# การใช้เถ้ากะลามะพร้าวเป็นมวลรวมในการผลิตคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสาน
# The Coconut Shell Ash as an Aggregate Manufacture of Concrete Blocks and Interlocking Bricks

**อมเรศ บกสุวรรณ[1] ประชุม คำพุฒ[2,*] อรรถพล มาลัย[3] และ สาโรจน์ ดำรงศีล[4]**

*[1,2] หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี*
*[3,4] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จ.นครปฐม*
**Corresponding author; E-mail address: prachoom_k@rmutt.ac.th*

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการใช้ประโยชน์จากเถ้ากะลามะพร้าวเป็นมวลรวมในการผลิตวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสาน กำหนดอัตราส่วนของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1: เถ้ากะลามะพร้าว: หินฝุ่น เท่ากับ 1: 0: 7, 1: 0.2: 6.8, 1: 0.4: 6.6, 1: 0.6: 6.4, 1: 0.8: 6.2 และ 1: 1: 6 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอัด โดยที่คอนกรีตบล็อกมีขนาด 7 x 19 x 39 เซนติเมตร และอิฐบล็อกประสานมีขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร ทำการทดสอบคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก.58–2560 ทำการทดสอบอิฐบล็อกประสานตามมาตรฐาน มผช.602–2547 ผลการทดสอบพบว่า บล็อกที่ผสมเถ้ากะลามะพร้าวในปริมาณมาก มีน้ำหนัก การดูดกลืนน้ำ และความต้านทานแรงอัด ต่ำกว่าบล็อกที่ผสมเถ้ากะลามะพร้าวในปริมาณน้อย โดยอัตราส่วน 1: 0.6: 6.4 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตทั้งคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสาน ซึ่งในสัดส่วนนี้สมบัติของทั้งสองผลิตภัณฑ์ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีสมบัติความต้านทานแรงอัดต่ำกว่าส่วนผสมควบคุมประมาณร้อยละ 58, ปริมาณความชื้นมากขึ้นประมาณร้อยละ 31, การดูดซึมน้ำมากขึ้นประมาณร้อยละ 80 และความหนาแน่นลดลงประมาณร้อยละ 5

คำสำคัญ: เถ้ากะลามะพร้าว, หินฝุ่น, คอนกรีตบล็อก, อิฐบล็อกประสาน

## Abstract

Research aims to utilize coconut shell ash as aggregate in the production of construction materials. There are concrete blocks and interlocking bricks in experimental. The ratios of both products consisted of Portland cement type 1: coconut shell ash: dust stone is 1: 0: 7, 1: 0.2: 6.8, 1: 0.4: 6.6, 1: 0.6: 6.4, 1: 0.8: 6.2 and 1: 1: 6 by weight. The water to cement ratio of all sample was 0.6 by weight. The samples were formed with a hand-held blocking brick block machine. The experiment sample size of concrete blocks is 7 x 19 x 39 centimeters and interlocking bricks size is 12.5 x 25 x 10 centimeters. The concrete blocks experiment test is based on the Thai Industrial Standard 58–2560, and interlocking bricks based on Community product standard 602–2547. The results show that the blocks containing coconut shell ash in high quantities have weight, water absorption and compressive strength less than blocks containing coconut shell ash in low amounts. The ratio of 1:0.6:6.4 is suitable for both products. In this ratio, the properties of both products cured for 28 days show that compressive strength about 58% lower than the control mixture, moisture content increased about 31%, water absorption increased about 80%, and the density was reduced about 5 percent.

Keywords: coconut shell ash, dust stone, concrete blocks, interlocking bricks

## 1. คำนำ

ประเทศไทยมีการส่งออกมะพร้าวมากเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ทำให้เถ้ากะลามะพร้าวมีปริมาณมากกว่า 222,000 ตันต่อปี เป็นขยะเหลือทิ้งที่ต้องมีแนวทางการกำจัดหรือการนำไปใช้ประโยชน์อย่างชัดเจนและเร่งด่วน [1] เถ้ากะลามะพร้าว เป็นขยะเหลือทิ้งของโรงงานไฟฟ้าและโรงงานแปรรูปมะพร้าว จากกระบวนการเผากะลามะพร้าวเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยปริมาณเถ้ากะลามะพร้าวที่เหลือทิ้งคิดเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณกะลามะพร้าวก่อนเผา [2] ลักษณะของเถ้ากะลามะพร้าวมีลักษณะเป็นก้อนจากเศษกะลามะพร้าวที่เผาไหม้ไม่หมด ปะปนอยู่กับผงกะลามะพร้าวขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา และแข็งมากพอสมควร จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเถ้ากะลามะพร้าวมาผสมเป็นมวลรวมในคอนกรีตบล็อก และอิฐประสาน เพื่อช่วยในการลดน้ำหนักและเพิ่มสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน โดยจะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานและลดขนาดโครงสร้างของอาคารลงได้

คอนกรีตบล็อก (Concrete Blocks) เป็นวัสดุก่อผนังที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ทราย หินฝุ่น และน้ำ มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม [3] หากแต่มีสมบัติที่ด้อยกว่าอิฐมวลเบา เช่น น้ำหนักมาก, ไม่เป็นฉนวนป้องกันความร้อน, ไม่ดูดซับเสียง, และแตกหักง่าย บล็อกประสาน (Interlocking Block) เป็นหนึ่งในวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมมากในชุมชน เนื่องจากถูกพัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก ทำให้สะดวกในการก่อสร้าง เน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำ ในสัดส่วนที่เหมาะสม อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 10 วัน ปัญหาของบล็อกประสานที่สำคัญ คือ มีน้ำหนักมาก ในขณะที่มีความ

แข็งแรงที่ไม่มากนัก แม้ว่ากระบวนการผลิตบล็อกประสานจะเป็นการอัดด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังสูง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเถ้ากะลามะพร้าวมาผสมเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาในคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสาน เพื่อช่วยลดน้ำหนักและเพิ่มสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของผลิตภัณฑ์ และทดสอบคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก.58–2560 [3] อิฐบล็อกประสานตามมาตรฐาน มผช.602–2547 [4] เพื่อแนะนำส่วนผสมที่ได้มาตรฐานในการนำไปใช้งาน

## 2. วิธีวิจัย

*2.1 วัสดุในการวิจัย*

*2.1.1 ปูนซีเมนต์*

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 มีความถ่วงจำเพาะ 3.15

*2.1.2 เถ้ากะลามะพร้าว*

เป็นเถ้าที่เหลือทิ้งจากกระบวนการเผาให้ความร้อนหม้อต้มไอน้ำ จาก บริษัท อำพลฟูดส์ โพรเซสซิง จำกัด ดังรูปที่ 1 เถ้ามีลักษณะเม็ดหยาบ ดังรูปที่ 2 ควบคุมขนาดของเถ้ากะลามะพร้าวให้มีความสม่ำเสมอด้วยวิธีร่อนผ่าตะแกรง (Sieve) เบอร์ ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 50 พร้อมทำการอบแห้ง มีค่าโมดูลัสความละเอียด 3.285 และความถ่วงจำเพาะ 2.3

**รูปที่ 1** เครื่องจักรไอน้ำที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

**รูปที่ 2** เถ้ากะลามะพร้าวจากเครื่องจักรไอน้ำ

*2.1.3 หินฝุ่น*

หินฝุ่น ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ดังรูปที่ 3

เถ้ากะลามะพร้าว และหินฝุ่นมีลักษณะภายนอกที่ใกล้เคียงกัน แต่เถ้ากะลามะพร้าวจะมีลักษณะแบนกว่าหินฝุ่นซึ่งเป็นลักษณะของมวลรวมที่ไม่ดีนักในการนำมาผสมคอนกรีต [5] เนื่องจากจะทำให้เกิดการยึดเกาะตัวที่ไม่ดี และเกิดของว่างภายในเนื้อคอนกรีตมากกว่าหินฝุ่นซึ่งเป็นมวลรวมที่มีเหลี่ยมคมและมีความแบนน้อย อีกทั้งการที่เถ้ากะลามะพร้าวมีความมันของผิวหน้ามากกว่าหินฝุ่นทำให้ซีเมนต์เพสต์ยึดเกาะตัวได้ยากกว่าส่งผลให้ความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกลดต่ำลงได้ดังนั้นการกำหนดส่วนผสมของผลิตภัณฑ์จึงไม่สามารถใช้เถ้ากะลามะพร้าวแทนที่หินฝุ่นได้ทั้งหมด

**รูปที่ 3** หินฝุ่น

*2.1.4 น้ำประปา*

จากการทดสอบขึ้นรูปตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ผิวตัวอย่างที่มีความเรียบและไม่แตกร้าวเมื่อแห้ง พบว่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่เหมาะสมที่สุดของคอนกรีตบล็อกคือ 0.6 และอิฐบล็อกประสานคือ 1.0

*2.2 ส่วนผสมของตัวอย่าง*

คอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด มีส่วนผสมซีเมนต์ 1 ต่อ หินฝุ่น 7 ส่วน การวิจัยครั้งนี้ได้นำเถ้ากะลามะพร้าวแทนที่หินฝุ่นทีละน้อย ดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าผลรวมของเถ้ากะลามะพร้าวและหินฝุ่นจะเท่ากับ 7 ส่วน ในทุกส่วนผสม

**ตารางที่ 1** อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก (C) และอิฐบล็อกประสาน (L) สำหรับการวิจัย

| สัญลักษณ์ | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ส่วน) | เถ้ากะลามะพร้าว (ส่วน) | หินฝุ่น (ส่วน) | W/C |
|---|---|---|---|---|
| C 0.0 | 1 | - | 7 | 0.6 |
| C 0.2 | 1 | 0.2 | 6.8 | 0.6 |
| C 0.4 | 1 | 0.4 | 6.6 | 0.6 |
| C 0.6 | 1 | 0.6 | 6.4 | 0.6 |
| C 0.8 | 1 | 0.8 | 6.2 | 0.6 |
| C 1.0 | 1 | 1 | 6 | 0.6 |

| สัญลักษณ์ | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ส่วน) | เถ้ากะลามะพร้าว (ส่วน) | หินฝุ่น (ส่วน) | W/C |
|---|---|---|---|---|
| L 0.0 | 1 | - | 7 | 1 |
| L 0.2 | 1 | 0.2 | 6.8 | 1 |
| L 0.4 | 1 | 0.4 | 6.6 | 1 |
| L 0.6 | 1 | 0.6 | 6.4 | 1 |
| L 0.8 | 1 | 0.8 | 6.2 | 1 |
| L 1.0 | 1 | 1 | 6 | 1 |

** หมายเหตุ C คือ คอนกรีตบล็อก และ L คือ อิฐบล็อกประสาน

ผู้วิจัยได้ทดลองผสมและขึ้นรูปตัวอย่างก่อนกำหนดอัตราส่วนผสมดังกล่าวเพื่อให้สามารถนำไปทดสอบแล้วได้แนวโน้มผลการทดสอบสมบัติทางกลตามต้องการและไม่แตกหักง่าย พบว่าหากกำหนดอัตราส่วนผสมเถ้ากะลามะพร้าวเกิน 1 ส่วน ต่อ หินฝุ่น 1 ส่วน ตัวอย่างจะแตกหักง่ายไม่สามารถผลิตเป็นวัสดุใช้งานได้ ดังรูปที่ 4

**รูปที่ 4** คอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณของเถ้ากะลามะพร้าวมากเกินไป

*2.3 การขึ้นรูปตัวอย่าง*

วิธีการขึ้นรูปชิ้นตัวอย่างการทดสอบ คอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสาน ทำโดยผสมส่วนผสมให้เข้ากันก่อนเครื่องผสมแบบหงาย แล้วจึงค่อยๆ เติมน้ำลงไปด้วยฝักบัวหรือหัวฉีดพ่นให้เป็นละอองกว้าง ระหว่างการผสมควรหยุดเครื่องเพื่อเกลี่ยคอนกรีตที่ติดอยู่ข้างเครื่องผสมออก เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้ว ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก ขนาด 7 x 19 x 39 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบกึ่งอัตโนมัติ และขึ้นรูปอิฐบล็อกประสาน ขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบมือโยกทันทีเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ทำการกองเก็บและบ่มในที่ร่ม บ่มคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานในสภาพอากาศปกติ โดยการพรมน้ำและห่อด้วยแผ่นพลาสติกป้องกันการสูญเสียความชื้น

**(ก)** การผสมส่วนผสมวัสดุ

**(ข)** ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องแบบกึ่งอัตโนมัติ

**(ค)** ขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานด้วยเครื่องอัดแบบมือโยก

**(ง)** บ่มตัวอย่างโดยการพรมน้ำและห่อด้วยแผ่นพลาสติก

**รูปที่ 5** การขึ้นรูปและบ่มตัวอย่าง

*2.4 วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.58-2560 และ มผช.602-2547*

*2.4.1 วิธีทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive strength)*

เตรียมตัวอย่างโดยบันทึกขนาด น้ำหนักของบล็อก ผสมปูนปลาสเตอร์ให้เหลว วางบนแผ่นกระจกเรียบ ซึ่งเตรียมไว้วางในแนวระดับพื้นราบ นำก้อนบล็อกตัวอย่างวางทับลงบนปูนปลาสเตอร์ให้ได้ระดับ โดยให้มีความหนาระหว่างตัวอย่างกับแผ่นกระจกประมาณ 3 มิลลิเมตร วางทิ้งไว้ประมาณ 3 ชั่วโมงเพื่อให้ปูนปลาสเตอร์แห้ง แล้วทำการทดสอบด้วยเครื่อง Compression Test Machine or Universal Testing Machine คำนวณค่ากำลังรับแรงอัดต่อก้อน ดังนี้

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

เมื่อ

$P$ คือ กำลังรับแรงอัด เป็น กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

$F$ คือ แรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้เป็นกิโลกรัม

$A$ คือ พื้นที่ผิวที่รับแรงกดของบล็อกตัวอย่าง เป็นตารางเซนติเมตร

*2.4.2 วิธีทดสอบการดูดซึมน้ำ (Percentage of Absorption)*

ทดสอบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างโดยแช่ตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงการดูดซึมน้ำของอิฐหมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในอิฐหลังจากนำไปแช่น้ำต่อน้ำหนักอิฐอบแห้ง นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ คำนวณค่าการดูดซึมน้ำของบล็อก ดังนี้

$$\text{ค่าการดูดกลืนน้ำร้อยละ} = \frac{A-B}{B} x100 \quad (2)$$

เมื่อ

$A$ คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อเปียกภายหลังจากแช่น้ำแล้ว 24 ชั่วโมง หน่วยเป็นกรัม

$B$ คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อแห้งหน่วยเป็นกรัม

*2.4.3 วิธีทดสอบความหนาแน่น (Density)*

ความหนาแน่นของตัวอย่างคืออัตราส่วนระหว่างมวลของตัวอย่างต่อหนึ่งปริมาตรของตัวอย่าง เมื่อมวลตัวอย่างหาได้โดยการชั่ง ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ส่วนปริมาตรของอิฐนั้นมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

$$\text{ความหนาแน่น} \quad = \frac{M}{V} \qquad (3)$$

เมื่อ

$M$ คือ มวลของก้อนตัวอย่าง

$V$ คือ ปริมาตรก้อนตัวอย่าง

*2.4.4 การทดสอบความชื้นของตัวอย่าง (Moisture content)*

ปริมาณความชื้นของอิฐหมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในอิฐในสภาพธรรมชาติต่อน้ำหนักของอิฐที่อบแห้ง คูณด้วย 100 คำนวณค่าความชื้นของบล็อก ดังนี้

$$\text{ค่าความชื้นของตัวอย่างร้อยละ} = M_w / M_s \times 100 \qquad (4)$$

เมื่อ

$M_w$ คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อเปียกภายหลังจากแช่น้ำแล้ว 24 ชั่วโมง หน่วยเป็นกรัม

$M_s$ คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อแห้ง หน่วยเป็นกรัม

*2.4.5 วิธีทดสอบการหดตัวแห้งทางยาว*

เมื่อผลิตตัวอย่างแล้วเสร็จวัดและจดบันทึกความยาวเฉลี่ยของตัวอย่างทันที และจดบันทึกความยาวเฉลี่ยของตัวอย่างหลังอบแห้ง คำนวณค่าการหดตัวแห้งทางยาวของบล็อก ดังนี้

$$\text{ค่าการหดตัวแห้งทางยาว} \quad = \frac{A-B}{B} x100 \qquad (5)$$

เมื่อ

A คือ ความยาวเฉลี่ยของตัวอย่างเมื่อผลิตแล้วเสร็จ

B คือ ความยาวเฉลี่ยของตัวอย่างหลังอบแห้ง

*2.4.6 วิธีทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity)*

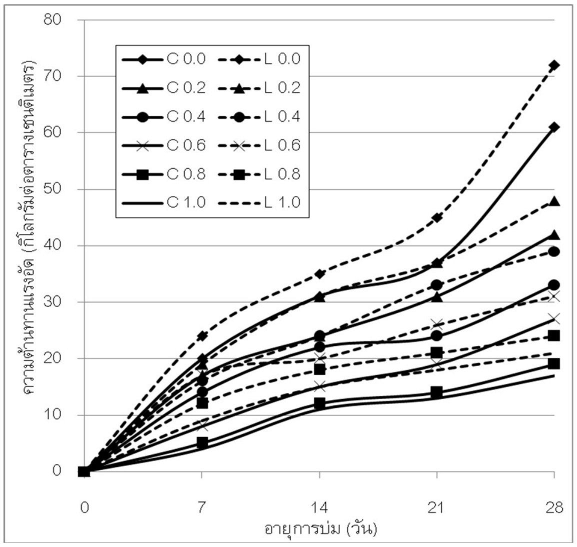
สมบัติการนำความร้อนหรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่า k (thermal conductivity, k-value) คือการเคลื่อนที่ของพลังงานโดยการสั่นของโมเลกุล หากวัตถุชนิดใดยอมให้พลังงานความร้อนผ่านได้ง่ายวัตถุนั้นก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากหมายถึงนำความร้อนดี วิธีทดสอบโดยหล่อชิ้นงานขนาด กว้าง 300 x 300 มิลลิเมตร หนา 25 มิลลิเมตร ทุกสัดส่วนผสม ทดสอบในเครื่องทดสอบค่านำความร้อน

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

เมื่อขึ้นรูปตัวอย่างและบ่มจะนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน มอก.58-2560 เรื่องคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก [3] เรื่องอิฐบล็อกประสาน [4] และมาตรฐาน ASTM C177-10 [6] ประกอบด้วย การทดสอบความต้านทานแรงอัด ทดสอบปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำหรือการดูดกลืนน้ำ การหดตัวแห้งหรือการหดตัวทางยาว และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

*3.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด*

การทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานผสมเถ้ากะลามะพร้าวที่อัตราส่วนต่าง ๆเปรียบเทียบ กับคอนกรีตบล็อกปกติที่ไม่ผสมเถ้ากะลามะพร้าว ทำการทดสอบแรงอัดประลัยของก้อนคอนกรีตบล็อกแต่ละอัตราส่วน ตามจำนวนอายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน แล้วคำนวณเป็นค่าความต้านทานแรงอัดได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานที่ผสมเถ้ากะลามะพร้าว

จากรูปที่ 6 ความต้านทานแรงอัดของทั้งคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมเถ้ากะลามะพร้าวแทนที่หินฝุ่นในปริมาณที่มากขึ้น

แม้ว่าจะเป็นวัสดุปอสโซลาน (Pozzolan) ที่มีปริมาณของซิลิก้า ($SiO_2$) มาก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และเพิ่มความต้านทานแรงอัดได้ หากแต่ปฏิกิริยาปอซโซลานจะส่งผลเพิ่มกำลังอัดของวัสดุอย่างชัดเจนหลังอายุการบ่มระยะเวลานานประมาณ90วัน [7] เถ้ากะลามะพร้าวในการวิจัยเป็นเพียงวัสดุที่มีอนุภาคขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับหินฝุ่น และจากขนาดของอนุภาคทำให้การเชื่อมประสานเถ้ากะลามะพร้าวกับส่วนผสมอื่นของคอนกรีตบล็อกหรืออิฐบล็อกประสาน ต้องใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่า

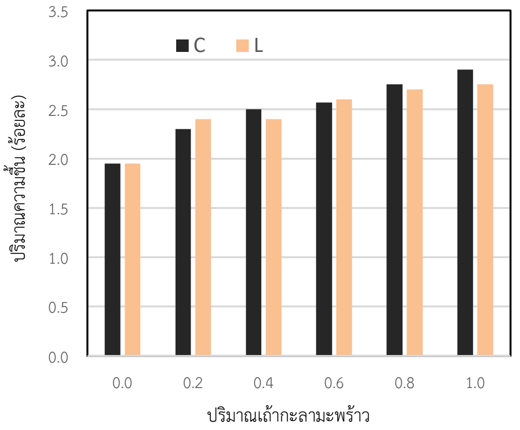
เมื่อพิจารณาในอัตราส่วนผสมเดียวกันของบล็อกทั้ง 2 ชนิด พบว่าแนวโน้มความต้านทานแรงอัดอิฐบล็อกประสานสูงกว่าคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นผลมาจากรูปร่างลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่มีความสูงตลอดจนช่องว่างขนาดใหญ่กว่าอิฐบล็อกประสาน

เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกับมาตรฐาน มอก.58-2560 และอิฐบล็อกประสานกับมาตรฐาน มอก.602-2547 พบว่า อัตราส่วนที่ผสมเถ้ากะลามะพร้าวต่ำกว่า อัตราส่วน C 0.6 และ L 0.6 เป็นไปตามมาตรฐานคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักกำหนด คือ มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า 25 กิโลกรัมต่อ

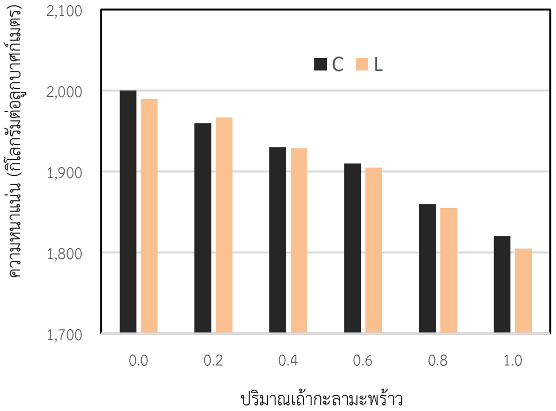
ตารางเซนติเมตร หรือ 2.5 เมกะพาสคัล ที่อายุการบ่ม 28 วัน ซึ่งสามารถใช้งานก่อเป็นผนังเปลือกอาคารได้ทั่วไป

*3.2 ผลการทดสอบปริมาณความชื้น*

เมื่อนำคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานผสมเถ้ากะลามะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน ไปทดสอบหาความชื้นและความหนาแน่น สามารถสรุปผลได้ ดังนี้




**รูปที่ 7** ปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานผสมเถ้ากะลามะพร้าว




**รูปที่ 8** ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานผสมเถ้ากะลามะพร้าว

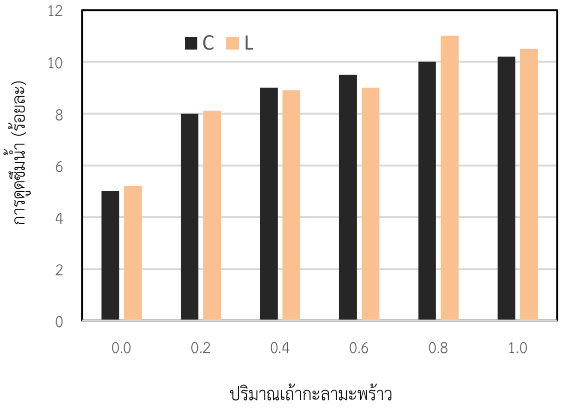
ปริมาณความชื้นที่อยู่ภายในบล็อกเป็นปริมาณน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์รวมทั้งความชื้นบริเวณโดยรอบที่แทรกตัวเข้าไปภายในบล็อก จากรูปที่ 7 พบว่าปริมาณความชื้นของบล็อก ทั้ง 2 ชนิด มีค่าค่อนข้างต่ำและมีความใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 1.9 ถึงร้อยละ 2.9 โดยเห็นได้ว่าปริมาณของเถ้ากะลามะพร้าวที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อแนวโน้มของความชื้นที่สูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากเถ้ากะลามะพร้าวที่นำมาผสมเป็นวัสดุที่มีความพรุนค่อนข้างสูง เนื่องจากยังไม่ผ่านการบดให้ละเอียดทำให้การสะสมความชื้นเกิดขึ้นได้มาก

อย่างไรก็ตามความพรุนและลักษณะของเถ้ากะลามะพร้าวกลับส่งผลดีต่อน้ำหนักที่ลดลงของบล็อกทั้ง 2 ชนิด โดยเห็นได้จากผลการทดสอบความหนาแน่นในรูปที่ 8 ซึ่งพบว่า คอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้ากะลามะพร้าวมีความหนาแน่น (อัตราส่วน C 0.0 และ L 0.0) เท่ากับ 1,990 และ 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่เมื่อมีการแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้ากะลามะพร้าวทำให้ความหนาแน่นลดลงต่ำที่สุดเป็น 1,820 และ 1,805 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อัตราส่วน C 1.0 และ L 1.0 ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วนที่ผสมเถ้ากะลามะพร้าวมากที่สุดและยังคงมีสมบัติทางกลผ่านมาตรฐานอย่าง C 0.6 และ L 0.6 ก็มีความหนาแน่นต่ำเช่นเดียวกัน โดยมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,905 และ 1,910 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

*3.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ*

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำหรือการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานที่ผสมเถ้ากะลามะพร้าวที่อายุการบ่ม 28 วัน ซึ่งมีปริมาณการแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้ากะลามะพร้าวต่างๆดังรูปที่ 9

เถ้ากะลามะพร้าวเป็นวัสดุที่มีความพรุน มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นของบล็อกทั้ง 2 ชนิด โดยบล็อกที่ไม่มีเถ้ากะลามะพร้าวจะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 5 และ 5.2 ตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้ากะลามะพร้าวมากที่สุดและยังคงมีค่าความต้านทานแรงอัดตามมาตรฐาน อย่างอัตราส่วน C 0.6 และ L 0.6 นั้น มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 9.5 และ 9 ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเมื่อผสมเถ้ากะลามะพร้าวที่อัตราส่วน C 1.0 และ L 1.0 ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดเท่ากับ 10.2 และ 10.5 ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกกับมาตรฐาน มอก.58-2560 และอิฐบล็อกประสานกับมาตรฐาน มผช.602-2547 สรุปได้ว่า บล็อกทั้งหมดมีค่าการดูดซึมเป็นไปตามมาตรฐานทั้งหมด โดยคอนกรีตบล็อกต้องมีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินกว่าร้อยละ 25 ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50 และมีค่าการหดตัวทางยาวมากกว่าร้อยละ 0.245

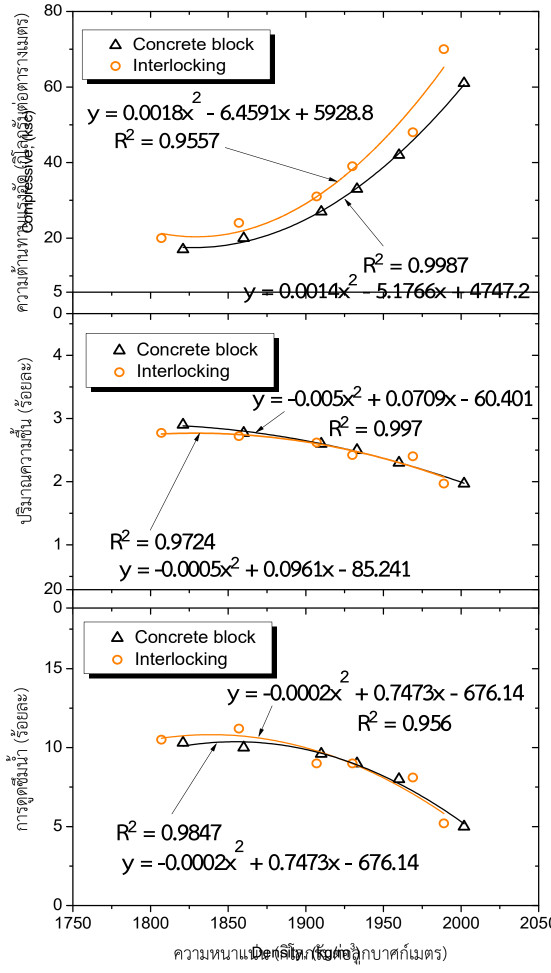



**รูปที่ 9** การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานผสมเถ้ากะลามะพร้าว

ทั้งนี้คอนกรีตบล็อกผสมเถ้ากะลามะพร้าวมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดเพียงร้อยละ 11 ส่วนอิฐบล็อกประสานต้องมีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 5 ก้อน ไม่เกิน 224 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานอยู่ระหว่าง 1,921 ถึง 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอิฐบล็อกประสานมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดเพียง 198.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 11 จึงสามารถนำบล็อกดังกล่าว ทั้ง 2 ชนิด ไปใช้งานก่อสร้างได้โดยไม่มีปัญหาการแตกร้าวของปูนก่อ-ฉาบจากการดูดซึมน้ำของบล็อก

*3.4 ความสัมพันธ์ความหนาแน่นและคุณสมบัติตามมาตรฐาน*

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทดสอบผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนดซึ่งมีการทดสอบหลักคือ การทดสอบความต้านทานแรงอัด, ทดสอบปริมาณความชื้น และการดูดซึมน้ำหรือการดูดกลืนน้ำ อีกทั้งเถ้ากะลามะพร้าวเป็นวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าหินฝุ่น เมื่อนำมาแทนที่หินฝุ่นจึงส่งผลกระทบให้ความหนาแน่นต่ำลง

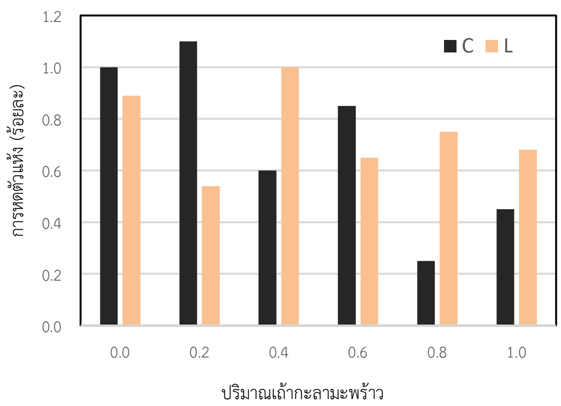



**รูปที่ 10** ความหนาแน่นและคุณสมบัติตามมาตรฐานที่ทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วัน

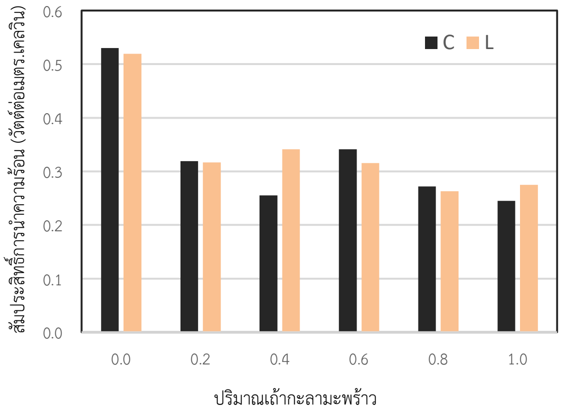
จากรูปที่ 10 ความสัมพันธ์ความหนาแน่นของทั้ง2ผลิตภัณฑ์กับคุณสมบัติตามที่มาตรฐานกำหนด พบว่าการวิจัยครั้งนี้มีความสัมพันธ์ของสมการเชิงพีชคณิตในแบบโพลิโนเมียลกำลังสองโดยมีความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เป็นตัวแปร ซึ่งมีผลวัดความสมรูปทางสถิติข้อมูล(R-squared) เกิน 0.95 ทุกการทดลอง สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางทำนายผลการทดลองแบบเดียวกันในอัตราส่วนผสมอื่นที่ไม่ระบุในการวิจัยครั้งนี้ได้ ในช่วงความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ 1,800 ถึง 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

*3.5 ผลการทดสอบการหดตัวแห้ง*

จากผลทดสอบการหดตัวแห้งหรือการหดตัวทางยาวของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกผสมเถ้ากะลามะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน รูปที่ 11 พบว่า การหดตัวแห้งของบล็อกทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่าลดลงเมื่อแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้ากะลามะพร้าวในปริมาณที่สูงขึ้น ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.25 ถึง 1.1 ซึ่งถือว่าน้อยมากและไม่มีผลต่อการนำบล็อกดังกล่าวไปใช้งานก่อผนังโดยทั่วไป อีกทั้งมาตรฐานของคอนกรีตบล็อก (มอก.58-2560) และอิฐบล็อกประสาน (มผช.206-2547) ไม่ได้มีการกำหนดว่า บล็อกดังกล่าวต้องมีการหดตัวแห้งไม่เกินเท่าใด เพียงแต่กำหนดไว้ประกอบการพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำเท่านั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือหดตัวดังกล่าวเป็นผลมาจากการสูญเสียความชื้น หากวัสดุมีการสูญเสียความชื้นมากหรือง่ายก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือหดตัวมากขึ้นตามไปด้วย [8]




**รูปที่ 11** การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานผสมเถ้ากะลามะพร้าว




**รูปที่ 12** สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานผสมเถ้ากะลามะพร้าว

*3.6 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน*

ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเป็นสมบัติหนึ่งที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานแม้ว่าจะไม่มีระบุไว้ในมาตรฐาน หากแต่บล็อกที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนดีจะช่วยลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศได้ โดยอุณหภูมิภายในอาคารที่ลดลง 1 องศาเซลเซียส สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้กว่าร้อยละ 10 [9] ซึ่งค่า

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็นผลการทดสอบที่สามารถแสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของวัสดุได้ดี

จากรูปที่ 12 พบว่า เถ้ากะลามะพร้าว สามารถเพิ่มความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของบล็อกทั้ง 2 ชนิดได้ดี โดยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลงของคอนกรีตบล็อก (C 0.0) และอิฐบล็อกประสาน (L 0.0) จาก 0.530 และ 0.519 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ตามลำดับ เป็น 0.341 และ 0.316 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ที่อัตราส่วน C 0.6 และ L 0.6 ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีสมบัติอื่นๆผ่านตามที่มาตรฐานกำหนดทั้งหมดและยังสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลงได้มากที่สุดเท่ากับ 0.245 และ 0.263 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ที่อัตราส่วน C 1.0 และ L 0.8 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากความพรุนของเถ้ากะลามะพร้าว ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อน [10] ทั้งนี้เมื่อเทียบกับคอนกรีต อิฐมอญ และคอนกรีตบล็อกทั่วไป ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 1.28, 1.15 และ 0.519 วัตต์/เมตร-เคลวิน ตามลำดับ

## 4. การใช้งานเป็นผนังอาคารจริง

คอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานผสมเถ้ากะลามะพร้าว ในการวิจัยครั้งนี้สามารถใช้ก่อผนังเหมือนกับคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานปกติทั่วไป

**รูปที่ 13** การก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกผสมเถ้ากะลามะพร้าว

ภายหลังจากการทดสอบใช้งานคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานจากเถ้ากะลามะพร้าวแล้ว ได้มีการนำผลงานคอนกรีตบล็อกมวลเบาและอิฐบล็อกประสานดังกล่าวถ่ายทอดและนำไปใช้งานจริง ที่ชุมชนเทศบาลตำบลพุแค จังหวัดสระบุรี ได้ดำเนินการผลิตและนำไปใช้งานก่อสร้างของโรงเรียนวัดพุแค ซึ่งเป็นโรงเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) กระทรวงศึกษาธิการ สถานที่ตั้ง หมู่1 ตำบลพุแค อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี เปิดการเรียนการสอนตั้งแต่ชั้นอนุบาล 1 ถึงชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีจำนวนนักเรียนทั้งหมด 192 คน

ในระหว่างการก่อสร้างผู้ปฏิบัติงานใช้ส่วนผสมปูนก่อและปูนฉาบเหมือนอิฐทั่วไปในท้องตลาดและเมื่อทำการฉาบปูนแล้วทิ้งไว้ กลางแจ้งก็ไม่เกิดการแตกร้าวอีกทั้งมีผิวหน้าที่เรียบเนียนสวยงาม สมบัติด้านการก่อและฉาบใกล้เคียงวัสดุในท้องตลาด ทั้งนี้ควรมีการวิจัยการก่อและฉาบต่อไป

## 5. บทสรุป

จากผลการวิจัยการใช้เถ้ากะลามะพร้าวเป็นมวลรวมในการผลิตคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานสามารถสรุปผลดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาและอิฐบล็อกประสานจากเถ้ากะลามะพร้าวไม่มีความแตกต่างจากการผลิตบล็อกทั่วไปมากนัก เพียงแต่ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมต้องเพิ่มปริมาณมากขึ้น เนื่องจากเถ้ากะลามะพร้าวเป็นวัสดุที่มีความพรุนทำจึงต้องเติมน้ำมากขึ้นกว่าบล็อกทั่วไป

2. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้ากะลามะพร้าวนั้น คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์: เถ้ากะลามะพร้าว: หินฝุ่น เท่ากับ 1: 0.6: 6.4 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 และ 1.0 สำหรับคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสาน ตามลำดับ

คอนกรีตบล็อกมีสมบัติผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.58-2560 ซึ่งกำหนดให้มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินกว่าร้อยละ 25

อิฐบล็อกประสานมีสมบัติผ่านตามที่มาตรฐาน มผช.602-2547 ซึ่งกำหนดให้มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการดูดซึมน้ำสูงสุดไม่เกินร้อยละ 11

3. ผลการทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกลสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ระหว่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาและอิฐบล็อกประสานจากเถ้ากะลามะพร้าว พบว่าสมบัติของบล็อกทั้ง 2 ชนิด มีค่าใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือการผสมเถ้ากะลามะพร้าวในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลต่อความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น การหดตัวแห้ง และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง ในขณะที่ความชื้น และการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น

4. การนำคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสาน ทั้ง 2 ชนิด มาใช้งานจริง พบว่า สามารถใช้งานได้ดีเช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อกและอิฐบล็อกประสานทั่วไป โดยไม่เห็นความแตกต่างของบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้ากะลามะพร้าวและบล็อกทั่วไป ยกเว้นสีของบล็อกเถ้ากะลามะพร้าวที่ดำเข้มกว่าบล็อกทั่วไปเท่านั้นซึ่งไม่มีผลต่อการใช้งาน

5. ทั้งนี้หินฝุ่นเป็นวัสดุที่ได้จากทรัพยากรธรรมชาติ การใช้เถ้ากะลามะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่มีมูลค่ามาแทนหินฝุ่นนั้นหากประเมินสมบัติด้านเศรษฐศาสตร์ของสัดส่วน C 0.6 และ L 0.6 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ใช้เถ้ากะลามะพร้าวแทนที่หินฝุ่นในอัตราร้อยละ 9 นอกจากจะลดมูลค่าการผลิตร้อยละ 9 แล้วยังลดการนำทรัพยากรธรรมชาติที่มีจำกัดมาใช้งานได้อีกด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ขอขอบคุณหน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในการสนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินงาน

## เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร (2545). *สถิติการเกษตรแห่งประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2544/45, เล่มที่ 43.* ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, หน้า 80-85.

[2] กลุ่มพลังงานชีวมวล (2555). *พลังงานชีวมวล.* กลุ่มพลังงานชีวมวล สำนักค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน, หน้า 17-19.

[3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2560 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก.* กรุงเทพฯ, กระทรวงอุตสาหกรรม

[4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.602-2547) เรื่องอิฐบล็อกประสาน.* กรุงเทพฯ, กระทรวงอุตสาหกรรม.

[5] Chindaprasirt, P and Jaturapitakkul, C (2012). *Cement Pozzolanic and concrete 7th edition.* Thailand Concrete Association. Bangkok., pp.103-112.

[6] American Society for Testing and Materials (ASTM) (2010). *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by means of Guarded Hot Plate Apparatus (ASTM C177 – 10).* ASTM International, Conshohocken, PA.

[7] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2555). *ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.* กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 7. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, หน้า 300-321.

[8] วินิต ช่อวิเชียร (2527). *คอนกรีตเทคโนโลยี*, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 5. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 15-35.

[9] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สนพ.) (2545). *วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 55, มกราคม-มีนาคม 2545.* สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ กระทรวงพลังงาน. หน้า 54-55.

[10] ประชุม คำพุฒ, กิตติพงษ์ สุวีโร, นิรมล ปั้นลาย และ ธงเทพ ศิริโสดา (2558). การใช้เศษหินภูเขาไฟในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต.* ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม-เมษายน 2558. หน้า 47-53.