ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเศษเซรามิกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการก่อสร้างอาคารเขียว

Product of Light Weight Concrete Block Mixed with Ceramic Waste from Industrial for Green Building Construction

อดิศร จรัลวรกูลวงศ์[1] ผกามาศ ชูสิทธิ์[2] นิลมิต นิลาศ[3] ภูวกฤต วิกรานตานนท์[4] และสุรินทร์ ทวีอักษรพันธ์[5]
Adisorn Jarunvorakunvong[1] Pakamas Choosit[2] Nilamit Nilas[3] Phuwakrit Wikrantanon[4] and Surin Taweeaugsornphun[5]

[1-2] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
[4-5] บริษัท อาซาฮี-ไทย อัลลอย จำกัด
Asahi-Thai Alloy Company Limited
[1-2] Corresponding Author E-mail: adisorn.ja@rmutp.ac.th/pakamas.c@rmutp.ac.th
Received: 3 พ.ย. 64 Revised: 12 ต.ค. 64 Accepted: 25 พ.ย. 64
DOI: 10.14416/j.ted.2023.02.005

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิต อัตราส่วนที่เหมาะสม สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ประสิทธิภาพการนำความร้อน และการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้ง อัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้ง ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1: หินฝุ่น: เถ้ากะลามะพร้าวเท่ากับ 1: 6.8: 0.2, 1: 6.7: 0.3, 1: 6.6: 0.4, 1: 6.5: 0.5 และ 1: 6.4: 0.6 โดยน้ำหนักอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก.58

จากผลการทดสอบ พบว่า อัตราส่วนของผงเซรามิกเหลือทิ้งที่ดีที่สุดสำหรับผสมลงในคอนกรีตบล็อก คือ อัตราส่วน 1: 6.7: 0.3 ซึ่งปริมาณผงเซรามิกเหลือทิ้งที่เหมาะสม สามารถลดความหนาแน่นหรือน้ำหนักต่อก้อนให้ต่ำลงได้ รวมทั้งช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนป้องกันความ เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป อย่างไรก็ตาม การผสมปริมาณผงเซรามิกเหลือทิ้งที่มากเกินไป มีผลทำให้สมบัติทางกลต่ำกว่าที่มาตรฐาน มอก.58 กำหนด

คำสำคัญ: ผงเซรามิกเหลือทิ้ง คอนกรีตบล็อก อุณหภูมิ อาคาร

Abstract

The objectives of this research are to study the production step, proper ratio, physical properties, mechanical properties and thermal insulation of concrete blocks mixed with waste ceramic powder. The ratios of concrete block mixed with waste ceramic powder include Portland cement type1: quarry dust: waste ceramic powder equal to1: 6.8: 0.2, 1: 6.7: 0.3, 1: 6.6: 0.4, 1: 6.5: 0.5 and 1: 6.4: 0.6 by weight. Water per cement ratio are 0.6 by weight. The concrete block samples were casted by the general production as same as the ordinary concrete blocks and were tested follow TIS.58. From the results, the best amount of waste ceramic powder which put into concrete block is 1: 6.7: 0.3 of ratio. The proper ratios of waste ceramic powder can decrease the density or weight, and increase the thermal insulation efficiency of concrete blocks. However, the high volume of waste ceramic powder effects to decrease the mechanical properties of concrete blocks to lower than TIS.58 standard.

Keywords: Waste Ceramic Powder, Concrete Block, Temperature, Building

1. บทนำ

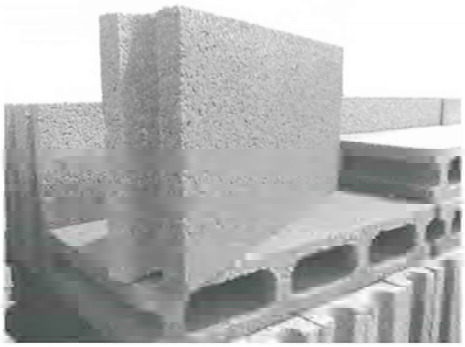
อาคารเขียว คือ อาคารที่ให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคารในการใช้ทรัพยากร เช่น พลังงาน น้ำ และวัสดุ ในขณะเดียวกันก็ลดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคารและสิ่งแวดล้อมตลอดอายุอาคาร ด้วยการเลือกที่ตั้งอาคาร ออกแบบ ก่อสร้าง ใช้งาน บำรุงรักษาและรื้อถอน ที่ดีกว่าในอดีต [1] [2] ปัจจุบันหลายประเทศได้ให้ความสนใจในเรื่องอาคารเขียวกันมากขึ้น โดยในหลาย ๆ ประเทศได้มีหน่วยงานหรือสถาบันที่ออกเกณฑ์และให้การรับรองอาคารเขียว เช่น สหรัฐอเมริกา มีเกณฑ์ LEEDS โดย U.S. Green Building Council (USGBC) ดังภาพที่ 1 อังกฤษมี BREEAM เยอรมนีมี The German Sustainable Building Council นอกจากนี้ยังเป็นที่แพร่หลายไปทั่วโลกรวมถึงกลุ่มประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น สิงคโปร์ มี BCA Green Mark มาเลเซียมี Green Building Index ฟิลิปปินส์ มี The Philippine Green Building Council (PHILGBC) และอินโดนีเซียมี Green Building Council Indonesia [3] สำหรับประเทศไทยอาคารเขียว ก็เริ่มเข้ามามีบทบาทและกำลังเป็นกระแสที่ภาครัฐเข้ามาให้การสนับสนุน เริ่มจาก พ.ศ. 2535 ได้ออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ต่อมา พ.ศ. 2538 เริ่มก่อสร้างโครงการอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ ปี พ.ศ. 2545 ก่อตั้งกระทรวงพลังงาน ปี พ.ศ. 2551 กรมควบคุมมลพิษ เริ่มโครงการนำร่องสำหรับอาคารภาครัฐ ต่อมา พ.ศ. 2552 ออกกฎกระทรวงพลังงานเรื่องกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ. 2553 มีการก่อตั้งมูลนิธิอาคารเขียวไทย และในปี พ.ศ. 2556 ออกกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร [1]

ภาพที่ 1 *เครื่องหมายรับรองอาคารเขียวของประเทศสหรัฐอเมริกา*

การจะสอดรับนโยบายอาคารเขียวของภาครัฐที่กำลังเกิดขึ้นจึงควรเริ่มพัฒนาจากวัสดุก่อสร้างที่ใช้วัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ผลิตได้ในท้องถิ่น และมีคุณสมบัติที่เอื้อต่อการก่อสร้างอาคารเขียว ไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักวัสดุก่อสร้างที่เบา แข็งแรง ต้นทุนการผลิตต่ำ และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี [1] ทั้งนี้ จากการศึกษาเกี่ยวกับเศษวัสดุเหลือทิ้ง พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าการส่งออกมากกว่า 25,000 ล้านบาทต่อปี เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในการผลิตสูง ดังภาพที่ 2 โดยเฉพาะหากผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหาย จะต้องทำการบดย่อยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้เป็นเศษละเอียดและเผาด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น [4] เซรามิกเป็นวัสดุอนินทรีย์ (Inorganic) ที่โครงสร้างประกอบไปด้วยอะตอมของธาตุที่เป็นโลหะและอโลหะที่มีพันธะ Ionic และ Covalent ร่วมกัน มีคุณสมบัติมีความแข็งสูง (Hardness) มีความต้านทานต่อแรงกดได้ดี (Compressive Strength) เป็นฉนวนไฟฟ้า (Dielectric) เป็นฉนวนความร้อน (Thermal Insulation) จุดหลอมเหลวสูง ทนการกัดกร่อนจากสารเคมีได้ดี และน้ำหนักเบา [5]

ภาพที่ 2 *เศษผลิตภัณฑ์เซรามิกที่เสียหาย*

ทั้งนี้ หากมีการนำเศษเซรามิกเหลือทิ้งมาใช้ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก (Concrete Block) ดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการผลิตและใช้ในชุมชนต่าง ๆ ทั่วประเทศ ก็จะเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้วัสดุก่อสร้างที่เอื้อต่อนโยบายอาคารเขียวในด้านการใช้วัสดุก่อสร้างที่มีส่วนผสมของวัสดุรีไซเคิล (Recycled Content) ซึ่งมีอัตราการทำคะแนน ร้อยละ 78 และในด้านการใช้วัสดุที่ผลิตในท้องถิ่น (Regional Materials) ซึ่งมีอัตราการทำคะแนน ร้อยละ 89 ได้ [1] นอกจากนี้ คอนกรีตบล็อกที่ผสมเศษเซรามิก ก็มีความเป็นไปได้ที่จะมีน้ำหนักต่อก้อนที่เบา มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง โดยเฉพาะการผลิตคอนกรีตบล็อกในพื้นที่ที่มีโรงงานเซรามิกตั้งอยู่ จากการลดปริมาณเศษหินหรือวัสดุที่ขนส่งมาจากพื้นที่อื่นในกระบวนการผลิตได้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเศษเซรามิกเหลือทิ้ง จะมุ่งเน้นให้ตัวผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาสามารถใช้งานได้หลากหลายตามใช้มาตรฐาน มอก.58 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภทควบคุมความชื้น [6]



ภาพที่ 3 *ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างจำพวกคอนกรีตบล็อก*

โครงการ “ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเศษเซรามิกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการก่อสร้างอาคารเขียว” เป็นการนำเศษเซรามิกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีคุณสมบัติดีและต้นทุนการผลิตต่ำ เพื่อส่งเสริมให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่สอดคล้องกับนโยบายอาคารเขียวที่กำลังเป็นกระแสและทวีความสำคัญมากยิ่งขึ้น ทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้วิสาหกิจชุมชนมีรายได้จากการผลิตวัสดุก่อสร้างที่สามารถผลิตได้ภายในท้องถิ่นด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเศษเซรามิกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการก่อสร้างอาคารเขียว

2.2 เพื่อส่งเสริมให้มีการนำเศษเซรามิกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมไปใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาสำหรับการก่อสร้างอาคารเขียว

2.3 เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนนโยบายการก่อสร้างอาคารเขียวภายในประเทศไทย

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

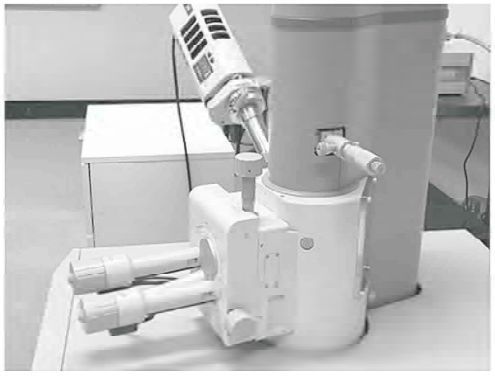
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 2) หินฝุ่น หรือฝุ่นหินปูนที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 3) เศษเซรามิกจากการบดสุขภัณฑ์ที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 *ขนาดและลักษณะของเศษเซรามิก*

4) น้ำประปา 5) เครื่องผสมคอนกรีต 6) เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบสั่นเขย่าพร้อมแบบหล่อคอนกรีตบล็อก แบบช่องวงกลม 5 ช่อง ขนาด 70 x 190 x 390 มิลลิเมตรดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 *เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบสั่นเขย่า*

7) แท่นพลิกคอนกรีต พร้อมแผ่นรองคอนกรีตบล็อก 8) เครื่องชั่งน้ำหนัก 9) ตู้อบปรับอุณหภูมิได้ 10) ตะแกรงร่อนขนาดเบอร์ 4 และ 325 เมช 11) ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำการหดตัวแห้ง 12) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พร้อมเครื่องเคลือบอิริเดียมแบบสุญญากาศ 13) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) 14) เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์(X-Ray Fluorescence, XRF)



ภาพที่ 6 *กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด*

3.2 การออกแบบส่วนผสมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หินฝุ่น เถ้ากะลามะพร้าว และน้ำประปา จำนวน 5 อัตราส่วน โดยทำการแทนที่หินฝุ่นด้วยเศษเซรามิกจากปริมาณน้อยเพิ่มขึ้นไปจนถึงปริมาณมากดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกโดยน้ำหนัก

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	หินฝุ่น	เศษเซรามิก	น้ำประปา
A2	1	6.8	0.2	0.6
A3	1	6.7	0.3	0.6
A4	1	6.6	0.4	0.6
A5	1	6.5	0.5	0.6
A6	1	6.4	0.6	0.6

3.3 การขึ้นภาพตัวอย่าง ทำการขึ้นรูปชิ้นตัวอย่างการทดสอบทั้งหมด ตามมาตรฐาน มอก.58 เรื่องคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก [6] ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1) ร่อนเศษเซรามิกให้มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4

2) ชั่งส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกตามอัตราส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

3) ผสมปูนซีเมนต์และเศษเซรามิกที่ผ่านการร่อนแล้วให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมคอนกรีต

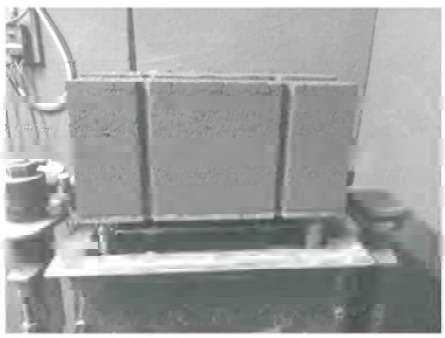
4) แบ่งน้ำประปาออกเป็น 2 ส่วน จากนั้นเติมน้ำประปาส่วนที่ 1 ลงในส่วนผสมแล้วผสมให้ส่วนผสมเข้ากัน

5) ทยอยเทหินฝุ่นลงในส่วนผสมพร้อมกับทยอยเติมน้ำประปาส่วนที่ 2 และผสมจนส่วนผสมเข้ากันทั้งหมด

6) นำส่วนผสมที่ผสมเข้ากันดีแล้ว ไปเทใส่ในแบบของเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกจนเต็ม

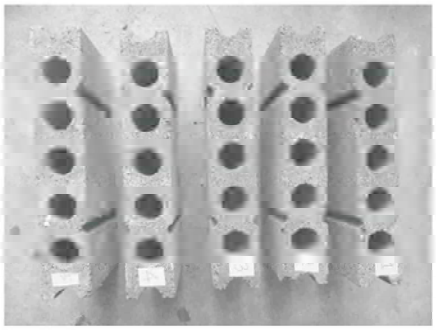
7) อัดส่วนผสม พร้อมทั้งทำการสั่นเขย่า ได้คอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกที่มีรูปทรงและขนาดตามแบบ

8) นำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกออกจากเครื่องอัดแล้วใช้แท่นพลิกคอนกรีตบล็อก เพื่อทำการถอดแบบดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 *คอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกที่อัดจนมีรูปร่างตามต้องการ*

9) ภายหลังจากก้อนคอนกรีตบล็อกแข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้นำคอนกรีตบล็อกที่ได้ไปกองบ่มในที่ร่มตามระยะเวลาที่ต้องการ 7, 14, 21 และ 28 วัน ดังภาพที่ 7 แล้วจึงนำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกไปทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ต่อไป



ภาพที่ 7 *การวางคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกเพื่อให้แข็งตัวก่อนการนำไปกองเก็บหรือบ่ม*

3.3 การทดสอบคุณสมบัติ ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก [6] และมาตรฐานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

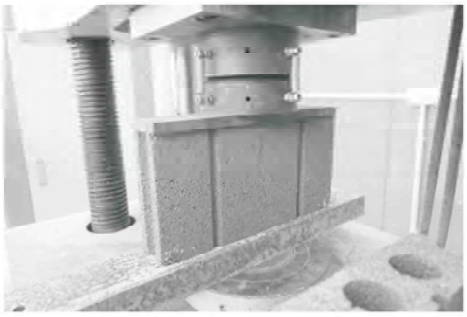
1) การทดสอบลักษณะโดยทั่วไปของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก

2) การทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก

3) การทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก

4) การทดสอบการหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก

5) การทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 *ลักษณะการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*

7) การทดสอบความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก

8) การทดสอบหาลักษณะการยึดเกาะระหว่างเศษเซรามิกและส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก โดยใช้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

9) การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกโดยใช้แผ่นคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกขนาด 300 x 300 x 15 มิลลิเมตร ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเดียวกัน ดังภาพที่ 9

ภาพที่ 9 *ลักษณะแผ่นของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกเพื่อใช้ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ*

10) การทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก โดยการก่อสร้างผนังจำลองจากคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกขนาด 4 x 2.5 เมตร

4. ผลการวิจัย

4.1ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเซรามิก ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของเศษเซรามิก โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์(XRF) สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเซรามิกจากการทดสอบด้วยเครื่อง XRF

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO_2	46.15
MgO	16.2
Al_2O_3	14.6
Fe_2O_3	12.3
CaO	0.55
K_2O	0.54
Na_2O	0.42
ZnO	0.31
MnO	0.24

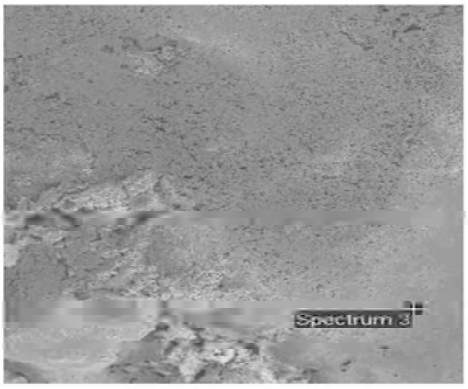
จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ผงเซรามิกมีองค์ประกอบทางเคมีหลัก 3 ลำดับแรก ประกอบด้วย ซิลิก้าหรือซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) มากที่สุด ร้อยละ 46.15 รองลงมาคือ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 16.2 อลูมินาหรืออลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 14.6 องค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวมีผลต่อคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิก โดยเฉพาะซิลิก้า (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ในปูนซีเมนต์ได้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกตโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลานิกของซิลิคอนไดออกไซด์ จะได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ส่วนอลูมิเนียมออกไซด์ จะได้แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($C_3A_2H_3$) [7] ดังสมการที่ 1 และ 2

$$2SiO_2 + 3Ca(OH)_2 \xrightarrow{H_2O} 3CaO.2SiO_2.3H_2O \quad (1)$$

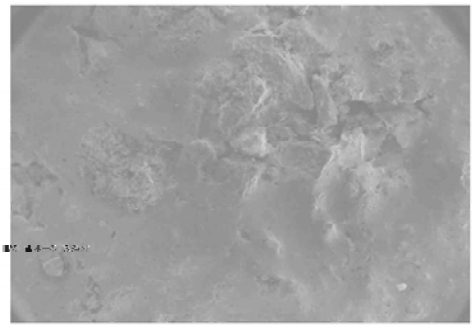
$$2Al_2O_3 + 3Ca(OH)_2 \xrightarrow{H_2O} 3CaO.2SiO_2.3H_2O \quad (2)$$

ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($C_3A_2H_3$) ที่ได้เพิ่มเติมจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก จะช่วยพัฒนาคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงอัดให้กับผลิตภัณฑ์จำพวกคอนกรีตหรือคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกได้ อย่างไรก็ตาม วัสดุปอซโซลานที่เหมาะสำหรับทำปฏิกิริยาปอซลโซลานิกตามมาตรฐาน ASTM C618 [13] ต้องเป็นวัสดุที่มีความละเอียดมาก (ผ่านตะแกรงเบอร์ 325) แต่สำหรับเศษเซรามิกที่นำมาใช้ในโครงการนี้จะมีขนาดปะปนกัน โดยทั้งหมดจะเป็นเศษเซรามิกที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ซึ่งใหญ่กว่าที่มาตรฐานกำหนด แต่ด้วยลักษณะของเศษเซรามิกส่วนใหญ่จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ หากทำการแยกให้มีเฉพาะผงเซรามิกขนาดเล็กจะทำให้ไม่สามารถนำเศษเซรามิกทั้งหมดมาใช้ประโยชน์ได้ (ปริมาณเศษเซรามิกที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 325 มีเพียง ร้อยละ 5.61 ของปริมาณเศษเซรามิกทั้งหมด)

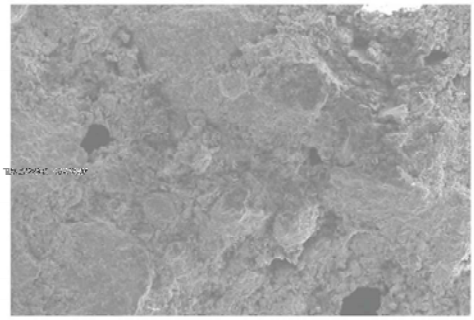
4.2 ภาพขยายของเถ้ากะลามะพร้าวและคอนกรีตบล็อก ลักษณะของเศษเซรามิกและคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกจากภาพขยายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 10 ถึงภาพที่ 12



ภาพที่ 10 *ภาพขยายเศษเซรามิกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด*



ภาพที่ 11 *ภาพขยายเศษเซรามิกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดผงเซรามิกเกาะตัว ที่กำลังขยาย 50 เท่า*

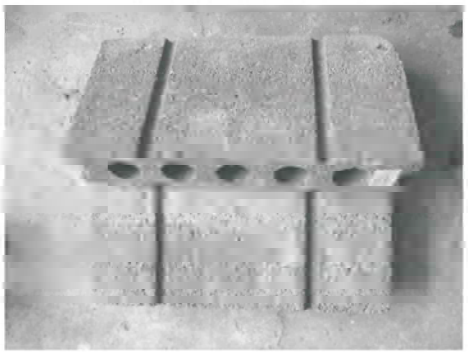


ภาพที่ 12 *ภาพขยายคอนกรีตบล็อกเศษเซรามิกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 100 เท่า*

จากภาพที่ 10 ภาพที่ 11 และ ภาพที่ 12 แสดงภาพขยายเศษเซรามิกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 และ 100 เท่า พบว่า เศษเซรามิกมีลักษณะขรุขระ พื้นผิวมีช่องว่างจำนวนมาก เมื่อผสมเข้า

กับปูนซีเมนต์ หินฝุ่น และน้ำแล้ว จะสามารถยึดเกาะเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ดี โดยไม่มีการหลุดร่อนของผงเศษเซรามิก ดังภาพที่ 12

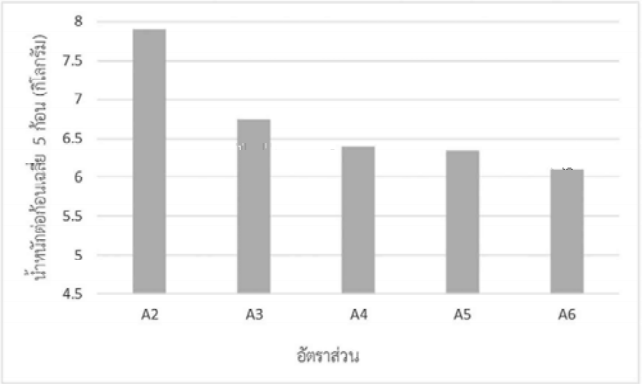
4.3 ลักษณะโดยทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ลักษณะโดยทั่วไปของคอนกรีตบล็อกทุกก้อนตามที่มาตรฐาน มอก.58 กำหนด จะต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว และมีพื้นผิวที่เหมาะต่อการยึดเกาะของปูนฉาบซึ่งผลการพิจารณาลักษณะโดยทั่วไปของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 *คอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกที่อัดจนมีรูปร่างตามต้องการ*

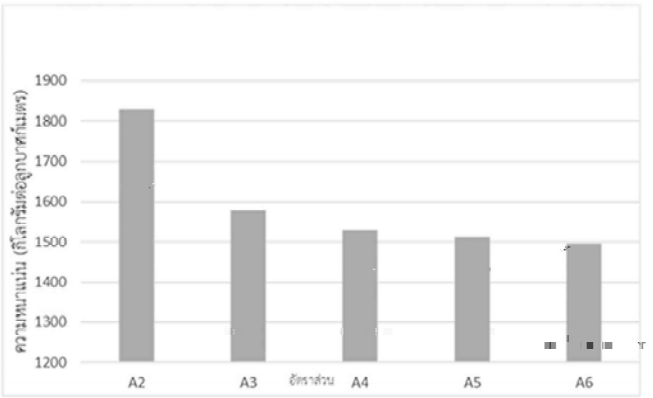
จากภาพที่ 13 พบว่า คอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกทุกอัตราส่วนมีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีรอยบิ่นหรือร้าว และส่วนผิวของคอนกรีตบล็อกทั้งหมดมีความหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้ดี จากผลการพิจารณาดังกล่าวแสดงว่า การผสมผงเซรามิกลงในคอนกรีตบล็อก ไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะที่ต้องการด้านลักษณะโดยทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ตามที่มาตรฐาน มอก.58 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักกำหนด

4.4 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก โดยคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่นสูง จะมีน้ำหนักต่อก้อนมาก และคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่นต่ำ ก็จะมีน้ำหนักต่อก้อนน้อยตามไปด้วย ซึ่งผลการทดสอบน้ำหนักต่อก้อนเฉลี่ย 5 ก้อนและความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกทุกอัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 *ผลการทดสอบน้ำหนักเฉลี่ย 5 ก้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*

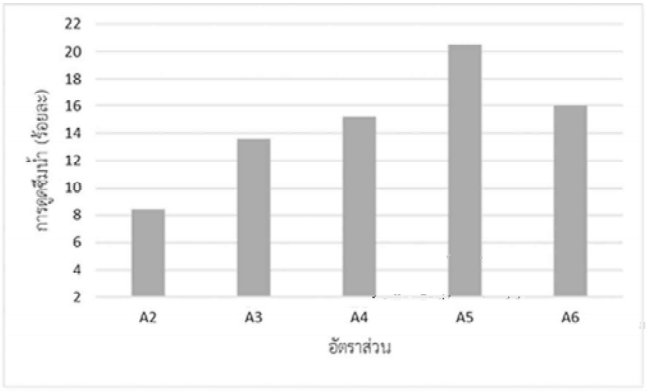
น้ำหนักเฉลี่ย 5 ก้อนของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิก ในภาพที่ 14 พบว่า คอนกรีตบล็อกดังกล่าวมีน้ำหนักต่อก้อนอยู่ระหว่าง 6.2-7.89 กิโลกรัม ซึ่งเบากว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่มีน้ำหนักประมาณ 8-10 กิโลกรัมต่อก้อน ทั้งนี้คอนกรีตบล็อกที่ผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งในปริมาณมาก จะมีแนวโน้มของน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมผงเซรามิกน้อย โดยผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกแต่ละอัตราส่วน มีดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 *ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้ง*

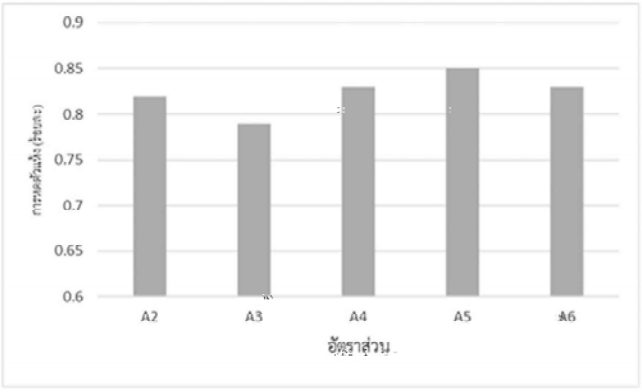
จากภาพที่ 15 พบว่า คอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิก อัตราส่วน A2 มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน A3, A4, A5 และ A6 มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดตามลำดับ โดยทั้งหมดมีแนวโน้มต่ำกว่าคอนกรีตและ

คอนกรีตบล็อกทั่วไป (คอนกรีตทั่วไป 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและคอนกรีตบล็อกทั่วไป 1,900-2,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะของผงเซรามิกที่มีช่องว่างภายในเนื้อจำนวนมาก [8] [12] ดังเห็นได้จากภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในภาพที่ 10 และภาพที่ 11 นอกจากนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะของผงเซรามิก ยังมีค่าต่ำเพียง 1.9 ถึง 2.3 ในขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และหินฝุ่น เป็นวัสดุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 3.15 และ 2.72 ตามลำดับ [7] [9] [12]



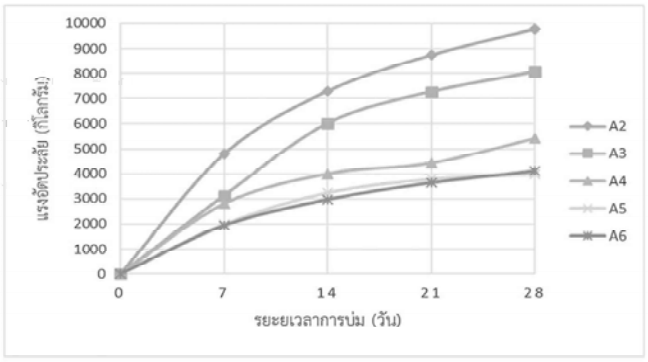
ภาพที่ 16 *ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*

4.5 การดูดซึมน้ำและการหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อก คอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก ทั้ง 5 อัตราส่วน มีค่าการดูดซึมน้ำหรือค่าการดูดกลืนน้ำแตกต่างกัน โดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังภาพที่ 16 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก พบว่า ปริมาณเศษเซรามิกมีผลต่อการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับน้ำหนักต่อก้อนและสมบัติด้านความหนาแน่นที่ความพรุนและขนาดของเศษเซรามิกมีผลต่อสมบัติดังกล่าวซึ่งคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกในปริมาณมากจะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณเศษเซรามิกน้อย โดยคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกอัตราส่วน A6 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน A5, A4, A3 และ A2 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด ตามลำดับเป็นผลมาจากลักษณะของเศษเซรามิกที่มีความพรุนสูง (ภาพที่ 10,11 และ 12) จะทำให้เกิดการดูดซึมน้ำเข้าไปในเนื้อเศษเซรามิกได้ง่าย ซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกันกับการผสมเถ้าชีวมวลชนิดอื่น ๆ [7] [12] ทั้งนี้ การดูดซึมน้ำเป็นสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่แสดงถึงความสามารถในการก่อ-ฉาบของคอนกรีตบล็อก โดยคอนกรีตบล็อกที่เหมาะสำหรับนำไปใช้ในงานก่อสร้างอาคารควรมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำเนื่องจากคอนกรีตบล็อกที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงจะมีผลต่อปัญหาการแตกร้าวของปูนก่อ-ฉาบ เพราะการสูญเสียน้ำจากปูนมอร์ต้าร์ (ปูนซีเมนต์ ผสมทรายและน้ำ) ไปยังคอนกรีตบล็อกมาก ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) ของปูนซีเมนต์และน้ำไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นรอยร้าวตั้งแต่ขนาดเล็กที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ไปจนถึงรอยร้าวขนาดใหญ่ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า [9] ทั้งนี้การดูดซึมน้ำตามมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (มอก.58) ต้องไม่เกิน ร้อยละ 25 เมื่อคอนกรีตบล็อกมีค่าการหดตัวมากกว่า ร้อยละ 0.045 ดังภาพที่ 17 รวมทั้งมีความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยน้อยกว่าร้อยละ 50 (เป็นค่าการดูดซึมน้ำที่กำหนดไว้ต่ำที่สุดของมาตรฐาน)[6] เห็นได้ว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมเศษเซรามิกทุกอัตราส่วนยังคงมีค่าการดูดซึมน้ำเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด สามารถนำไปใช้ก่อสร้างเป็นผนังก่อ-ฉาบได้โดยไม่เกิดปัญหาการแตกร้าวที่ปูนก่อ-ฉาบ

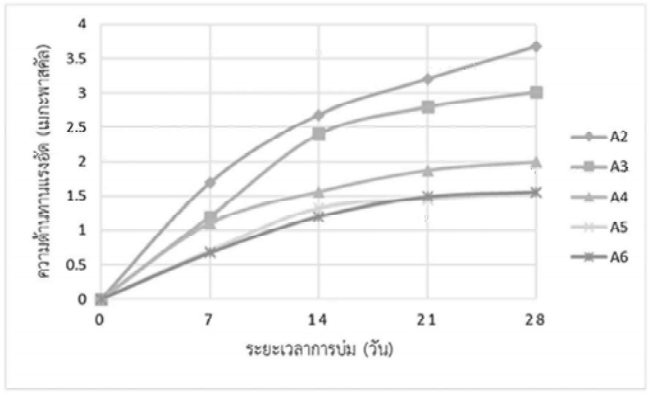


ภาพที่ 17 *ผลการทดสอบการหดตัวทางยาวของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*

4.6 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกทุกอัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 18 และภาพที่ 19



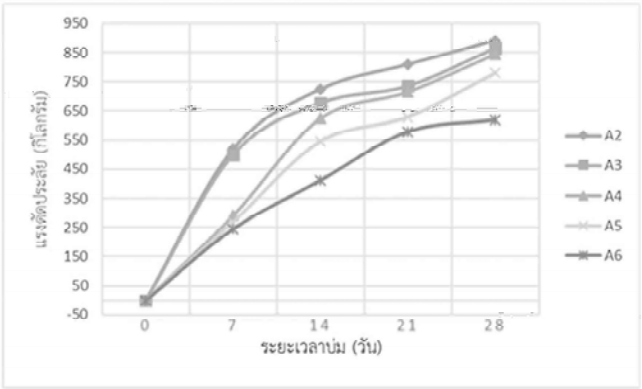
ภาพที่ 18 *ผลการทดสอบแรงอัดประลัยของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*



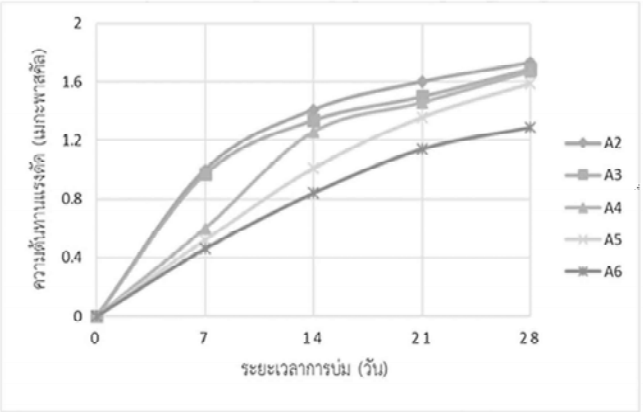
ภาพที่ 19 *ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*

จากภาพที่ 18 และภาพที่ 19 พบว่า แรงอัดประลัยและความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งอัตราส่วน A2 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน A3, A4, A5 และ A6 มีค่าแรงอัดประลัยและความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ จากค่าดังกล่าวสรุปได้ว่า ปริมาณของผงเซรามิกที่มากขึ้น มีผลทำให้ความต้านทานแรงอัดลดต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากลักษณะของผงเซรามิกเหลือทิ้งที่มีช่องว่างภายในเนื้อค่อนข้างมากเมื่อผสมลงในคอนกรีตบล็อกจึงทำให้พื้นที่รับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกลดลง [12] นอกจากนี้ ผงเซรามิกเหลือทิ้งที่ผสมลงไปในเนื้อคอนกรีตบล็อก ยังมีความแข็งแรงต่ำกว่าหินฝุ่นหรือปูนซีเมนต์โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้ง ตามมาตรฐาน มอก.58 ที่กำหนดให้ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก ต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 เมกะพาสคัลหรือประมาณ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อเฉลี่ย 5 ก้อน ต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัลหรือประมาณ 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร [6] พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกอัตราส่วน A2 และ A3 สามารถผ่านค่าที่มาตรฐานกำหนดได้

4.7 ความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตบล็อก สำหรับความต้านทานแรงดัดหรือโมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีประโยชน์ต่อการนำมาใช้งาน โดยเฉพาะการนำไปก่อสร้างเป็นผนังซึ่งมีระดับหรือส่วนฐานรองรับผนังไม่เท่ากันซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวสามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 20 และภาพที่ 21



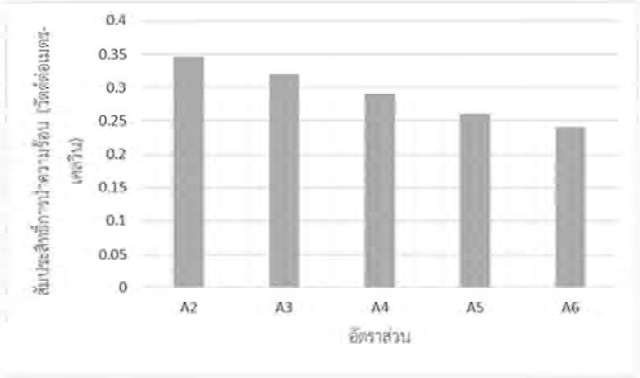
ภาพที่ 20 *ผลการทดสอบแรงดัดประลัยของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*



ภาพที่ 21 *ผลการทดสอบโมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*

จากภาพที่ 20 และภาพที่ 21 พบว่า ค่าแรงดัดประลัยและค่าโมดูลัสการแตกหักหรือความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้ง มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความต้านทานแรงอัด กล่าวคือ เมื่อคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งจะทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดลดลง ซึ่งก็เป็นผลมาจากลักษณะของผงเซรามิกเช่นเดียวกับคุณสมบัติอื่น ๆ

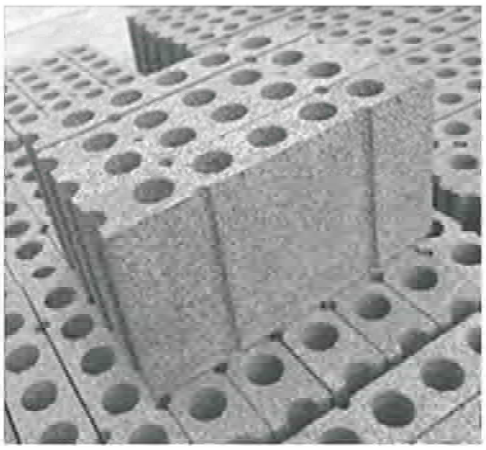
4.8 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกสามารถวัดค่าได้ด้วยสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ซึ่งสามารถสรุปผลได้ ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 *ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก*

จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งที่อัตราส่วนต่าง ๆ รวม 5 อัตราส่วน ดังภาพที่ 22 พบว่า ผงเซรามิกที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อกมีผลต่อการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือกล่าวได้ว่าผงเซรามิกมีผลทำให้คอนกรีตบล็อกดังกล่าวมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้น เนื่องจากผงเซรามิกเหลือทิ้งเป็นวัสดุที่มีความพรุนของเนื้อหรือช่องว่างจำนวนมาก ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี [11,12] โดยคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งอัตราส่วน A6 ซึ่งมีปริมาณผงเซรามิกมากที่สุดเป็นคอนกรีตบล็อกที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน A5, A4, A3 และอัตราส่วน A2 ซึ่งมีปริมาณผงเซรามิกน้อยที่สุด เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ

4.9 การใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อก จากการคัดเลือกคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งอัตราส่วน A3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติผ่านตามมาตรฐาน มอก.58 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก กำหนดมาทำการทดลองก่อสร้างเป็นผนังอาคารขนาด 4x2.5 ตารางเมตร ซึ่งเป็นวิธีการใช้งานคอนกรีตบล็อกที่นิยมมากที่สุดเก็บข้อมูลการก่อสร้างทุกขั้นตอนพร้อมทั้งพิจารณาการแตกร้าวของปูนฉาบที่ฉาบลงบนคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถสรุปผลการใช้งานได้ ดังภาพที่ 23 และภาพที่ 24



ภาพที่ 23 *คอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งที่เตรียมรอไว้เพื่อก่อกำแพงทดสอบ*

ภาพที่ 24 *การก่อและยึดคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งเป็นผนังด้วยปูนก่อ*

ภาพที่ 25 *ลักษณะการเรียงตัวแบบไม่เสมอกันของผนังจากคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้ง*

ภาพที่ 26 *ลักษณะของผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกชนขอบเฟรม*

ภาพที่ 27 *ลักษณะของผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกที่ฉาบด้วยปูนฉาบแล้ว*

จากภาพที่ 23 ถึงภาพที่ 27 พบว่า คอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกอัตราส่วน A3 สามารถนำใช้ก่อสร้างเป็นผนังอาคารได้ดีเช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป โดยผิวที่ขรุขระของคอนกรีตบล็อกมีส่วนช่วยให้การยึดเกาะของปูนฉาบมีความแน่นหนาดีตามมาตรฐาน [6] ส่วนค่าการดูดซึมน้ำหรือการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกที่ต่ำก็ทำให้ผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกนี้ไม่เกิดปัญหาการแตกร้าวของปูนฉาบ และได้ผนังที่มีความเรียบและสวยงาม สำหรับความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกนี้ก็มีค่าสูงมากเพียงพอต่อการใช้งานและรับน้ำหนักโครงสร้างผนังได้ดี ตลอดจนการแบ่งก้อนคอนกรีตบล็อกให้มีขนาดเล็กลงก็สามารถทำได้โดยการใช้ค้อนทุบเช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า คอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกอัตราส่วน A3 มีแนวโน้มนำไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ในส่วนของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ผ่านตามมาตรฐาน มอก.58 [6] ได้ดี

5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 คอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งสามารถใช้ขั้นตอนการผลิตและเครื่องจักรได้เช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป แต่จะมีขั้นตอนการคัดขนาดผงเซรามิกเหลือทิ้งเพิ่มเข้ามา โดยเริ่มจากการนำผงเซรามิกเหลือทิ้งมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 จากนั้น ผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ หินฝุ่น และนำเข้าเครื่องผสมคอนกรีตจนเข้ากัน แล้วจึงอัดขึ้นภาพเป็นคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบสั่นเขย่า บ่มทิ้งไว้ 28 วัน ได้คอนกรีตบล็อกที่มีคุณสมบัติตามที่มาตรฐาน มอก.58 [6] เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐาน

5.2 อัตราส่วนของผงเซรามิกเหลือทิ้งที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาเพื่อการประหยัดพลังงานคือ อัตราส่วน A3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณของผงเซรามิกสูงที่สุด ในขณะที่ยังมีคุณสมบัติผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.58 [6] กำหนด โดยอัตราส่วนผสม ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: หินฝุ่น: ผงเซรามิกเหลือทิ้ง: น้ำ เท่ากับ 1: 6.7: 0.3: 0.6 และมีคุณสมบัติได้แก่ ค่าความหนาแน่น 1,568.19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 13.39

การหดตัวแห้ง ร้อยละ 0.787 ความต้านทานแรงอัด 2.95 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดัด 1.76 เมกะพาสคัล สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.319 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน

5.3 สมบัติทางกายภาพมาตรฐาน มอก.58 [6] สมบัติทางกลและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก เมื่อมีการผสมผงเซรามิก พบว่า ปริมาณผงเซรามิกที่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยลดน้ำหนักต่อก้อนหรือความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกลง เพิ่มความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ซึ่งเป็นการพัฒนาคอนกรีตบล็อกให้มีน้ำหนักเบาและช่วยประหยัดพลังงานภายในอาคารได้ดี ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี [11] [12] อย่างไรก็ตาม ปริมาณของผงเซรามิกที่เพิ่มขึ้น กลับมีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้น และค่าความต้านทานแรงอัดและดัดที่ต่ำลง

5.4 คอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งอัตราส่วน A3 สามารถใช้ก่อสร้างเป็นผนังได้เช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป โดยสามารถก่อ-ฉาบได้โดยไม่มีปัญหาการแตกร้าว พื้นผิวยึดเกาะกับปูนฉาบได้ดี ทำให้ฉาบง่าย เรียบ โดยผิวที่ขรุขระของคอนกรีตบล็อกมีส่วนช่วยให้การยึดเกาะของปูนฉาบมีความแน่นหนาดีตามมาตรฐาน [6] ส่วนค่าการดูดซึมน้ำหรือการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกที่ต่ำก็ทำให้ผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกนี้ ไม่เกิดปัญหาการแตกร้าวของปูนฉาบและได้ผนังที่มีความเรียบและสวยงาม สำหรับความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมผงเซรามิกนี้ก็มีค่าสูงมาก เพียงพอต่อการใช้งานและรับน้ำหนักโครงสร้างผนังได้ดี รวมทั้งสามารถทุบแบ่งเป็นก้อนขนาดเล็กได้แบบคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของผงเซรามิกเหลือทิ้ง

ข้อเสนอแนะ

ส่วนผสมผงเซรามิกเหลือทิ้งกับอิฐบล็อกจากวัสดุเหลือทิ้งนี้ในส่วนของรูปทรงสามารถทำตัวบล็อกให้มีรูปทรงเหมาะแก่การใช้งานที่แตกต่างออกไป อีกทั้งยังสามารถผสมสีเพื่อให้เกิดสีสรรบนก้อนอิฐบล็อกที่หลากหลายเหมาะต่อการนำไปใช้งาน รวมถึงแนวทางพัฒนาการคัดเลือกวัสดุเหลือทิ้งอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงและต้นทุนต่ำหรือเหมาะสมจากวัสดุเหลือทิ้งมาเป็นส่วนผสมเพื่อลดน้ำหนักและมีความแข็งแรงไม่ลดความหนาแน่นของก้อนอิฐบล็อกลง ไปสู่กระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์ จากแหล่งวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2561 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] พันธุดา พุฒิไพโรจน์. (2557). เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่องการออกแบบและก่อสร้างอาคารเขียว ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED ณ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม วันที่ 29 เมษายน 2557. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[2] ณัฐพล เขตกระโทก. (2556). แนวทางการปรับปรุงอาคารตามมาตรฐานอาคารเขียว: กรณีศึกษา อาคารบรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[3] กัญญ์วรา นาคดิลก. (2554). การพัฒนาเกณฑ์การประเมินสมรรถนะอาคารเขียวในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีอาคาร มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

[4] มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2555). คู่มือ Lean Management for Environment สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก. มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

[5] สถาบันวิจัยวิจัยสังคม. (2545). โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาเซรามิกและแก้ว). รายงานการศึกษาฉบับสมบูรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), (2533). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[7] ชัย จาตุรพิทักษ์กุลและวีรชาติ ตั้งจิรภัทร. (2555). การใช้ประโยชน์จากเถ้าและวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุในงานคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[8] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. (2552). ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย อุตสาหกรรม จำกัด.

[9] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2555). ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร : สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.

[10] ดนุพล ตันนโยภาส. (2553). แร่และหิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[11] ธนัญชัย ปคุณวรกิจ พันธุดา พุฒิไพโรจน์วรธรรม อุ่นจิตติชัย และพรรณจิรา ทิศาวิภาต. (2549). ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 3(4): (119-126).

[12] ปราโมทย์ วีรานุกูลและกิตติพงษ์ สุวีโร. (2557). การใช้น้ำยางธรรมชาติพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมปาล์มน้ำมัน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 “เทคโนโลยีและนวัตกรรมสู่อาเซียน”. ระหว่างวันที่ 23-25 กรกฎาคม 2557 พระนครศรีอยุธยา: ณ วิทยาเขตหันตรา อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

[13] American Society for Testing and Materials (ASTM). (2014). Annual book of ASTM standards. ASTM. Philadelphia.