5 โมลาร์

4. เตรียมตัวอย่างก่อน AAM

1) ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พักไว้ 1 ชั่วโมงจากนั้นนำสารละลายโซเดียมซิลิเกตมาผสมให้เข้ากัน และนำสารละลายเทลงใส่ในผง CLC ที่ได้ซึ่งตวงไว้

2) เทลงแบบลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ระหว่างเทให้กระทุ้งอย่างน้อย 15 ครั้ง

3) ทิ้งไว้ให้แข็งตัว 24 ชั่วโมง แล้วแกะแบบหล่อ (Figure 4) นำก้อนตัวอย่างปมในอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน



Figure 4 Cube-shape AAM at 24 hours after pouring into the mold.

5. ทดสอบความต้านแรงอัด

ทดสอบความต้านแรงอัด และหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ที่ระยะเวลาการบ่ม (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ผลการศึกษา (Results)

ในการศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มต่อสมบัติของ AAM ได้ควบคุมตัวแปรอื่นที่มีผลต่อคุณสมบัติของ AAM ให้คงที่ โดยตัวอย่างทั้งหมดถูกเตรียมจากเศษ CLC ที่ผ่านการบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 ผสมกับสารละลายต่าง NaOH ผสม Na_2SiO_3 ในอัตราการผลิตที่เหมือนกัน ผลของระยะเวลาการบ่มต่อความต้านแรงอัดของก้อน AAM แสดงใน Figure 5 ซึ่งพบว่าระยะบ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นทุกสูตรผสม โดยส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 5 โมลาร์ มีความต้านแรงอัด 57, 95 และ 115 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 7.5 โมลาร์ มีความต้านแรงอัด 45, 71 และ 99 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มความแข็งแรงสมบูรณ์ของโมเลกุลโดยขบวนการโพลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างซิลิกา (SiO_2) และ อะลูมินา (Al_2O_3) จึงทำให้ความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้น (Sajan, P. et al., 2021; ฆนากานต์ และคณะ, 2565) แต่หาก AAM บ่มที่อุณหภูมิสูง ($>60^\circ\text{C}$) จะไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาการบ่มนานเพื่อให้ได้กำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านแรงอัดของ CLC ชนิด C16 ตาม มอก.2601-2556 ที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่น้อยกว่า 51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่า ส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 5 โมลาร์ มีความต้านแรงอัดเทียบได้กับ CLC ชนิด C16 ตั้งแต่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน แต่ส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 7.5 โมลาร์ จะต้องใช้เวลาบ่มมากกว่า 7 วัน (แต่ไม่ถึง 14 วัน) จึงจะมีความต้านแรงอัด 51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เทียบเท่า CLC ชนิด C16

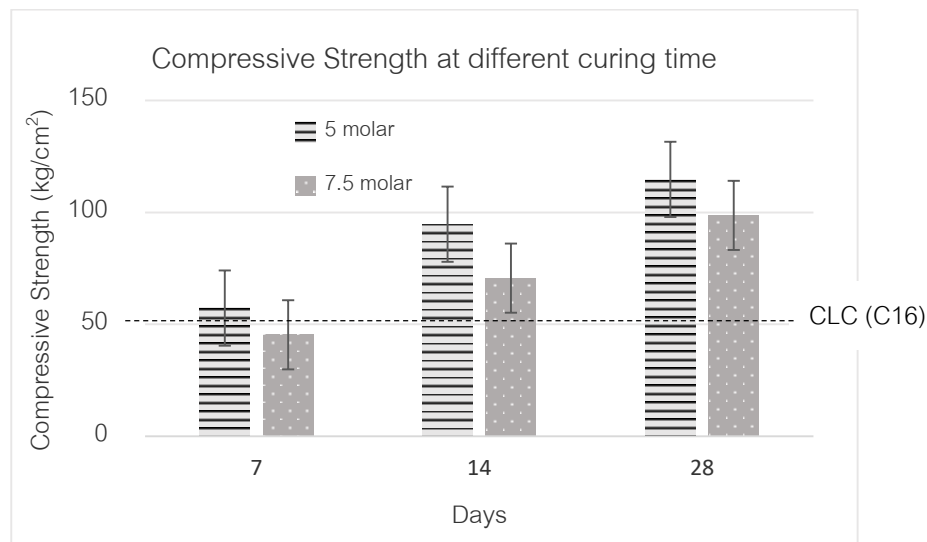


Figure 5 The compressive strength of AAM at 7, 14, and 28 curing days

เมื่อพิจารณาผลของการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะพบว่า ความเข้มข้นที่สูงเกินกว่า 5 โมลาร์ จะส่งผลให้ความต้านแรงอัดลดลง ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นที่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะทำให้ AAM มีความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของ NaOH สูงกว่าค่าที่เหมาะสม ความต้านแรงอัดจะลดลง ซึ่งสาเหตุอาจมาจาก

ไอออนของไฮดรอกไซด์ (OH) จำนวนมากจะตกตะกอนในเจลอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) ทันทีหลังจากเริ่มกระบวนการจีโอโพลิเมอไรเซชัน (Geo-polymerization) ซึ่งส่งผลให้ความต้านแรงอัดลดลง (Memon et al., 2013; Esparham and Moradikhou, 2021; Jan et al., 2022) ทั้งนี้ความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของวัสดุตั้งต้น อัตราส่วนของวัสดุตั้งต้นต่อสารกระตุ้น และอัตราส่วนของ NaOH ต่อ Na_2SiO_3 เป็นต้น

สำหรับ Figure 6 แสดงความหนาแน่นของก้อน AAM ที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ซึ่งพบว่าระยะบ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นลดลงทุกสูตรผสม โดยส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 5 โมลาร์ มีความหนาแน่น 1662, 1628, และ 1612 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 7.5 โมลาร์ มีความหนาแน่น 1673, 1653, และ 1624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7, 14, และ 28 วันตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของ CLC ชนิด C16 ตาม มอก.2601-2556 ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีค่า 1,401-1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า ทุกส่วนผสมมีความหนาแน่นเกิน 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ไม่ถึง 1,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังคงเป็นวัสดุมวลเบาที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป (2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และความหนาแน่นจะลดลงตามระยะเวลาการบ่ม ซึ่งจากงานวิจัยของ Görhan et al. (2022) และ El-Hassan et al. (2021) ก็พบว่า ค่าความหนาแน่น ของจีโอโพลิเมอร์ลดลงเมื่อเพิ่มเวลาการบ่มก้อน ตัวอย่าง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสูญเสียความชื้นในการบ่ม

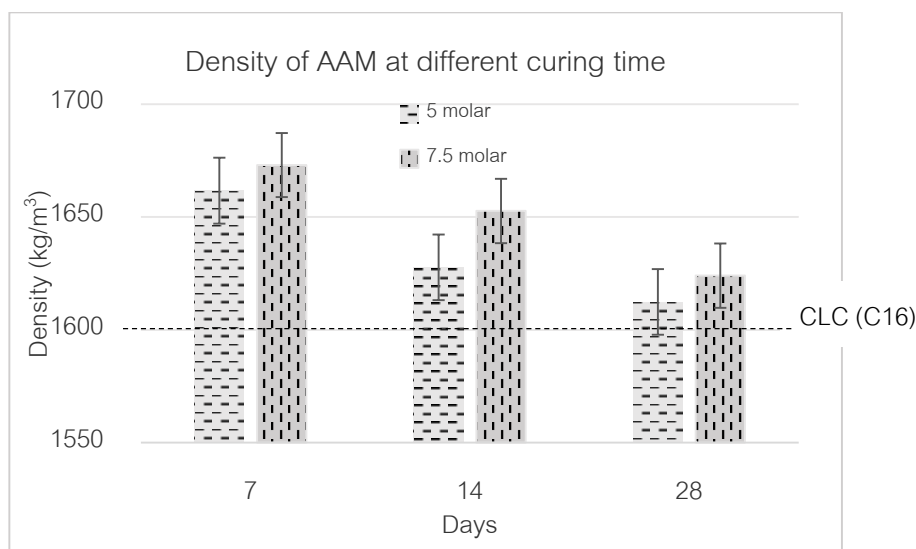


Figure 6 The density of AAM at 7, 14, and 28 curing days

สรุป (Conclusion)

เศษ CLC ที่บดละเอียด ผสมกับสารกระตุ้น (Activating Solution) คือโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซิลิเกต เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุเบาที่ทนแทน CLC ชนิด C16 โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 7.5 โมลาร์ และมีอัตราส่วนของ เศษ CLC : สารกระตุ้น เป็น 1: 1.5 ผลการวิจัยพบว่า ก้อนตัวอย่างมีค่าความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม 7, 14, และ 28 วัน ซึ่งได้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด (ที่ 28 วัน) เท่ากับ 115 และ 99 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 5 และ 7.5 โมลาร์ ตามลำดับ และก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,600-1,650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทุกระยะเวลาการบ่ม ทั้ง 2 สูตร

ผสม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของ CLC ชนิด C16 ที่มีค่าความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 1,401 ถึง 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แล้วพบว่า ก้อนตัวอย่าง AAM ที่ใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 5.0 และ 7.5 โมลาร์ มีความต้านแรงอัดและความหนาแน่นที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน สูงกว่า CLC (C16) จึงมีแนวโน้มที่จะนำ AAM ไปประยุกต์ใช้แทน CLC (C16) ได้

เอกสารอ้างอิง (References)

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). การศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสำหรับประเทศไทย. สืบค้น เมษายน 2565, จาก <https://www.pcd.go.th/publication/4771>

กรมควบคุมมลพิษ. (2564). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564. สืบค้น มกราคม 2566, จาก <https://www.pcd.go.th/publication/26832>

กรมควบคุมมลพิษ. (2565). แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศไทย ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565 – 2570). สืบค้น มีนาคม 2566, จาก <https://www.pcd.go.th/publication/28745>

คำภี จิตชัยภูมิ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2563). คอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสกำลังสูงทำจากเพอร์ไลต์เผาขยาย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 (MAT09-1 MAT09-7). วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563 จ. ชลบุรี.

ชนากานต์ มาศโอสถ, พานิช วุฒิพิฤกษ์, อธิพิพล มีผล, ศิริพัฒน์ มณีแก้ว และ กิตติศักดิ์ กาญจนันท์. (2565). การเพิ่มประสิทธิภาพของจีโอโพลีเมอร์จากดินขาว-เถ้าแกลบและการประยุกต์ใช้ที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 (GET15-1 - GET15-5). วันที่ 24-26 สิงหาคม 2565 จ. เชียงราย

นิดา ชัยมูล และ กริสน์ ชัยมูล. (2557). วัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่าง/จีโอโพลีเมอร์ และการประยุกต์ใช้กับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. วิศวกรรมสาร มช, 41(2), 263-270.

วราพร วงษ์เจริญสมบัติ, วีระวรรณ เฉลิมสกุลกิจ และ นุตา ศุภคต. (2563). จีโอโพลีเมอร์...ทางเลือกใหม่สู่อุตสาหกรรมก่อสร้าง. วารสารสิ่งแวดล้อม, 24 (1).

วิธรา เลิศไพฑูรย์พันธ์ และ สมบัติ โพชนา. (2565). บล็อกประสานมวลเบาเป็นมวลรวมสำหรับการผลิตบล็อกใหม่: หนทางสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 (ENV03-1 - ENV03-6). วันที่ 24-26 สิงหาคม 2565 จ. เชียงราย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). มอก. 2601-2556 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, ฉบับที่ 4562, หน้า 1-9.

Bhosale, A., Zade, N. P., Sarkar, P., & Robin Davis. (2020). Mechanical and physical properties of cellular lightweight concrete block masonry. *Construction and Building Materials*, 248, 118621.

El-Hassan, H., Shehab, E., & Al-Sallamin, A. (2021). Effect of curing regime on the performance and microstructure characteristics of alkali-activated slag-fly ash blended concrete. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 10(5), 289-317.

Esparham, A. R., & Moradikhou, A. B. (2021). Factors influencing compressive strength of fly ash-based geopolymers concrete. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(3), 259-262.

European Environmental Agency. (2020). *Climate change mitigation*. Retrieved May 2022, from <https://www.eea.europa.eu/publications/cutting-greenhouse-gas-emissions-through>

Görhan, G., Aslaner, R., & Şinik, O., (2016). The effect of curing on the properties of metakaolin and fly ash-based geopolymer paste. *Composites Part B: Engineering*, 97, 329-335.

Jan, A., Pu, Z., Khan, K. A., Ahmad, I., Shaukat, A. J., Hao, Z., & Khan, I. (2022). A review on the effect of silica to alumina ratio, alkaline solution to binder ratio, calcium oxide + ferric oxide, molar concentration of sodium hydroxide and sodium silicate to sodium hydroxide ratio on the compressive strength of geopolymer concrete. *Silicon*, 14, 3147–3162.

Memon, F. A., Nuruddin, M. F., Khan, S. T., Shafiq, N., & Ayub, T. (2013). Effect of sodium hydroxide concentration on fresh properties and compressive strength of self-compacting geopolymer concrete. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(1), 44-56.

Provis, J. L. (2018). Alkali-activated materials, *Cement and Concrete Research*. 114, 40-48.

Rentier, E. S. & Cammeraat, L. H. (2022). The environmental impacts of river sand mining. *Science of the Total Environment*, 838, 155877.

Sajan, P., Jiang, T. Lau, C-K., Tan, G., & Ng, K. (2021). Combined effect of curing temperature, curing period and alkaline concentration on the mechanical properties of fly ash-based geopolymer. *Cleaner Materials*, 1, 100002.

Sheheryar, M., Rehan, R., & Nehdi, M. L. (2021). Estimating CO₂ emission savings from ultrahigh performance concrete: A System Dynamics Approach. *Materials*, 14(4), 995.

Turner, L. K. & Collins, F. G. (2013). Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials*, 43, 125-130.

UN Environment Programme. (2022). *Global sand observatory initiative*. Retrieved May 2022, from <https://unepgrid.ch/en/activity/sand>