

กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานจากดินลูกรังผสมซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินและเถ้าชีวมวล

Compressive Strength of Coal and Biomass Ashes Mixed with Laterite-Cement in Interlocking Compressed Bricks

ฐิติพร พันธุ์ท่าช้าง*¹ วีระชาติ อินตา¹ ธีรวัฒน์ คำใจ¹ และเสวตสุนทร ชินะกุล¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Thitibhorn Phantachang*¹, Weerachat Inta¹, Teerawat Kumjai¹, Savetsuntron Chinaku¹

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai

128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: Thitibhorn@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444

Received: 21 February 2020, Revised: 10 May 2020, Accepted: 14 May 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อนำเถ้าถ่านหินและเถ้าชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตไฟฟ้า มาแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อการผลิตอิฐบล็อกประสานจากดินลูกรัง การศึกษาใช้เถ้าจากถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และเถ้าชีวมวล จากโรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดลำพูน ตัวอย่างอิฐบล็อกประสานมีสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยหรือเถ้าหนักเท่ากับ 0.7:0.3 0.6:0.4 0.5:0.5 0.4:0.6 และ 0.3:0.7 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 3 7 14 และ 28 วัน มีการศึกษากำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก และการดูดกลืนน้ำของตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานลดลงตามสัดส่วนของเถ้าที่เพิ่มขึ้น สำหรับกำลังรับแรงอัดตัวอย่างอิฐบล็อกประสานที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้า 0.7:0.3 มีค่ากำลังสูงสุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก มอก. 57-2533 ในขณะที่สัดส่วนอื่น ๆ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533 โดยอิฐบล็อกประสานสามารถพัฒนา กำลังได้ตามมาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักด้วยสัดส่วนที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบประโยชน์ของการแทนที่ด้วยเถ้าทำให้อิฐบล็อกประสานมีหน่วยน้ำหนักที่ลดลง เป็นประโยชน์ในการลดน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร การนำวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมมาใช้และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ อิฐบล็อกประสาน ถ่านหิน ชีวมวล เถ้า กำลังรับแรงอัด

Abstract

The objective of this research is to use waste coal and biomass ash from power plants to develop laterite-cement interlocking compressed bricks. The coal and bio mass ashes were collected from Mae-Moh coal fired power plant in Lampang and fuel power plant in Lampun. Portland cement was partially replaced with ash at ratios cement:ash 0.7:0.3 0.6:0.4 0.5:0.5 0.4:0.6 and 0.3:0.7 and curing time of 3 7 14 and 28 days. Compressive strength, total unit weight and percentage of water absorption were investigated. Testing results showed that the unit weight of each series of interlocking bricks decreased with the increase of the cement replacement percentage of fly ash. Compressive strength of fly ash interlocking brick at 0.7:0.3 reached the Industrial standard for bearing load concrete block TIS 57- 2533 and that all the mixtures reached the Industrial standard for no bearing load concrete block TIS 58-2533. The study showed that the compressive strength and low unit weight of interlocking bricks was adequate with partial replacement of Portland cement with ashes. The use of Ash to reduce dead weight of structures is more environmentally friendly and also saves costs.

Keywords: Interlocking brick, Coal, Biomass, Ash, Compressive Strength

1. บทนำ

จากการพัฒนาของภาคธุรกิจ ภาคอุตสาหกรรม และเศรษฐกิจของประเทศไทย ส่งผลให้มีความต้องการใช้พลังงานสูงขึ้นประเทศไทยที่มีความต้องการไฟฟ้า 40,000 MW-day แหล่งพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 60 จากก๊าซธรรมชาติร้อยละ 15 จากถ่านหิน และร้อยละที่เหลือจากพลังงานอื่น ๆ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานหมุนเวียน เช่น แสงแดดและลม และรับซื้อจากแหล่งอื่น ๆ ภายในและต่างประเทศ ในขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโรงไฟฟ้า ถ่านหิน หรือ ชีวมวลที่ใช้พลังงานความร้อนเป็นเชื้อเพลิง ในขบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่หม้อไอน้ำ จะทำให้เกิดเถ้าลอยจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เถ้าที่เหลือมีสภาพเป็นเถ้าลอย (Fly ash) ปะปนไปกับก๊าซในรูปของเขม่าและควัน และเถ้าบางส่วนจะตกไปอยู่ที่ก้นเตาเรียกว่า เถ้าหนัก หรือ เถ้าก้นเตา (Bottom ash) สำหรับการแยกเถ้าลอยจากก๊าซส่วนใหญ่จะใช้เครื่องกำจัดมลพิษทางอากาศ เช่น เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator) หรือ เครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Fabric filter) เป็นต้น และสำหรับเถ้าหนักใช้วิธีแยกออก ทำการลดอุณหภูมิด้วยน้ำก่อนส่งลำเลียงไปจุดกองเก็บ สำหรับกรณีของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ใช้ถ่านหินลิกไนต์วันละ 40,000 ton ทำให้เกิดเถ้าจากการผลิตกว่าวันละ 10,000 ton โดยเกิดเป็นเถ้าลอยร้อยละ 80 และเถ้าหนัก (Bottom ash) ร้อยละ 20[1] ในขณะที่โรงไฟฟ้าพลังชีวมวล ที่ใช้เชื้อเพลิงจากวัสดุทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เปลือกข้าว เปลือกไม้ ขบวนการให้ความร้อนทำให้เกิดเถ้าชีวมวล (Biomass ash) เช่นกัน โดยเถ้าที่ได้จากการผลิตไฟฟ้ามีคุณสมบัติทางเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เกิดมลภาวะและสารพิษตกค้างที่ส่งผลด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อมต่อประชาชนในพื้นที่ การกำจัดเถ้าเป็นสิ่งสำคัญ โดยมีการมุ่งเน้นเอาไปใช้ประโยชน์ส่วนที่เหลือใช้วิธีการฝังกลบ ผู้ผลิตได้มีการส่งเสริมให้นำเถ้าเหลือทิ้งมาใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์เพื่องานก่อสร้าง หรือ การใช้เป็นวัสดุประกอบอื่น ๆ [2-4] สำหรับเถ้าลอยถูกนำมาใช้ทดแทนวัสดุประสานจากคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน[5] ที่ทำให้เกิดการเชื่อมประสานในวัสดุคล้ายปูนซีเมนต์ แต่มีผลในการใช้งานที่ดีกว่าในด้านเพิ่มความสามารถในการทำงาน (Work ability) จากรูปร่างของเถ้าทำให้มีการไหลตัวดี คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยสามารถเพิ่มความคงทนของคอนกรีตต่อการกัดกร่อนของเกลือซัลเฟต[6-7] มีการนำเถ้าลอยไปใช้ในงานถนน งานก่อสร้างเขื่อน ใช้แทนที่วัสดุอื่น ๆ รวมถึงประยุกต์ใช้ทดแทนซีเมนต์ในวัสดุก่อสร้าง สำหรับเถ้าหนักใช้ในการแทนที่วัสดุเฉื่อยคือทรายสำหรับงานทาง ทั้งนี้ปริมาณการใช้งานเถ้าหนักยังมีปริมาณไม่มากนัก จึงมีการส่งเสริมการใช้งานเพื่อลดภาระการทิ้ง[5]

อิฐบล็อกประสานเป็นหนึ่งในวัสดุก่อสร้างที่ประยุกต์ใช้เถ้าทดแทนซีเมนต์ที่เป็นตัวเชื่อมประสานกับดินลูกรัง หินฝุ่นหรือทราย และวัสดุอื่น ๆ มาผสมกับน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม และอัดขึ้นรูป ทำการบ่มก่อนนำมาใช้งาน มีการออกแบบรูปร่างให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ (รูปที่ 1) สำหรับขั้นตอนในการผลิตอิฐบล็อกประสานมีขั้นตอนการผลิตด้วยเทคโนโลยีพื้นฐาน โดยมีรูปแบบหลายชนิด เช่น เครื่องขึ้นรูปด้วยมือโยก เครื่องจักรขนาดเล็ก ไปถึงเครื่องจักรขนาดใหญ่ จึงเป็นที่นิยมสำหรับผู้ผลิตรายย่อย โดยแนวคิดในการประยุกต์ใช้เถ้าสำหรับผลิตอิฐบล็อกประสานในงานวิจัยในปัจจุบันมีใช้งานในสองรูปแบบคือ 1) เพื่อการแทนที่ปูนซีเมนต์ 2) เพื่อแทนที่ในวัสดุเฉื่อย[8]

อนุสรณ์ เตชบุรัมย์ และกริสน์ ชัยมูล[9] ศึกษากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0 5 10 15 20 และ 25 ด้วยสัดส่วนซีเมนต์ต่อลูกรังเท่ากับ 1:7 ที่อายุ 14 28 และ 90 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับอิฐบล็อกประสาน ค่ากำลังมีการเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม และเถ้าลอยจากเถ้าถ่านหินและเถ้าชีวมวล ให้กำลังของอิฐบล็อกประสานที่ดีที่สุด

สำเร็จ รักซ้อน และคณะ[5] เสนอผลการวิจัยการใช้เถ้าหนักในงานคอนกรีต และมอร์ตาร์พบว่า เถ้าหนักต้องมีการลดขนาดแล้วผ่านตะแกรง 325 จึงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี ขนาดอนุภาคที่ละเอียดสามารถแทรกตัวเข้าไปในโพรงมอร์ตาร์ ส่งผลให้มอร์ตาร์มีความทึบแน่น เพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว ดังนั้นขนาดอนุภาคเถ้าหนักจึงส่งผลถึงค่ากำลังรับแรงอัดโดยตรง

ในการเปรียบเทียบเถ้าชีวมวลจากวัสดุธรรมชาติเป็นที่สนใจของนักวิชาการในด้านการศึกษาคู่ประกอบทางเคมีของเถ้าชีวมวลจากวัสดุธรรมชาติที่ผ่านการเผาไหม้จากการศึกษาคู่ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน และเถ้าถ่านหิน พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2 Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ที่สำคัญในปฏิกิริยาปอซโซลาน โดยกล่าวได้ว่า



รูปที่ 1 การประยุกต์ใช้อิฐบล็อกประสานในรูปแบบต่าง ๆ เถ้ากลับมาทำเป็นวัสดุจำพวกจีโอโพลิเมอร์ หรือการปรับปรุงคุณสมบัติ SiO_2 และ Al_2O_3 จะส่งผลให้กำลังวัสดุ



สูงขึ้น ถ้าแกลบลยังช่วยปรับปรุงคุณภาพให้คอนกรีตมีกำลัง และเพิ่มความทนทาน[10-12]

ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดจากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย แก้วลอย แก้วหนัก จากถ่านหิน สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้ และส่งเสริมการนำวัสดุเหลือใช้จากโรงไฟฟ้าไปทำให้เกิดประโยชน์ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านลดปริมาณปูนซีเมนต์ บทความนี้ทำการศึกษาลักษณะคุณสมบัติของประสานด้วยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยแก้วถ่านหิน และแก้วซีวมวล เปรียบเทียบกับมาตรฐานของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก และรับน้ำหนัก การพัฒนากำลังที่เพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เพื่อพัฒนาออกแบบอิฐบล็อกประสานที่เหมาะสมสำหรับผู้สนใจ

2. วิธีการวิจัย

ทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสาน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 57-2533 บล็อกคอนกรีตชนิดรับน้ำหนัก[12] และ มอก. 58-2533 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก[13] ทดสอบกำลังรับแรงอัด และค่าการดูดซึมน้ำ วัสดุที่ใช้มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ขนาดและแหล่งที่มาของวัสดุ

2.1.1 ดินลูกรังจากบ่อดิน อำเภอบึง จังหวัดเชียงราย มีลักษณะเป็นดินทรายปนดินเหนียวสีแดงเข้ม มีขนาดเม็ดดินเฉลี่ย D_{50} เท่ากับ 0.40 mm รูปถ่ายด้วย (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่มีขนาดกำลังขยาย 1000 เท่า แสดงในรูปที่ 2 ก)

2.1.2 แก้วลอย จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง ขนาด D_{50} เท่ากับ 0.075 mm ผ่านขบวนการเผาที่อุณหภูมิการเผาอยู่ในช่วง 1200 °C โดยอนุภาคของแก้วลอยถ่านหินมีขนาดเล็กสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแก้วชนิดอื่น รูปที่ 2 ข) ดังแสดงรูปขยายขนาด 1000 เท่า

2.1.3 แก้วลอยซีวมวลเป็นแก้วที่ผ่านขั้นตอนการเผาจากวัสดุทางการเกษตร เช่น ข้าวเปลือก ฟางข้าวโพด และเศษไม้จากโรงไฟฟ้าซีวมวล อำเภอมือง จังหวัดลำพูน แก้วลอยได้ผ่านขบวนการเผาที่อุณหภูมิการเผาอยู่ในช่วง 800-1200 °C ขนาดอนุภาคเฉลี่ยค่า D_{50} เท่ากับ 0.25 mm รูป SEM ขยาย 1000 เท่า แสดงในรูปที่ 2 ค)

2.1.4 แก้วหนักจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง ลักษณะอนุภาคขนาดใหญ่ มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ผ่านขบวนการเผาที่อุณหภูมิการเผาอยู่ในช่วง 1200 °C โดยแสดงในรูปขยายขนาด 500 เท่าในรูปที่ 2 ง) การวิจัยนี้ได้ใช้แก้วหนักจากโรงไฟฟ้าโดยตรงไม่มีการคัดแยกขนาด

2.2 ขั้นตอนการทำงานทดสอบ

2.2.1 ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ เช่น ค่าพิกัดอัตราเบอร์ก (Atterberg limit tests) การวิเคราะห์ด้วยตะแกรง (Grain size analysis) สำหรับดินลูกรัง ทราย แก้วถ่านหิน และแก้วซีวมวล เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายขนาดของวัสดุและจำแนกชนิดเม็ดดิน การควบคุมหน่วยน้ำหนักตัวอย่างได้ทำการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard proctor test) ตามมาตรฐาน ASTM 698 เพื่อนำไปควบคุมคุณภาพในการบดอัดก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานให้มีความหนาแน่นที่คงที่ด้วยปริมาณน้ำที่เหมาะสม จากผลการทดสอบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density, $\gamma_{dry\ max}$) และค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum moisture content, OMC)

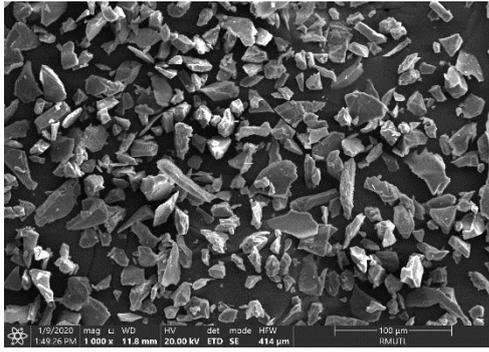
2.2.2 ปรับปรุงส่วนคละของดินลูกรังและทราย ที่รวมเป็นวัสดุเฉื่อยที่อัตราส่วน 5:1 สำหรับวัสดุประสานศึกษาค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ และแก้วลอย หรือ แก้วหนัก เพื่อกำหนดสัดส่วนการผสมตัวอย่าง

2.2.3 อัดขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกประสาน ด้วยการเตรียมส่วนผสมทั้งหมดให้อยู่ในสภาพแห้ง ซึ่งน้ำหนักวัสดุส่วนผสมแห้งด้วยเครื่องชั่ง ผสมส่วนผสมแห้งเข้าด้วยกัน แล้วคนวัสดุให้เข้ากันไม่น้อยกว่า 15 min เติมน้ำในปริมาณน้ำที่เหมาะสม แล้วกดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานหลังแกะแบบเพื่อบ่มตามระยะเวลา สำหรับขั้นตอนการผสมแสดงในรูปที่ 3 ก)- จ)

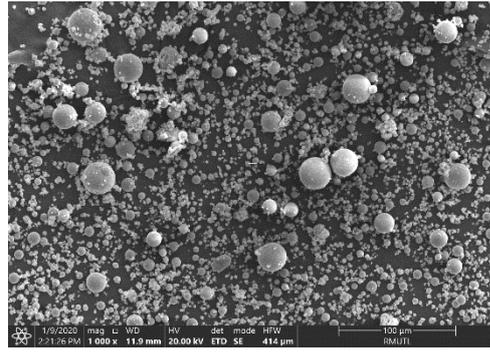
2.2.4 การบ่มอิฐบล็อกประสานหลังการอัด ทำการผึ่งในร่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงบ่มตัวอย่างโดยการพรมน้ำให้ทั่วแล้วหุ้มด้วยพลาสติกเก็บในที่ร่ม จนถึงเวลาทดสอบที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน มีการถอดช่องของอิฐบล็อกประสานด้วยปูนเกร้าท์ (วัสดุเชื่อมประสาน) ด้วยปูนผสม (ปูนก่อฉาบ) ด้วยสัดส่วนปูน 1 ส่วนต่อทรายหยาบ 2 ส่วน โดยน้ำหนัก ผสมน้ำที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.75 เพื่อให้สภาพตัวอย่างทดสอบเหมือนกับสภาพการใช้งานจริง โดยปูนเกร้าท์จะมีค่าปูนกำลังที่สูงกว่าอิฐบล็อกประสาน การเตรียมตัวอย่างทดสอบ วัดขนาดและชั่งน้ำหนัก แล้วทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compression test) การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ดังแสดงการเตรียมตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3

2.4 การออกแบบส่วนผสมและตัวอย่างควบคุม

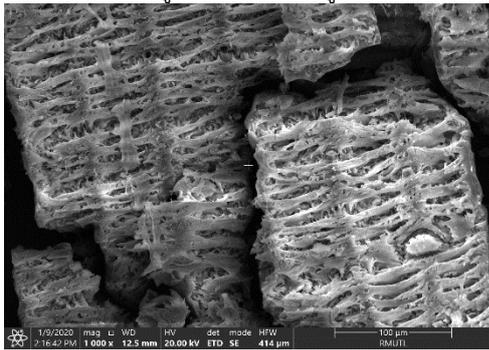
ในการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างมาตรฐานผสมปูนซีเมนต์ และสัดส่วนที่ผสมแก้วลอยหรือแก้วหนัก ด้วยตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่มาปรับเปลี่ยนสัดส่วนด้วยแก้วที่ทดแทนสัดส่วนของปูนซีเมนต์ และอายุการบ่มจำนวนตัวอย่างทดสอบรวมทั้งสิ้น 204 ตัวอย่างสัดส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อแก้วลอยถ่านหิน (FA) แก้วหนักถ่านหิน



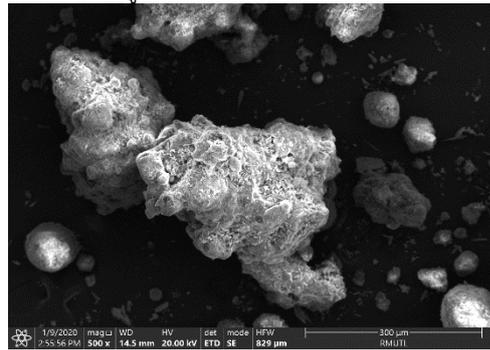
ก) รูปถ่าย SEM ดินลูกรัง



ข) รูปถ่าย SEM เถ้าลอยถ่านหิน



ค) รูปถ่าย SEM เถ้าลอยชีวมวล



ง) รูปถ่าย SEM เถ้าหนักถ่านหิน

รูปที่ 2 รูปถ่าย Scanning Electron Microscope, SEM ของวัสดุที่ใช้ทำวิจัย

(BT) หรือเถ้าลอยชีวมวล (BA) คือ 0.3:0.7 0.4:0.6 0.5:0.5 0.6:0.4 และ 0.7:0.3 ตามลำดับ รวม 5 อัตราส่วนผสม กำหนดให้อัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรังต่อทรายมีสัดส่วนคงที่เท่ากับ 5:1

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของวัสดุที่ใช้ประกอบในการศึกษา ประกอบด้วย ดินลูกรัง ทราย และดินผสมระหว่างดินผสมลูกรังและทราย(Laterite with sand) ในสัดส่วน 5:1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงในรูปที่ 4 ก) และสรุปในตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงสำหรับดินลูกรังและทราย มีค่า C_c และ C_u เท่ากับ 0.76 9.33 และ 0.62 2.68 ผลการจำแนกดินลูกรังอยู่ในดินทรายปนดินเหนียวที่มีการกระจายขนาดคละที่ไม่ดี (Poorly-graded sand with clay, SP-SC) และทรายสามารถจำแนกได้เป็นทรายที่มีขนาดคละไม่ดี (Poorly graded sand, SP) เมื่อผสมดินลูกรังและทรายในอัตราส่วนที่กำหนดทำให้มีการผสมกันระหว่างมวลรวมเม็ดหยาบและละเอียด สามารถจำแนกเป็นดินทรายปนดินตะกอนทรายที่มีขนาดคละดี (Well-graded sand with silt, SW-SM)

สำหรับการบดอัดตัวอย่างให้มีปริมาณน้ำที่เหมาะสม ได้มีการเตรียมตัวอย่างควบคุม สำหรับอิฐบล็อกประสานด้วย

การทดสอบการบดอัดด้วยวิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน ตามข้อกำหนดโดยใช้วัสดุผสมที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์:ดินลูกรัง:ทราย ที่สัดส่วนน้ำหนัก 1:5:1 ทดสอบโดยการเพิ่มปริมาณความชื้นในดินแห้ง ความชื้นจะทำหน้าที่เคลือบเม็ดลดช่องว่าง หล่อลื่น แทนที่ช่องว่างทำให้มวลดินมีหน่วยน้ำหนักสูงขึ้นจนถึงค่าความหนาแน่นสูงสุด แล้วจึงมีค่าลดลงเนื่องจากน้ำที่เข้าไปแทนที่ช่องว่าง ผลทดสอบมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ $1,510 \text{ kg/m}^3$ ที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับร้อยละ 16 (รูปที่ 4 ข))

3.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดอิฐบล็อกประสานควบคุม

ตัวอย่างควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานโดยที่ไม่มีเถ้าชีวมวลมาเป็นวัสดุผสม ตัวอย่างอิฐบล็อกประสานในตัวอย่างควบคุมนี้ ใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์:ดินลูกรัง:ทราย เท่ากับ 1:5:1 รหัสตัวอย่าง C01NA00-XX มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่อายุการบ่มเป็นระยะเวลา 3 7 14 และ 28 วัน เท่ากับ 19.53 24.13 46.97 และ 72.85 ksc ตามลำดับ และมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 170 kg/m^3 ผลการทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักแห้งและกำลังรับแรงอัดแสดงไว้ในตารางที่ 2



ก) ชั่งน้ำหนักส่วนผสมแห้ง



ข) ผสมน้ำในวัสดุแห้งที่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม



ค) อัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสาน



ง) แกะอิฐบล็อกประสานและผึ่งให้แห้ง 24 ชั่วโมง



จ) บ่มตัวอย่างในถุงพลาสติกตามอายุการทดสอบ

รูปที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอิฐบล็อกประสาน

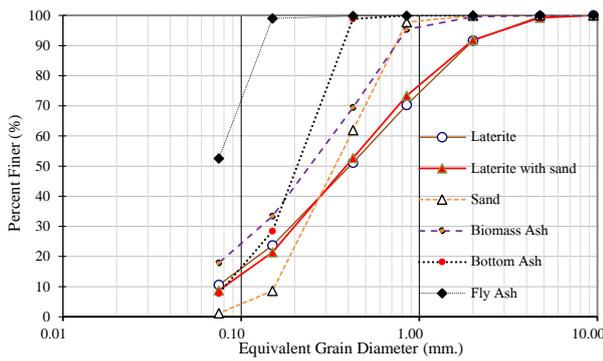
3.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดอิฐบล็อกประสานตามอายุการบ่ม

ตารางที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานจากถ้ำลอยและถ้ำหนัก ถ้ำหิน ในการทดสอบได้ศึกษาผลการพัฒนา กำลังตามอายุการบ่มของอิฐบล็อกประสานจากการทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้า โดยพิจารณาจากอายุการบ่มตัวอย่างที่ระยะเวลา 3 7 14 และ 28 วัน สรุปผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์การพัฒนา กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน ตามสัดส่วนการผสมและอายุการบ่ม จะเห็นได้ว่าการพัฒนา กำลังของอิฐบล็อกประสานผสมปูนซีเมนต์ของตัวอย่างควบคุม ค่ากำลังตัวอย่างควบคุมที่อายุ 28 วัน ค่ากำลัง เท่ากับ 72.85 ksc และตัวอย่างที่ทดแทนซีเมนต์ด้วยเถ้าที่สัดส่วน 0.7:0.3 0.6:0.4 0.5:0.5 0.4:0.6 และ 0.3:0.7 ค่ากำลัง 71.82 60.39 49.29 44.47 และ 41.23 ksc หรือค่ากำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 1 17 32 39 และ 43 ตามลำดับ

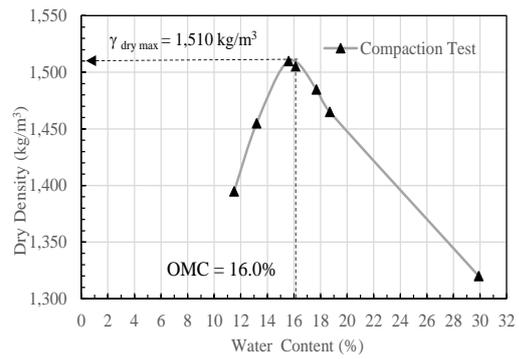
สำหรับถ้ำลอยถ้ำหิน และสำหรับถ้ำลอยชีวมวลการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังเท่ากับ 69.90 59.70 48.70 44.30 และ 40.60 ksc ค่ากำลังลดลงที่ร้อยละ 4 18 33 39 และ 44 ในขณะที่ค่ากำลังรับแรงอัดของถ้ำหนักถ้ำหินมีค่ากำลังเท่ากับ 44.04 40.81 38.74 38.74 และ 35.34 ksc มีค่ากำลังที่ลดลงร้อยละ 40 44 47 48 และ 51

ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากำลังที่ทุกอายุการบ่มสามารถสรุปได้ว่า ค่ากำลังรับแรงอัดแปรผกผันตามการทดแทนเถ้าที่เพิ่มขึ้น และที่อายุการบ่มที่ 28 วันค่ากำลังรับแรงอัดของถ้ำลอยถ้ำหินและถ้ำชีวมวล มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และสูงกว่าถ้ำหนักถ้ำหิน และค่ากำลังของอัตราส่วนผสมด้วยถ้ำลอยถ้ำหินที่ C07FA03 มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์สำหรับมาตรฐานบล็อกชนิดรับน้ำหนักตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ไม่น้อยกว่า 70 ksc ที่อายุการบ่ม 28 วัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ากำลังของถ้ำลอยจากถ้ำหินและถ้ำชีวมวลในรูปที่ 5 ก) และ ข) แนวโน้มการพัฒนา กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนา กำลังอย่างรวดเร็วเกิดขึ้นในช่วงอายุการบ่มที่ 14 วัน จากนั้นการพัฒนา กำลังอัดมีแนวโน้มไม่เพิ่มขึ้นมากที่อายุการบ่ม 28 วัน การพัฒนา กำลังรับแรงอัดของสัดส่วนการผสมสำหรับถ้ำลอยจากถ้ำหิน และชีวมวลที่สัดส่วน C07FA03 และ C07BA03 คือ ปูนซีเมนต์:เถ้า เท่ากับ 0.7:0.3 มีการพัฒนา กำลังที่สอดคล้องกับตัวอย่างควบคุม ในขณะที่การพัฒนา กำลังของถ้ำหนักถ้ำหินในรูปที่ 5 ค) พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมีค่ากำลังลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับส่วนผสมที่มาจากถ้ำลอยทั้งสองชนิดสามารถอธิบายได้จากขนาดอนุภาค และการกระจายขนาดของเถ้าดังแสดงในรูปที่ 2 รูปถ่าย SEM และ รูปที่ 4 ก) พบว่า



ก) ผลการทดสอบการวิเคราะห์ด้วยตะแกรง



ข) ผลการทดสอบการบดอัด

รูปที่ 4 ผลการทดสอบวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน

Tests	Laterite	Sand	Laterite with sand
Sieve analysis			
- Coefficient of curvature, C_c	0.76	0.62	1.00
- Coefficient of uniformity, C_u	9.33	2.68	6.25
- Percent passing # 4	99.65	100	99.2
- Percent passing # 200	10.54	1.18	8.75
Atterberg's limits Test			
- Liquid limit, LL (%)	47	NP	9.70
- Plastic limit, PL (%)	17	NP	1.52
- Plastic index, PI (%)	30	-	8.18
Soil classification, USCS	SP-SC	SP	SW-SM

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบตัวอย่างควบคุม

Curing time (Day)	Dry unit weight kg/m^3	Comp. strength ksc
C01NA00-03	1,615.7	19.53
C01NA00-07	1,625.9	24.13
C01NA00-14	1,630.2	46.97
C01NA00-28	1,631.0	72.85

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

Sample ID (Curing time)	Compressive strength, ksc		
	FA (Coal) ksc	BT (Coal) ksc	BA (Biomass) ksc
C07XX03-03	10.73	7.18	18.83
C07XX03-07	22.62	15.86	22.07
C07XX03-14	45.56	32.86	44.69
C07XX03-28	71.82	44.04	69.00
C06XX04-03	9.20	6.42	17.84
C06XX04-07	20.17	13.70	21.20
C06XX04-14	44.83	29.36	44.29
C06XX04-28	60.39	40.81	59.70
C05XX05-03	7.93	6.42	17.07
C05XX05-07	17.96	13.70	20.24
C05XX05-14	42.08	29.36	41.35
C05XX05-28	49.29	38.74	48.70
C04XX06-03	7.40	6.20	16.11
C04XX06-07	15.78	11.64	19.04
C04XX06-14	38.27	25.64	35.46
C04XX06-28	44.47	37.72	44.30
C03XX07-03	6.74	5.65	15.22
C03XX07-07	14.13	10.34	17.74
C03XX07-14	32.84	22.18	31.86
C03XX07-28	41.23	35.34	40.60

การกระจายขนาดของอนุภาคเถ้าลอยถ่านหิน เถ้าลอยชีวมวล เถ้าหนักถ่านหิน เรียงตามขนาดอนุภาคจากเล็กไปใหญ่ โดยขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า ขนาดอนุภาคที่ละเอียดสามารถแทรกตัวเข้าไปในโพรง เพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะ ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีกว่าเถ้าที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าส่งผลให้

ค่ากำลังของเถ้าลอยทั้งสองชนิดที่ค่ากำลังที่สูงกว่าเถ้าหนักถ่านหินอย่างเห็นได้ชัด

3.4 ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัด และค่าหน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานผสมเถ้า

ในรูปที่ 6 ก) และ ข) แสดงผลการทดสอบหน่วย



น้ำหนักเทียบกับหน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานควบคุม (C01NA00) ที่อายุ 3 วัน และ 14 วันตามลำดับ กรณีผสมเถ้าลอย (ถ่านหิน) มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ $1,616 \text{ kg/m}^3$ จากรูปแสดงการพัฒนากำลังเปรียบเทียบและค่าหน่วยน้ำหนัก โดยเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของเถ้าลอยในอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย (ถ่านหิน) ที่ 0.7:0.3 0.6:0.4 0.5:0.5 0.4:0.6 และ 0.3:0.7 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อสัดส่วนของเถ้าลอยมีค่ามากขึ้นค่าหน่วยน้ำหนักแห่งลดลง เนื่องจากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 ส่งผลทำให้หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานผสมเถ้าลอยแนวโน้มที่ลดลง ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานโดยใช้อิฐบล็อกประสานผสมเถ้าลอยไปใช้เป็นส่วนประกอบในงานผนัง จะช่วยลดน้ำหนักถาวรที่กระจายสู่โครงสร้างได้

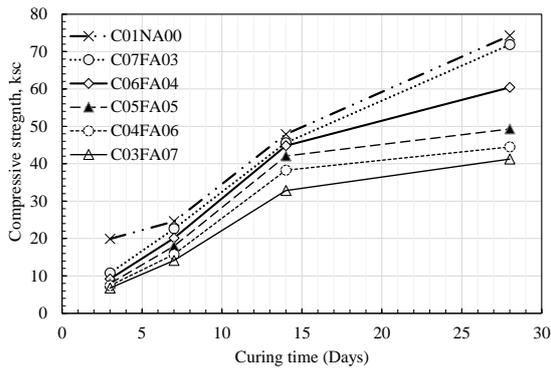
3.5 การทดสอบการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างจากเถ้าลอย เถ้าหนักจากถ่านหิน และเถ้าลอยชีวมวล

การทดสอบการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างอิฐบล็อกประสานโดยใช้เถ้าลอยและเถ้าหนักจากถ่านหิน เพื่อทดแทนซีเมนต์ โดยทำการทดสอบจากตัวอย่างที่อายุ 28 วัน มีสัดส่วนผสมระหว่างซีเมนต์และ เถ้าลอยถ่านหิน (FA) หรือเถ้าหนักถ่านหิน (BT) ที่สัดส่วนน้ำหนักเท่ากับ 0.7:0.3 0.6:0.4 0.5:0.5 0.4:0.6 และ 0.3:0.7 โดยแสดงไว้ในหมายเลขตัวอย่าง จำนวนทดสอบ 3 ตัวอย่าง ต่อหนึ่งอัตราส่วนผสม มีจำนวนรวม 30 ตัวอย่าง ในรูปที่ 7 ก) และ รูปที่ 7 ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างผสมเถ้าลอย และเถ้าหนักถ่านหิน ร่วมกับผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำจากตัวอย่างควบคุม อายุ 28 มีค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับ 170 kg/m^3 และผลการทดสอบอิฐบล็อกประสานผสมเถ้าจากถ่านหินทุกตัวอย่างมีค่าการดูดกลืนน้ำ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 272 kg/m^3 ผลการทดสอบตัวอย่างมีร้อยละความแตกต่างของเถ้าแต่ละชนิด พบว่าค่าการดูดกลืนน้ำแปรผันตรงกับการเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเถ้า สำหรับตัวอย่างผสมเถ้าลอยมีค่าการดูดกลืนน้ำแตกต่างจากผลทดสอบของตัวอย่างควบคุมที่ร้อยละ 25.9-37.6 โดยสำหรับตัวอย่างที่ผสมเถ้าหนักมีการดูดกลืนที่สูงกว่าเล็กน้อย โดยมีค่าร้อยละแตกต่างจากการดูดกลืนน้ำที่เทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 28.2 - 38.2 สำหรับเถ้าลอยชีวมวลมีค่าการดูดกลืนต่างจากตัวอย่างควบคุมที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 37.1-27.6 ดังแสดงในรูปที่ 7 ค) ในรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนน้ำ และหน่วยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างทดสอบจากเถ้าลอย

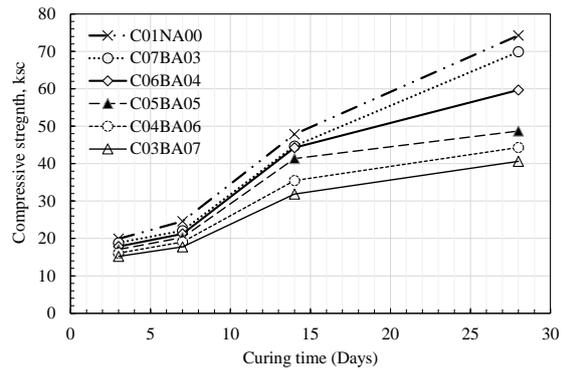
และเถ้าหนักถ่านหิน กับสัดส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยทั้ง 5 อัตราส่วนผสม ค่าการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างแปรผันตรงกับสัดส่วนของเถ้าที่เพิ่มขึ้น โดยค่าหน่วยน้ำหนักแห่งของตัวอย่างมีค่าประมาณ $1,605-1,686 \text{ kg/m}^3$ ตัวอย่างผสมเถ้าลอยถ่านหินมีหน่วยน้ำหนักแห่งที่อายุ 28 วันมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 0.3:0.7 มีค่าหน่วยน้ำหนักที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 5 จากตัวอย่างควบคุม สำหรับตัวอย่างผสมเถ้าหนักมีค่าความหนาแน่นแห่งเท่ากับ $1,626 - 1,599 \text{ kg/m}^3$ สัดส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าหนัก เท่ากับ 0.3:0.7 ถึง 0.7:0.3 แสดงผลของหน่วยน้ำหนักแห่งไปที่ทิศทางเดียวกัน โดยมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีสัดส่วนของเถ้าหนักผสมเพิ่มขึ้น สันนิษฐานได้ว่าจากขนาดอนุภาคของเถ้าหนักที่ใหญ่กว่าการดูดกลืนน้ำไปสะสมที่พื้นทำให้ยังมีค่าหน่วยน้ำหนักที่สูง และค่าหน่วยน้ำหนักที่แตกต่างยังไม่มีความสำคัญที่แตกต่างระหว่างแต่ละสัดส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการทดสอบโดยมีอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ และเถ้า:ดินลูกรัง:ทราย เท่ากับ 1:5:1 และอัตราส่วนระหว่าง ปูนซีเมนต์และเถ้าเท่ากับ 0.7:0.3 0.6:0.4 0.5:0.5 0.4:0.6 และ 0.3:0.7 พบว่า กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วก่อเกิดขึ้นในช่วงอายุการบ่มที่ 14 วัน จากนั้นการพัฒนาอย่างช้าๆมีแนวโน้มไม่เพิ่มขึ้นมากที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยสัดส่วนของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยถ่านหินที่ 0.7:0.3 มีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 70.4 ksc ค่าการดูดกลืนน้ำ 214 kg/m^3 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 57-2533 บล็อกคอนกรีตชนิดรับน้ำหนัก และสำหรับสัดส่วนของเถ้าหนักถ่านหิน และเถ้าชีวมวลอายุ 28 วัน สำหรับผลการทดสอบที่สัดส่วนการผสมอื่น ๆ นั้น ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 58-2533 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนักที่กำหนดไว้ต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 25 ksc

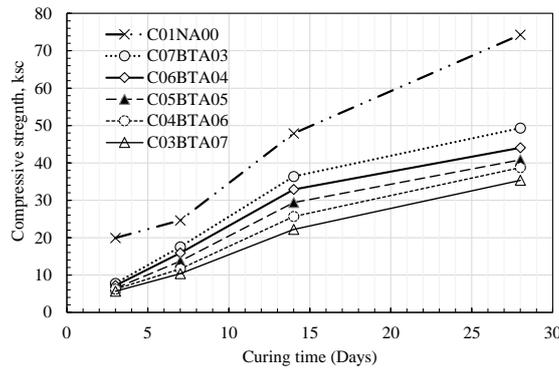
ค่าหน่วยน้ำหนักแห่งของอิฐบล็อกประสานที่ทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้า มีค่าแปรผันตรงกับสัดส่วนของเถ้าหนักที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของเถ้า เนื่องจากขนาดของอนุภาคเถ้ามีผลกับความสามารถดูดกลืนน้ำ อีกทั้งขนาดอนุภาคเถ้ายังมีผลกับการทำปฏิกิริยาปอซโซลานที่ส่งผลถึงค่ากำลังรับแรงอัดโดยตรง [5] ดังนั้นหากต้องการพัฒนาอิฐ



ก) เถ้าลอยถ่านหิน (FA)

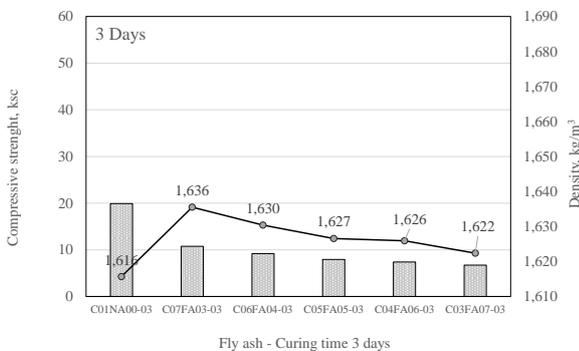


ข) เถ้าลอยซีเมนต์ (BA)



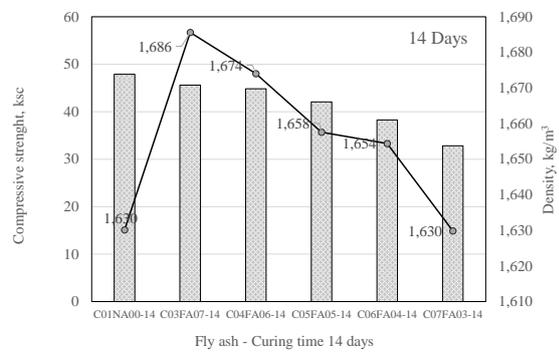
ค) เถ้าหนักถ่านหิน (BT)

รูปที่ 5 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานตามอายุการบ่มและชนิดของวัสดุผสม



Fly ash - Curing time 3 days

ก) อายุการบ่ม 3 วัน



Fly ash - Curing time 14 days

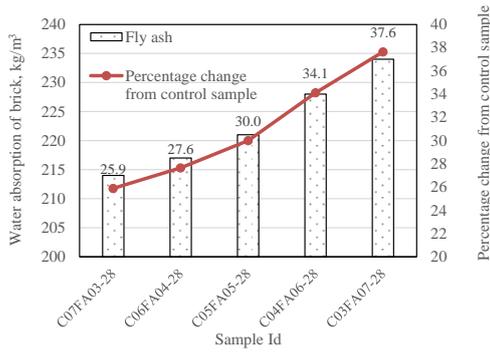
ข) อายุการบ่ม 14 วัน

รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดกับหน่วยน้ำหนักอิฐบล็อกประสานผสมเถ้าลอย อายุ 3 และ 14 วัน

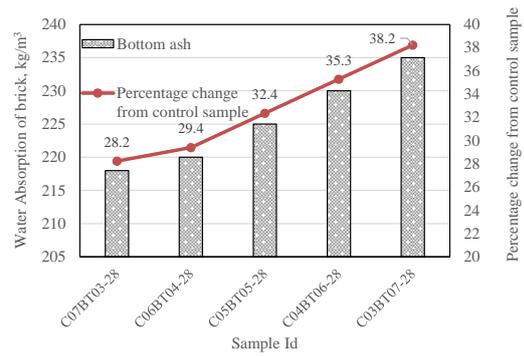
บล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก ควรมีการคัดขนาด เพื่อให้อิฐบล็อกประสานมีความสามารถในการรับน้ำหนักดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบกับเถ้าลอยที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าและที่สัดส่วนระหว่างปูนซีเมนต์และเถ้าที่มีน้ำหนักที่เท่ากัน

ผลการศึกษานี้สามารถนำสัดส่วนผสมนี้ไปใช้งานที่มีคุณสมบัติสอดคล้องตามมาตรฐานของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก เหมาะสมสำหรับงานที่ไม่ได้รับน้ำหนักโครงสร้างโดยตรง เช่น งานวัสดุก่อผนัง หรือพัฒนาวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ที่

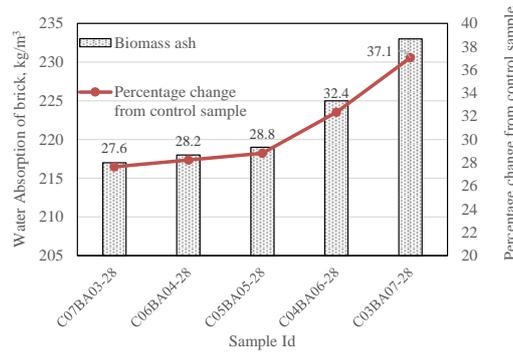
ต้องการการแทนที่ด้วยปูนซีเมนต์ จากการศึกษาพบว่าในการผสมเถ้ามีผลทำให้ลดปริมาณเนื้อดิน ส่งผลทำให้หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานมีค่าลดลง ให้น้ำหนักในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง สำหรับในขั้นตอนการผลิตยังสามารถลดค่าแรงงานและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ทั้งยังเป็นการรักษาสภาพแวดล้อม และนำของเสียจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



ก) เถ้าลอยถ่านหิน

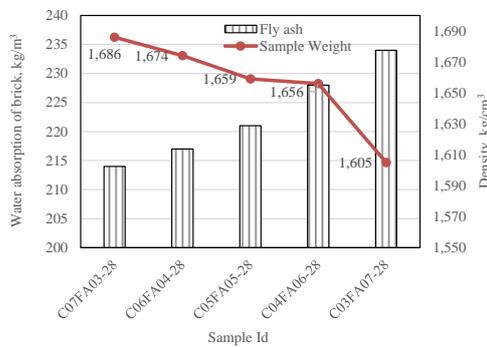


ข) เถ้าหนักถ่านหิน

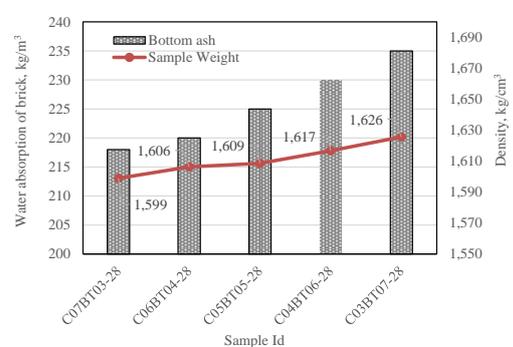


ค) เถ้าลอยชีวมวล

รูปที่ 7 การดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนเทียบกับตัวอย่างควบคุม



ก) เถ้าลอยถ่านหิน



ข) เถ้าหนักถ่านหิน

รูปที่ 8 การเปรียบเทียบผลทดสอบการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานเถ้าลอย และหน่วยน้ำหนักแห้งของตัวอย่างอายุ 28 วัน

4. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการศึกษาการพัฒนากำลังของอิฐบล็อกประสานที่แทนที่ด้วยเถ้า สามารถสรุปได้ดังนี้

1) อิฐบล็อกประสานที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยถ่านหิน เถ้าลอยชีวมวล และเถ้าหนักถ่านหิน มีค่ากำลังรับแรงอัดแปรผกผันกับอัตราส่วนของเถ้าที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนเถ้าช่วยลดลงของหน่วยน้ำหนักแห้งอิฐบล็อกประสานได้

2) สัดส่วนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับกำลังของตัวอย่างควบคุม สัดส่วนของปูนซีเมนต์ที่มีต่อเถ้าลอยถ่านหินที่ 0.7:0.3 โดยอัตราส่วนผสม 1:5:1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ได้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 71.82 ksc ค่าการดูดกลืนน้ำ 214 kg/m³ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 57-2533 บล็อกคอนกรีตชนิดรับน้ำหนัก สำหรับสัดส่วนผสมของเถ้าอื่น ๆ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก 58-2533 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก

3) ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสาน พบว่ามีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น ตามสัดส่วนของเถ้าที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเถ้าหนักถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าจะมีร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นโดยผลทดสอบจากส่วนผสมค่าการดูดซึมน้ำยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

4) การนำเถ้าลอย หรือเถ้าหนักจากถ่านหินหรือชีวมวล มาเป็นวัสดุประสานในงานอิฐบล็อกประสาน จากผลการทดสอบพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าสามารถลดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้ โดยมีค่ากำลังที่เหมาะสม เพียงพอตามมาตรฐานบล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก อีกทั้งยังเป็นการลดภาระการทิ้งวัสดุที่เหลือจากการผลิตกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่น ๆ และเป็นการส่งเสริมการประยุกต์การใช้งานวัสดุที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวัสดุประกอบในการวิจัยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง และโรงไฟฟ้าชีวมวล บริษัทโคเจน กรีน จังหวัดลำพูน สนับสนุนวัสดุทดสอบ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาคภูมิ จารุภูมิ และกลุ่มวิจัยนวัตกรรมวัสดุ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ได้อนุญาตการถ่ายภาพ SEM ในการวิจัย และขอขอบคุณ คุณองอาจ นวลปลอด นักวิจัยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) สำหรับข้อมูล และข้อเสนอแนะในการเตรียมตัวอย่าง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Saisuthanawit S, Charoenchai, N. Engineering economic value analysis of interlocking block pilot plant using Mae Moh power plant bottom ash. NUJ. 2018;13(1): 80-98. Thai.

[2] Kamhang W, Janbanjong B. Thailand institute of scientific and technological research (online). Available: from http://technologyblockprasan.com/information1_2.php/ [Accessed: 30 June 2018].

[3] Dasaesamoh A, Maha H, Chebueraheng H. Properties of interlocking block from para rubber wood fly ash mixed Narathiwat kaolin. J. Res. Unit Sci. Tech. Environ. Learning. 2014; 5(2):202-208. Thai.

[4] Saramakon S. Usage of fly ash for manufacturing interlocking block. Master Thesis. Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima; 2013. Thai.

[5] Rukzon S, Phupa W, Ngenprom N, Chindaprasirt P. Final Report. The innovation of use bottom ash on green concrete. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. Bangkok; 2012. Thai.

[6] Sujjavanich S, Suwanwitaya P. Final Report. Durability of fly ash concrete. Electricity generating authority of Thailand. April. 2003. Thai.

[7] Dumrongsil S, Sujjavanich S. Effect of Cement containing binary blended bagasse ash-fly ash on physical and mechanical properties of concrete. KMUTT Research and Development Journal. 2007;30(3):489-499. Thai.

[8] Department of industrial works. Manual and criteria for processing fuel rods and concrete interlocking bricks. 1st Edition. Bangkok; CMS Engineering. 2012. Thai.

[9] Dechburum A, Chaimoon K. Properties of interlocking block containing fly ash and bottom ash. SWU Engineering Journal. 2019;14(1):99-105. Thai.

[10] Klabprasit T, Jaturapitakkul C, Chindaprasirt P, Songpiriyakij S. Fly ash and biomass ash Based geopolymer pastes Part I: Effect of mix proportion on compressive strength. Research and Development Journal. 2008;19(2):11-16. Thai.

[11] Ramjan S, Tangchirapat W, Jaturapitakkul C. Effect of finesses of fly ash and rice husk ash on compressive strength and expansion of mortar in accelerated mortar bar method. Journal of Thailand Concrete Association. 2017;5(1):1-13. Thai.

[12] TIS. 1990. Standard for hollow-bearing concrete masonry unit. TIS 57-2533. Thai Industrial Standards Institute.

[13] TIS. 1990. Standard for hollow non-load-bearing concrete masonry unit. TIS 58-2533. Thai Industrial Standards Institute.