การนำเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำ

Applied the Residues of Agricultural Industry to Product Clay Brick at Low-temperature

วัชระ ศรีสะกูล[1] กิตติ เชาวนะ[2] นุอนันท์ คุระแก้ว[3] และ ธนันท์ ชุบอุปการ[4,*]

[1,3] สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.ตรัง
[2] สาขาวิชาการศึกษาทั่วไป สำนักวิชาพหุภาษาและการศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช
[4] ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา
**Corresponding author; E-mail address: tanan.c@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

การผลิตอิฐมอญแบบดั้งเดิมต้องใช้ความร้อนสูง และในพื้นที่มีเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษในรูปของเถ้าลอยซึ่งส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำด้วยเทคโนโลยีการกระตุ้นด้วยด่าง โดยใช้วัสดุตั้งต้นได้แก่ เถ้าปาล์มและเถ้าไม้ยางพาราซึ่งเป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรและดินเหนียวซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติ ออกแบบส่วนผสมวัสดุสามชนิดเพื่อให้ได้องค์ประกอบอลูมินาและซิลิกาที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี จากนั้นผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และทั้งสองชนิดผสมกันความเข้มข้น 15 โมลาร์ ตัวอย่างขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตรถูกบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐที่บ่มในอากาศ 7 14 และ 28 วัน สุดท้ายนำมาเปรียบเทียบกับอิฐที่เผาด้วยวิธีดั้งเดิม ผลการศึกษาพบว่าอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำสามารถปรับปรุงคุณสมบัติให้ได้กำลังรับแรงอัดสูงสุด 262.38 ksc ซึ่งสูงกว่าการเผาด้วยวิธีดั้งเดิม การผสมเถ้ามากขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นลดลง อิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำไม่หดตัวและไม่ละลายน้ำ บ่งบอกว่ามีโครงสร้างแข็งแรงเทียบเท่าอิฐเผาที่อุณหภูมิสูง สามารถเป็นทางเลือกในการพัฒนาอิฐเพื่อใช้ในงานสถาปัตยกรรมได้อย่างน่าสนใจและประหยัดพลังงานซึ่งเป็นต้นทุนที่สำคัญและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: อิฐดินเหนียว, อิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำ, เถ้าปาล์ม, เถ้าไม้ยางพารา, เทคโนโลยีการกระตุ้นด้วยด่าง

Abstract

The production of traditional bricks requires a lot of heat. In areas where agricultural waste is a source of pollution in the form of fly ash, it negatively affects the environment. This research is to study the production of clay bricks at low-temperatures using alkali-activation technology. The starting materials include palm ash and para-wood ash, which are leftovers from the agricultural industry, and clay, a natural material. Three material combinations were designed to obtain the optimal alumina and silica composition for the chemical reaction. It was then mixed with a solution of sodium hydroxide, potassium hydroxide, and the two mixtures at 15 molar concentrations. The 5x5x5 cm^3 sample was incubated at 80°C for 2 days. The compressive strength of bricks is studied at cured in the air for 7, 14, and 28 days. Finally, it is compared with bricks burnt traditionally. The results showed that the clay brick at low-temperature improved their properties to achieve a maximum compressive strength of 262.38 ksc, which was higher than clay bricks traditionally burned. More ash blending results in lower compressive strength and density. The clay brick at low temperature does not shrink and does not melt. Indicates that the structure is as strong as bricks burned at high temperatures. It can be an alternative to developing bricks for interesting architectural applications and saving energy, which is a high cost and environmentally friendly.

Keywords: clay brick, clay brick at low-temperature, palm ash, para-wood ash, alkali-activation technology

1. ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 321 ล้านไร่ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรจำนวนมาก การจัดการวัสดุพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรยังคงเป็นประเด็นที่ควรให้ความสำคัญและได้รับการจัดการอย่างจริงจัง เพื่อลดการนำวัสดุพลอยได้มากองทิ้งในที่โล่งและส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันได้พยายามนำวัสดุพลอยได้จากการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างด้วยการนำเถ้าลอย (fly ash) ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 80-85 ของเถ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมดมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

บางส่วน เช่น เถ้าชานอ้อย [1-2] เถ้าแกลบ [3] เถ้าปาล์ม [4] และเถ้าไม้ยางพารา [5-6]

พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ 5 อันดับแรกของประเทศไทย คือ ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ในปี 2564 ประเทศไทยมีผลผลิตปาล์มน้ำมัน 16.8 ล้านตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี [7] ส่งผลให้มีเถ้าปาล์มที่ต้องนำไปทิ้งมีมากกว่าปละ 100,000 ตันตอปี เถ้าปาล์มเป็นผลพลอยได้จากการเผากะลา เส้นใย และทลายของปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการต่มผลปาล์มดิบเพื่อสกัดน้ำมันปาล์ม เถ้าปาล์มมีลักษณะเป็นผงฝุ่น น้ำหนักเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย ซึ่งเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีแนวโน้มเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอีกชนิด คือ เถ้าไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้า เกิดจากการนำไม้ยางพาราที่ไม่สามารถให้ผลผลิตได้มาแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์และนำเศษไม้ที่เหลือไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 22 เมกะวัตต์ต้องใช้เศษไม้ยางพาราจำนวน 15 ตัน ส่งผลให้มีเถ้าเกิดขึ้นหลังกระบวนการเผาไหม้จำนวนมาก [8] และก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด

อิฐมอญ (brick) หรือเรียกอีกอย่างว่าอิฐแดง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ อิฐก่อสร้างสามัญ [9] และอิฐกลวงก่อแผงไม่รับน้ำหนัก [10] เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดหนึ่งผลิตมาจากดินเหนียว ทรายหรือแกลบ และน้ำผสมกันนำไปใส่ในแบบพิมพ์อัดเป็นก้อนทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อให้อิฐกลายสภาพเป็นเซรามิคที่มีความแข็งแรงและคงรูปไว้ กระบวนการนี้ต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก เช่น ใช้แกลบหรือไม้ฟืนประมาณสองรถสิบล้อหรือประมาณ 30 ลูกบาตรเมตรในการเผาอิฐหนึ่งครั้ง และใช้เวลาในการเผาประมาณ 7 ถึง 15 วัน ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมากมาย มีแนวคิดการนำเถ้าจากอุตสาหกรรมเกษตรกลับมาใช้เป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญและประยุกต์ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีในการผลิตอิฐมอญ [11-12] เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนการผลิตอิฐของชุมชนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านกำจัดของเสียและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยจากอุตสาหกรรมเกษตรมาผลิตอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำโดยใช้เทคโนโลยีการกระตุ้นด้วยด่าง ใช้วัสดุตั้งต้น 3 ชนิด คือ ดินเหนียว เถ้าปาล์ม และเถ้าไม้ยางพารา กระตุ้นกระบวนการทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และทั้งสองชนิดผสมกัน เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำ

2. วัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่าง

อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างในปัจจุบันจำเป็นต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจที่ยั่งยืน โดยต้องตอบโจทย์ทั้ง 4 ประการ คือ ลดการสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติ ลดการใช้พลังงาน ลดต้นทุนการผลิต และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [13] วัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่าง (Alkali-activated binders, AAB) ที่ผลิตจากของเสียจากอุตสาหกรรมทั้งหมดเป็นตัวเลือกที่ดีในการบรรลุเป้าหมายด้านความยั่งยืนในระดับโลก [14] และยังช่วยลดต้นทุนของวัสดุใหม่ด้วย [15-16] หลักการผลิตวัสดุชนิดนี้ คือ วัสดุตั้งต้นจะถูกกระตุ้นด้วยสารละลายด่าง เช่น โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งสารละลายสองชนิดหลังเป็นที่นิยม ทำให้วัสดุที่ได้มีคุณสมบัติเป็นวัสดุเชื่อมประสานซึ่งมีศักยภาพพอที่จะพัฒนาให่เปนวัสดุทางเลือกลดการใช่หรือทดแทนปูนซีเมนตปอรตแลนด (ordinary Portland cement, OPC) [17]

เทคโนโลยีการกระตุ้นด่วยดาง (alkali-activation technology) เป็นกระบวนการเกิดปฏิกิริยารวมของการแยกตัวและการควบแน่น (Destruction-condensation) [18] ซึ่งประกอบด่วยการแยกตัวของวัสดุตั้งตนเปนหนวยโครงสรางที่มีเสถียรภาพต่ำ การปฏิสัมพันธกันกับโครงสรางที่แข็งตัว (Coagulation structure) และการเกิดของโครงสร่างที่ควบแนน ซึ่งเป็นกระบวนชะละลาย (Dissolution) ของซิลิกา กระบวนการเคลื่อนยาย (Transportation) และกระบวนการควบแนน (Polycondensation) [19] กระบวนการเหล่านี้จะเกิดขึ้นพรอม ๆ กัน จนไม่สามารถแยกการวิเคราะหในแตละกระบวนการได้ [20] ตามรายงานของ Palomo et al. [11] การกระตุ้นด้วยดางสามารถแบงได่เปน 2 กรณี คือ 1. ใชวัสดุตั้งต่นที่มีซิลิกอนและแคลเซียมสูง (Si + Ca) กับสารละลายดาง ได้ผลผลิตเป็น CSH หรืออาจจะเรียกอีกชื่อว่า วัสดุจากการกระตุ้นด้วยด่าง (alkali-activated materials, AAM) 2. ใชวัสดุตั้งตนที่มีซิลิกอนและอลูมิเนียมสูง (Si + Al) กับสารละลายด่างจะได้โพลิเมอร์เป็นผลผลิตและมีกำลังสูง Davidovits [21] เรียกวัสดุชนิดนี้ว่า จีโอพอลิเมอร์ (geopolymers)

ความแตกต่างระหว่างวัสดุจากการกระตุ้นด้วยด่างและจีโอโพลิเมอร์นั้นยังมีความคลุมเครือ Gökçe et al. [13] ได้อธิบายความแตกต่างระหว่างจีโอโพลิเมอร์ และวัสดุจากการกระตุ้นด้วยด่าง (AAM) ไว้ว่า โดยทั่วไปแล้วหากสารตั้งต้นที่มีอะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) เป็นส่วนประกอบหลักจะถือเป็นจีโอโพลิเมอร์ ในขณะที่วัสดุจากการกระตุ้นด้วยด่างจะมีซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยที่ไอออนของแคลเซียมจะเป็นนิวเคลียสผลึกอีกตัวนอกเหนือจากไอออนของซิลิกอนและอลูมิเนียมในกระบวนการจีโอโพลิเมอร์ไรเซชัน [22] เกิดได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งมาจากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกตกับน้ำ แต่ในจีโอโพลิเมอร์จะไม่มีหมู่ OH ความแตกต่างระหว่างจีโอโพลิเมอร์และวัสดุจากการกระตุ้นด้วยด่างสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ตามรูปที่ 1

วัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่างมีโครงสร้าง 3 มิติแบบอสัณฐาน โดยสามารถใช้วัสดุตั้งต้นที่เป็นของเหลือจำพวกเถ้าลอยจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเกษตรซึ่งมีองค์ประกอบของอลูมินาและซิลิกาเป็นหลัก สารตั้งต้นดังกล่าว ได้แก่ ดินเหนียวและเถ้าลอย Palomo et al. [20] กล่าวว่าเถ้าลอยเป็นวัสดุที่เผาแล้วอยู่ในสภาพอสัณฐานจะทำให้มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่ผ่านการเผา เถ้าลอยจากวัสดุการเกษตร เช่น เถ้าปาล์มและเถ้าไม้ยางพารา จะประกอบไปด้วยสารประกอบหลายชนิดแต่ที่พบในปริมาณสูงคือ SiO_2 และ CaO เมื่อนำไปผสมกับดินเหนียวที่มีองค์ประกอบของ Al_2O_3 และ SiO_2 จะเป็นสารตั้งต้นใน

การเกิดปฏิกิริยาได้ดี [23] ทำให้ได้วัสดุที่มีความสามารถรับแรงอัดได้ดี สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง การซ่อมแซมถนน งานโครงสร้าง หรือเป็นอิฐทนความร้อน และวัสดุตกแต่งสวน เป็นต้น

รูปที่ 1 ความแตกต่างระหว่างจีโอโพลิเมอร์และวัสดุจากการกระตุ้นด้วยด่าง [13]

เถ้าลอยจากการเกษตรในประเทศไทยส่วนมากจะมีปริมาณซิลิกาสูง และสำหรับเถ้าไม้ยางพาราจะมีส่วนประกอบของแคลเซียมที่สูงด้วยซึ่งสารตั้งต้นมีปริมาณแคลเซียมสูงจะส่งผลให้ทำให้วัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่างที่ได้มีความแข็งแรงต่ำที่อุณหภูมิห้อง [24] แต่การใช้ความร้อนประมาณ 40 ถึง 90 องศาเซลเซียสจะสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเร่งการแข็งตัวได้ [25] และให้กำลังที่สูงเพียงพอ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อวัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่างมีหลายปัจจัย เช่น องค์ประกอบของวัสดุตั้งต้น อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มตัวอย่าง และมีปัจจัยที่สำคัญคือสารละลายด่างที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

3. การเตรียมวัสดุและการทดสอบ

3.1 วัสดุตั้งต้นในงานวิจัย

วัสดุตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตตัวอย่างอิฐอบด้วย

การ

ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกันสามารถผสมกันและใช้เป็นวัสดุตั้งต้นได้ และขนาดอนุภาคเถ้าที่มีขนาดเล็กจะช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาให้ดีขึ้น [26]

รูปที่ 2 การกระจายตัวของอนุภาควัสดุตั้งต้น

3.3 สารละลายด่าง

สารละลายด่างเป็นอีกปัจจัยเนื่องจากเป็นส่วนสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ช่วยชะล้าง Si และ Al ออกจากสารประกอบอะลูมินาและซิลิกา ก่อให้เกิดโครงสร้างแบบเจลของจีโอโพลิเมอร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นวัสดุเชื่อมประสานคล้ายกับ C-S-H ของปูนซีเมนต์ แต่สารละลายด่างนั้นมีจำนวนมากมายหลายชนิด ที่นิยมใช้โดยทั่วไป คือ สารละลายด่างอัลคาไลน์เอิร์ธ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นด่างจากธาตุหมู่ 1A มีความว่องไว้ในการเกิดปฏิกิริยาสูง

3.3.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

NaOH เป็นสารเคมีของแข็งรูปเม็ด (bead) หรือแผ่นเกล็ด (flake) มีมวลโมเลกุล 40 กรัมต่อโมล ใช้กระบวนการอิเล็กโตไลซิสของเกลือในการผลิต เมื่อนำมาละลายน้ำมีสมบัติเป็นด่างแก่และมีฤทธิ์กัดกร่อน สามารถแตกตัวให้อิออนโซเดียม (Na+) และอิออนไฮดรอกไซด์ (OH-) ได้หมด โซเดียมไฮดรอกไซด์มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.12 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลว 318 องศาเซลเซียส [27]

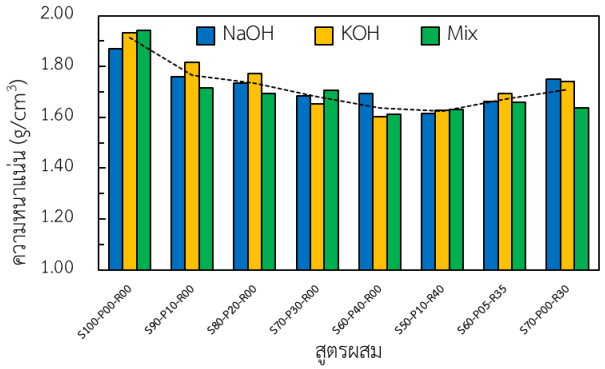
3.3.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ทดสอบกำลังรับแรงอัด หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เหลือจากการทดสอบรับกำลังรับแรงอัดมาทดสอบการละลายน้ำ

4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ความหนาแน่นและการหดตัว

ตัวอย่างอิฐดินเหนียวที่ผ่านการอบแล้วจะถูกวิเคราะห์ขนาดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัดขนาดของอิฐอบด้วยอุณหภูมิต่ำทุกตัวอย่าง ความกว้าง ความยาว ความสูง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งก่อนอบ หลังอบ และหลังจากการบ่มที่ 7 14 และ 28 วันด้วย จึงสามารถสรุปได้ว่าอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำไม่มีการหดตัว เนื่องจากตัวอย่างอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำไม่มีการหดตัวการทดสอบความหนาแน่นจะแสดงผลโดยใช้ความหนาแน่นเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วนผสมกับการใช้สารละลายด่างทั้งสามรูปแบบ

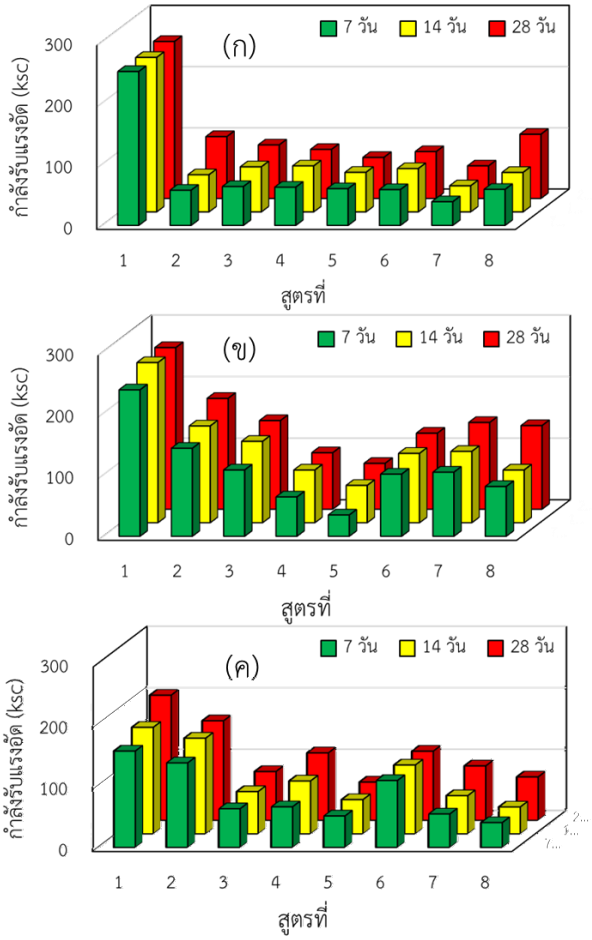


รูปที่ 3 ความหนาแน่นเฉลี่ยของอิฐเทียบกับปริมาณเถ้าที่ผสมในอิฐ

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนาแน่นของอิฐอบด้วยอุณหภูมิต่ำขึ้นอยู่กับวัสดุตั้งต้น โดยส่วนผสมที่เป็นดินเหนียวทั้งหมดจะมีความหนาแน่นสูงที่สุด มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.92 g/cm^3 และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้ามากขึ้นจะมีแนวโน้มให้ความหนาแน่นของอิฐลดลง อัตราส่วนผสมสูตรที่ให้ความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ S50-P10-R40 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.62 g/cm^3 สำหรับการวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้เถ้าเป็นส่วนผสมดังนั้นสูตรผสมเถ้าที่ให้ความหนาแน่นมากที่สุดคือ S90-P10-R00 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.76 g/cm^3

4.2 กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแสดงดังรูปที่ 4 โดยอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำสูตรที่ 1 (S100-P00-R00) จากสารละลายด่างกระตุ้นปฏิกิริยาทั้ง 3 แบบให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด โดยเมื่อใช้สารละลาย NaOH จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด 256.32 ksc ที่การบ่ม 28 วัน เมื่อใช้สารละลาย KOH จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด 262.38 ksc ที่การบ่ม 28 วัน และเมื่อใช้สารละลาย MIX จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด 203.25 ksc ที่การบ่ม 28 วัน เนื่องจากมีดินเหนียวเป็นวัสดุตั้งต้นเพียงชนิดเดียวและดินเหนียวมี Al_2O_3 และ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีความเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอิฐที่ผลิตจากวิธีดั้งเดิม โดยการนำดินเหนียวล้วนขึ้นรูปด้วยแบบขนาดเดียวกันและเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจนอิฐสุก นำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดได้เท่ากับ 190.04 ksc ซึ่งน้อยกว่าอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำสูตรที่ 1 ที่ได้รับจากสารละลายด่างกระตุ้นปฏิกิริยาทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของอิฐแต่ละสูตรผสมที่เวลาต่างกัน
(ก) ผสมด้วย NaOH, (ข) ผสมด้วย KOH, (ค) ผสมด้วย MIX

4.2.1 อิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่ากำลังอัดสูงสุด

ระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นทุกตัวอย่างการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5 พบว่าการพัฒนากำลังอัดจะเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน และการพัฒนากำลังอัดมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงการบ่ม 7 ถึง 14 วัน หลังจากนั้นการพัฒนากำลังอัดมีน้อยมาก ซึ่งการพัฒนากำลังที่เพิ่มสูงขึ้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน ในทุกอัตราส่วนการผสม

4.2.2 อิทธิพลของเถ้าที่มีผลต่อค่ากำลังอัดสูงสุด

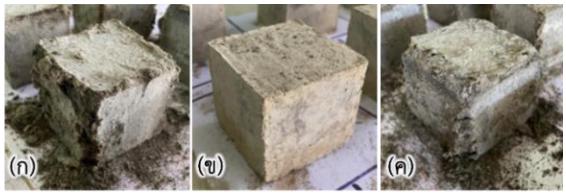
การทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำที่ผสมด้วยเถ้าปาล์มและเถ้าไม้ยางพารา พบว่า กำลังรับแรงอัดจะลดลงตาม

ปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้นในทุก ๆ รูปแบบของการใช้สารละลายด่าง ดังรูปที่ 4 สังเกตได้ว่าอัตราส่วนผสมสูตรที่ 1 ซึ่งไม่มีเถ้าผสมอยู่จะให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และอัตราส่วนผสมสูตรที่ 5 (มีเถ้าผสมอยู่ 40%) จะให้กำลังรับแรงอัดที่น้อยที่สุดและสังเกตุเห็นได้ในเกือบจะทุกรูปแบบของการใช้สารละลายด่าง แต่เป็นที่น่าสังเกตคืออัตราส่วนผสมสูตรที่ 6 จะมีเถ้าผสมอยู่ 50% และเป็นอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุดแต่กลับมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมสูตรที่ 5 ซึ่งมีเถ้าผสมอยู่เพียง 40% ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะส่วนผสมสูตรที่ 6 มีการผสมเถ้าไม้ยางพาราถึง 40% แต่ไม่มีส่วนผสมของเถ้ายางพาราในอัตราส่วนผสมสูตรที่ 5 ในเถ้าไม้ยางพารามีส่วนประกอบของ CaO ประมาณ 27.68% ทำวัสดุตั้งต้นสำหรับทำอิฐในอัตราส่วนผสมสูตรที่ 6

4.2.3 อิทธิพลของสารละลายด่างที่มีผลต่อค่ากำลังอัดสูงสุด

ผลการทดสอบทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่กระตุ้นปฏิกิริยาเคมีด้วย KOH จะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าตัวอย่างที่กระตุ้นปฏิกิริยาเคมีด้วยสารละลายชนิดอื่น จะเห็นได้ชัดเจนในส่วนผสมสูตรที่ 2 ซึ่งมีเถ้าปาล์มน้ำมันผสมอยู่ 10% และส่วนผสมสูตรที่ 6 ซึ่งมีเถ้าปาล์มน้ำมันผสมอยู่ 10% และมีเถ้าไม้ยางพาราผสมอยู่ถึง 40% นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารละลาย MIX (ผสมกันระหว่าง NaOH และ KOH) เป็นสารกระตุ้นจะได้วัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าวัสดุที่ใช้สารละลาย NaOH หรือ KOH เพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bakharev [28]

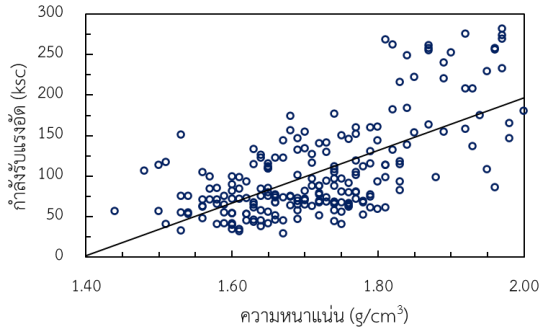
เมื่อพิจารณาลักษณะของตัวอย่างจากการกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีด้วยสารละลายทั้ง 3 แบบดังรูปที่ 6 พบว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยสารละลาย NaOH จะมีผิวไม่เรียบและเนื้อบางส่วนแตกเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งอาจจะเป็นผลทำให้กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่กระตุ้นปฏิกิริยาเคมีด้วย KOH มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยสารละลาย NaOH และสารละลาย MIX



รูปที่ 6 ตัวอย่างผสมด้วยสารเคมี 3 แบบ
(ก) ผสมด้วย NaOH, (ข) ผสมด้วย KOH, (ค) ผสมด้วย MIX

4.2.4 อิทธิพลของความหนาแน่นที่มีผลต่อค่ากำลังอัดสูงสุด

จากการทดสอบทั้งหมดทำให้ได้ข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบโดยจะใช้ผลการทดสอบจากตัวอย่างที่มี ซึ่งมีอัตราส่วนผสมทุกสูตร กระตุ้นปฏิกิริยาเคมีด้วยสารละลายทุกชนิด และการบ่มที่เวลาต่าง ๆ กันตั้งแต่ 7 14 และ 28 วัน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของแต่ละตัวอย่างได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด

เนื่องจากการทดลองอาจทำให้ค่าการกระจัดกระจายของข้อมูลบางส่วน แต่เมื่อพิจารณาเส้นแนวโน้มทำให้สามารถอธิบายได้ว่าตัวอย่างการทดสอบให้ค่าความหนาแน่นสูงยอมให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นตามไปด้วย

4.3 ผลการทดสอบการละลายน้ำ

การผลิตอิฐมอญแบบดั้งเดิมจะต้องใช้ความร้อนสูงเพื่อให้ดินเหนียวกลายสภาพเป็นเซรามิกและจะไม่สามารถละลายน้ำได้ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติด้านการละลายน้ำของอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำ จึงได้นำตัวอย่างจากอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำแช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน ดังรูปที่ 8 เทียบกับตัวอย่างดินเหนียวปล่าวที่ขึ้นรูปกับน้ำสะอาดนำมาละลายน้ำ ผลสอบปรากฏว่าเมื่อเทน้ำออกจากวัสดุเชื่อมประสานดังกล่าวยังคงรูปเดิม แสดงว่าก่อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นไม่มีการละลายน้ำ หมายความว่าทั้งผลของสารละลายด่างทำปฏิกิริยากับดินเหนียวและเถ้าตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ทั้ง 8 สูตรทำให้ตัวอย่างเปลี่ยนโครงสร้างภายในเป็นผลึกอสัณฐานเหมือนกับอิฐมอญที่มาจากวิธีการเผาแบบทั่วไป จึงทำให้วัสดุไม่มีการละลายน้ำ ส่วนดินเหนียวขึ้นรูปด้วยน้ำพบว่าเกิดการละลายน้ำ ซึ่งจะเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตกแต่งทางสถาปัตยกรรม เช่น กระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องปูพื้น เนื่องจากลักษณะผิวสัมผัสที่เรียบเนียนและมีสีผิวที่ถือว่าสวยงามในทางสถาปัตยกรรม



รูปที่ 8 การทดสอบการละลายน้ำ

5. บทสรุป

จากการศึกษาการผลิตอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำด้วยเทคโนโลยีการกระตุ้นด้วยด่าง โดยใช้วัสดุตั้งต้น 3 ชนิด คือ ดินเหนียว เถ้าปาล์ม และเถ้าไม้ยางพาราซึ่งเป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรและดินเหนียวซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติ กระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และทั้งสองชนิดผสมกันจากนั้นใช้ความร้อน 80 องศาเซลเซียสในการเร่งปฏิกิริยาและบ่มที่ 7 14 และ 28 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ดินเหนียว มีส่วนผสมหลักคือ Al_2O_3 และ SiO_2 เถ้าปาล์มและเถ้าไม้ยางพารา มีส่วนผสมหลักคือ CaO และ SiO_2 สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำได้

2. การศึกษาคุณสมบัติของอิฐด้วยวิธีการทางเคมี พบว่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณดินเหนียวที่เพิ่มขึ้น โดยอิฐดินเหนียวไม่ผสมเถ้ามีการพัฒนากำลังอัดมากที่สุด

3. ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่าอิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำ มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม กระบวนการทางเคมีมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะเวลา 28 วัน

4. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เมื่อใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาในการผลิตอิฐอบด้วยอุณหภูมิต่ำผสมด้วยเถ้าแล้วจะให้กำลังอัดสูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ผสมกันมีแนวโน้มที่จะให้กำลังอัดต่ำที่สุด

5. เมื่อนำมาเทียบกับการผลิตอิฐแบบดั้งเดิมด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูง พบว่าอิฐด้วยวิธีการทางเคมีไม่มีการละลายน้ำ นอกจากนี้พบว่า อิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำมีโครงสร้างเป็นผลึกอสัณฐานและมีคุณสมบัติที่เหมาะสำหรับใช้แทนอิฐมอญดั้งเดิม

6. อิฐดินเหนียวอบด้วยอุณหภูมิต่ำที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าจะให้กำลังรับแรงอัดที่สูงด้วยเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

. *KKU Engineering Journal,* ,

Glukhovsky, V , Rostovskaja, G and Rumyna, G High strength slag alkaline cements. *Proceedings of the seventh international congress on the chemistry of cement*, pp

19 Van Jaarsveld, J , Van Deventer, J and Lorenzen, L 1998 Factors affecting the immobilization of metals in geopolymerized flyash. *Metallurgical and materials transactions B,* 29(1), pp 283 291

20 Palomo, A , Grutzeck, M and Blanco, M 1999 Alkali activated fly ashes A cement for the future. *Cement and concrete research,* 29(8), pp 1323 1329

21 Davidovits, J and Cordi, S 1979 Synthesis of new high temperature geo polymers for reinforced plastics composites. *Spe Pactec,* 79, pp 151 154

Van Deventer, J , Provis, J , Duxson, P and Lukey, G . Reaction mechanisms in the geopolymeric conversion of inorganic waste to useful products. *Journal of hazardous materials,* , pp

24 Pangdaeng, S , hoo ngernkham, T , Sata, V and Chindaprasirt, P 2014 Influence of curing conditions on properties of high calcium fly ash geopolymer containing Portland cement as additive. *Materials & Design,* 53, pp 269 274

25 Chindaprasirt, P , Chareerat, T and Sirivivatnanon, V 2007 Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. *Cement and concrete composites,* 29(3), pp 224 229

28 Bakharev, T 2005 Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solutions. *Cement and concrete research,* 35(6), pp 1233 1246