การใช้สุขภัณฑ์เซรามิกเหลือทิ้งใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ*

Utilization of Sanitary Ceramic Waste for Lightweight Concrete

Received: August 16, 2018
Revised: February 20, 2019
Accepted: February 25, 2019

นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล (Nipon Tanpaiboonkul)**
กนกวรรณ ศุกรนันทน์ (Kanokwan Sukaranandara)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำสุขภัณฑ์เซรามิกเหลือทิ้งหรือหมดอายุจากร้านค้ามาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนทรายในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศโดยมีอัตราส่วนผสมของชุดควบคุมได้แก่ ซีเมนต์, ปูนขาวและทรายละเอียด เท่ากับ 30:20:50 (โดยน้ำหนัก) ใช้สารเพิ่มฟองอากาศได้แก่ผงอลูมิเนียมและน้ำยาโฟม 0.1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่เหมาะสมซึ่งเท่ากับ 0.55 จากนั้นนำอัตราส่วนน้ำดังกล่าวไปศึกษาการใช้เซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดทดแทนทรายโดยออกแบบอัตราส่วนทราย : เซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด เท่ากับ 40:10, 35:15, 30:20, 25:25, 20:30, 15:35 และ 10:40 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ จากนั้นขึ้นรูปส่วนผสมในแบบหล่อคอนกรีตมวลเบาขนาด 150×150×150 ลูกบาศก์มิลลิเมตรก่อนนำไปบ่มที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก 2601 คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ จากการศึกษาโดยพิจารณาเกณฑ์มาตรฐาน มอก 2601-2556 ด้านความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่นเชิงปริมาตรและการดูดซึมน้ำ พบว่าอัตราส่วนที่มีการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด 30:20 (โดยน้ำหนัก) อายุบ่ม 28 วัน มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยพบค่าความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่นเชิงปริมาตรและการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 5.2 เมกะปาสคาล, 1235.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและ 19.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างงานผนังแบบไม่รับน้ำหนักในอาคารได้

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ, เซรามิก, การนำกลับไปใช้ใหม่

---

* เพื่อเผยแพร่งานวิจัยหลักสูตร วท.บ.เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำหลักสูตร วท.บ.เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(Assistant Professor, Department of Environment Technology, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahsarakham University) Corresponding author, Email: nipontan2000@yahoo.com, Tel.+6681-6214461

*** อาจารย์ประจำ หลักสูตร วท.บ.เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(Lecturer, Department of Environment Technology, Faculty of Environment and Resource Studies Mahsarakham University), Email: pinkdao_9@hotmail.com, +6681-6836098

Abstract

The purpose of this research is to study the use of expiry-ceramic sanitary waste, derived from commercial store, as an aggregate for sand substitution in lightweight concrete. For control treatment, these lightweight concrete produced from cement: lime: sand, ratio 30:20:50 by weight, were mixed with 0.1% aluminum powder and 2% liquid foam by weight. The result shows that suitable water/cement ratio for these control treatment is 0.55. In addition, the concrete were produced with various ceramic sanitary waste and sand ratio e.g. 40:10, 35:15, 30:20, 25:25, 20:30, 15:35 and 10:40 by weight followed casting these concrete in 150×150×150 mm. mold. The casted concrete was then curing for 7, 14 and 28 days. Compressive strength, water absorption and density of the concrete were determined in order to compare the TIS standard 2601-2556. According to the present study, the sample substituted sand with ground waste ceramic with the composition model of 30:20% by weight, under 28 days ages showed the lightweight concrete properties of compressive strength of concrete 5.2 MPa, volumetric density 1235.5 kilograms per cubic meter and water absorption 19.75 %, which compliance with TIS standard 2061-2556, this revealed that the expired or waste ceramic sanitary could be considered to use non structured load bearing construction, for example, building walls.

Keywords: Cellular Lightweight Concrete, Sanitary Ceramic Waste, Recycle

บทนำ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นหนึ่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้และทำลายทรัพยากรธรรมชาติเป็นอย่างมาก แต่ก็ยังคงมีความจำเป็นเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัย ตึก อาคาร และสำนักงานต่างๆ ซึ่งทิศทางของอุตสาหกรรมนี้ยังมีแนวโน้มที่ดีในอนาคต โดยศูนย์วิจัยกสิกรไทยได้วิเคราะห์การเติบโตของอุตสาหกรรมน่าจะยังเป็นงานก่อสร้างที่เกี่ยวเนื่องกับการลงทุนของภาครัฐ ซึ่งปี 2560 รัฐบาลให้ความสำคัญในการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ทั้งการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคม งานพัฒนาและซ่อมแซมแหล่งน้ำ การก่อสร้างอาคารและปรับปรุงสถานที่ราชการ สถานพยาบาลและสถานศึกษาของรัฐ ซึ่งจะส่งผลดีต่อผู้ประกอบการก่อสร้างในกลุ่มที่รับงานก่อสร้างโครงการภาครัฐด้วย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2560) ในส่วนของตลาดคอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบายังมีโอกาสเพิ่มสัดส่วนใช้งานเพื่อก่อสร้างผนังอาคารทดแทนการใช้อิฐมอญได้อีกมาก เนื่องจากคุณสมบัติที่มีความโดดเด่นมากกว่าหลายด้าน โดยเฉพาะด้านประหยัดพลังงาน ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการใช้อิฐมวลเบาในการนำไปใช้ก่อสร้างผนังอาคารมากยิ่งขึ้น (ผู้จัดการออนไลน์, 2559) เทคโนโลยีการผลิตอิฐมวลเบานั้นแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non-Autoclaved System) กับ ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) วัสดุที่ใช้มีส่วนผสมจากปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซั่ม น้ำและสารกระจายฟองอากาศ

เป็นต้น (นิตย์รดี ดอเล๊าะ, 2552) ในปัจจุบันพบว่ามีงานวิจัยหลายเรื่องที่มีการนำวัสดุทดแทนมาใช้ในการผลิตอิฐมวลเบาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้วัตถุดิบในการผลิตมาใช้วัสดุเหลือทิ้งทดแทนในบางส่วนเพื่อเป็นการลดปริมาณของของเสียและนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เช่น การนำยิปซัมเทียมหรือแคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต ($CaSO_4.2(H_2O)$) ที่เหลือจากกระบวนการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ของโรงไฟฟ้ากระบี่ (สุวัฒนา นิคม, กิตติภูมิ ศุภลักษณ์ปัญญา, และ สุภาพ บุญเรือง, 2554) การนำวัสดุเหลือทิ้งจากงานก่อสร้างมาทดแทนมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีต(บันทิต ทองคำ, 2557) การพัฒนาอิฐมวลเบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้ (ณัฐพัชร สืบบัวแก้ว, สมศักดิ์ มีเสถียรและธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา, 2555) การทำคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิก (สหเทพ ทองคล้าย และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์, 2554) และการใช้ผงยางรถยนต์แทนที่ทรายในการทำคอนกรีตมวลเบาจากเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินและปูนซีเมนต์เป็นต้น (ธรพร บุศย์น้ำเพชรและนิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล, 2559) หรือนอกจากนี้ยังมีการนำกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตสีน้ำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำบล็อกประสานได้อีกด้วย (พลวัต คงสรรค์เสถียร, นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล และอภิพงษ์ พุฒคำ, 2559) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการนำเอาวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์และทรายในการผลิตคอนกรีตสามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืนและยังใช้ต้นทุนต่ำด้วย

เครื่องสุขภัณฑ์จากเซรามิกหรือโถส้วมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยเซรามิก ทำจากวัสดุดินหรือวัสดุอนินทรีย์เผาที่อุณหภูมิสูงจนมีลักษณะแข็งแกร่งดูดซึมน้ำได้น้อย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554) ซึ่งในการผลิตนั้นย่อมเกิดของเสียที่ยากต่อการกำจัด ดังนั้นหากมีการนำของเสียเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่อาจส่งผลทำให้การใช้ทรัพยากรการผลิตเกิดประโยชน์สูงสุดได้ (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, ปราโมทย์ พูนนายม และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์, 2556) โดยทั่วไปเซรามิกมีความแข็งแรงสูงเมื่อรับแรงอัด มีความสามารถในการยืดตัวต่ำและแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่วัสดุอนินทรีย์พหุผลึกและผลึกเดี่ยว แก้วอนินทรีย์อสัณฐานหรือแก้วเซรามิก เป็นต้น (Donald และPradeep, 2553)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการนำสุขภัณฑ์เซรามิกเหลือทิ้งมาใช้เป็นส่วนผสมแทนทรายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศร่วมกับผงอลูมิเนียมโดยไม่อบไอน้ำก่อนนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 2601-2556 คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556)

วิธีการศึกษา

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตรานกอินทรีย์, น้ำสะอาดโดยใช้น้ำประปา, สุขภัณฑ์เซรามิกเหลือทิ้ง ทรายแม่น้ำแบบละเอียดขนาดอนุภาค 0.5 มิลลิเมตร ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 35 สารลดแรงตึงผิว (Sodium Lauryl Sulfate) หรือน้ำยาโฟม จากบริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์เปอเรชั่น จำกัด, ผงอลูมิเนียมละเอียด 99.8 เปอร์เซ็นต์ และปูนขาวเกรดพิเศษ (Hydrated lime Grade A) ของบริษัท Thai Poly Chemicals Co.,Ltd.

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 6 Number 1 January – February 2019 ISSN 2408 - 1248

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องผสมคอนกรีต ยี่ห้อ DESCRIPTION รุ่น CM140-H, แบบอัดบล็อกขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร, เครื่องอัดอากาศ จากบริษัท TIGER INDUSTRIAL ยี่ห้อ TIGER รุ่น PUMA ความดัน 4 - 6 บาร์, เครื่องบดตัวอย่าง Los Angeles Abrasion Machine, เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต K.THAITHAMRONG ENGINEERING LTD,PART. ขนาด 1000 kN, ชุดตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ, เตาอบ (Hot Air Oven), ถังน้ำ, เครื่องชั่งดิจิตอล 1 ตำแหน่งยี่ห้อ e-Scale และเกรียงเหล็ก

การเตรียมการทดลอง

จัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ นำทรายไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 35 และสุขภัณฑ์เซรามิกเหลือทิ้งนำมาจากร้านค้าวัสดุก่อนสร้างไปบดด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion Machine (แสดงดังภาพที่ 1) ก่อนนำมาร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 35 เตรียมน้ำยาโฟมโดยใช้น้ำสะอาดปริมาณ 1000 มิลลิลิตร ผสมสารลดแรงตึงผิว (SLS) 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ คนให้สารลดแรงตึงผิวละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกันเป็นน้ำยาโฟมต้นแบบ บรรจุน้ำยาโฟมลงในเครื่องกำเนิดโฟม หลังจากนั้นเติมน้ำสะอาดลงไปผสมกับน้ำยาโฟมในเครื่องกำเนิดโฟมในอัตราส่วนน้ำยาโฟมต่อน้ำสะอาด (10 มิลลิลิตร : 100 มิลลิลิตร) ก่อนนำไปฉีดในส่วนผสมของคอนกรีดมวลเบาโดยต่อเข้ากับปั๊มลม (เจตนรินทร์ ทองเพ็ญ และรังษินี รัตน์เจริญฤทธิ์, 2555)

การออกแบบส่วนผสมมี 2 ขั้นตอน ได้แก่ศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมเป็นการทดลองที่ 1 โดยแปรเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานตั้งแต่ 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65 และ 0.70 โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์: ปูนขาว: ทราย เท่ากับ 30:20:50 เพิ่มปริมาณฟองอากาศด้วยผงอลูมิเนียมและน้ำยาโฟม 0.1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการศึกษาขั้นตอนที่ 1 เลือกปริมาณน้ำที่ 0.55 ไปทดลองขั้นตอนที่ 2 ต่อไปโดยนำเซรามิกเหลือทิ้งมาทดแทนทรายที่อัตราส่วนแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ตามลำดับ

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. ผสมส่วนผสมแห้งของวัสดุตามที่ได้ออกแบบจากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมจากนั้นค่อยๆ เทน้ำและตามด้วยโฟมลงไปตามอัตราส่วนที่กำหนด ตามลำดับ กวนผสมจนกว่าส่วนผสมกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

2. เทส่วนผสมในแบบหล่อขนาด 15X15x15 เซนติเมตร ให้เต็ม นำแบบวางบนเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 60 นาที เพื่อให้ส่วนผสมขยายตัว ปาดส่วนที่ขยายล้นแบบหล่อออก ปล่อยให้ก้อนตัวอย่างเซตตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยหุ้มก้อนตัวอย่างตลอดเวลาด้วยถุงพลาสติกสีดำ

3. ถอดบล็อกตัวอย่างออก บ่มตามกำหนดระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน โดยตลอดระยะเวลาบ่มใช้ถุงพลาสติกห่อหุ้มตลอดเวลา ก่อนนำไปทดสอบด้วยวิธีมาตรฐานต่อไป โดยขั้นตอนการทดลองแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 1 ลักษณะของเซรามิกหลังจากบดด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion Machine

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักและปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน(W/C) ที่เหมาะสม

ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	ทราย	โฟม (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก)	ผงอลูมิเนียม (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
30	20	50	2	0.1	0.40
30	20	50	2	0.1	0.45
30	20	50	2	0.1	0.50
30	20	50	2	0.1	0.55
30	20	50	2	0.1	0.60
30	20	50	2	0.1	0.65
30	20	50	2	0.1	0.70

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักเมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกเหลือทิ้ง

ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	ทราย	เซรามิก	โฟม (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก)	ผงอลูมิเนียม (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์*
30	20	50	-	2	-	0.55
30	20	50	-	2	0.1	0.55
30	20	40	10	2	0.1	0.55
30	20	35	15	2	0.1	0.55
30	20	30	20	2	0.1	0.55
30	20	25	25	2	0.1	0.55
30	20	20	30	2	0.1	0.55
30	20	15	35	2	0.1	0.55
30	20	10	40	2	0.1	0.55

*ปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองที่ 1

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 6 Number 1 January – February 2019 ISSN 2408 - 1248

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสมและก้อนตัวอย่างขึ้นรูปแล้ว

1. การทดสอบวัสดุผสม

ทดสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิกเหลือทิ้งและทรายที่ใช้ทดลอง ได้แก่ การกระจายขนาดของอนุภาคและโมดูลัสความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C136-05 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C 128-15 โดยการศึกษากระจายของขนาดอนุภาควัสดุใช้ตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 ตามลำดับ คำนวนค่าโมดูลัสความละเอียด (Finesse Modulus, FM) จากสมการ

$$FM = \frac{\text{ผลรวมร้อยละสะสมของอนุภาคบนตะแกรง}}{100} \qquad (1)$$

ซึ่งค่าโมดูลัสความเอียด คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของวัสดุโดยคำนวนจากสมการที่ (1) เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย บ่งบอกว่าลักษณะทรายนั้นหยาบหรือละเอียด สามารถใช้ควบคุมความสม่ำเสมอของมวลรวมที่ผลิตจากแหล่งเดียวกัน โดยทรายที่มี FM สูง เป็นทรายที่มีความหยาบมาก ดังนั้นทรายที่เหมาะสำหรับผลิตคอนกรีตควรมีค่า FM อยู่ระหว่าง 2.3-3.2 (C-PAC Concrete Academy)

2. การทดสอบคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556

2.1 การทดสอบค่าความต้านแรงอัด (Compressive Strength) โดยนำตัวอย่างที่บ่มตามระยะเวลาต่างๆ มาทดสอบโดยทำผิวของตัวอย่างให้เรียบก่อนวางก้อนตัวอย่างให้ตรงจุดกึ่งกลางแป้นทดสอบและเลื่อนแป้นให้ติดกับผิวตัวอย่างเพิ่มแรงอัดในอัตราส่วนที่สม่ำเสมอ จากนั้นบันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่อ่านค่าได้จากเครื่องทดสอบขนาด 1000 kN จากนั้นคำนวนและรายงานผลค่าความต้านทานแรงอัดในหน่วยเมกกะปาสคาล (MPa) ดังภาพที่ 1 (ง)

2.2 ทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) นำชิ้นทดสอบ 3 ชิ้น ไปอบในตู้อบให้แห้งเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105±5 องศาสเซลเซียส ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นชั่งมวลแต่ละก้อนเป็นมวลชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วยกออกใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ดที่ผิวทีละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาที ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาอัตราการดูดซึมน้ำจากสมการ

$$A = \frac{(m2-m1)x100}{m1} \qquad (2)$$

เมื่อ A คือ อัตราการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์), m_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง (กรัม) และ m_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบเมื่อเปียก (กรัม)

2.3 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Density) นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการบ่มจำนวน 3 ชิ้น วัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวนค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าจากสมการ

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad (3)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), m คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ (กิโลกรัม) และ v คือปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. สมบัติเชิงกลและสมบัติกายภาพของวัสดุ

จากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของทรายและเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด ได้แก่ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และการกระจายขนาดอนุภาคนั้นพบว่าค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและเซรามิกมีค่า 1.04 และ 2.17 ตามลำดับ จากข้อมูลสามารถกล่าวได้ว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิดที่นำมาศึกษานี้ ทรายที่นำมาใช้งานมีความละเอียดมากกว่าเศษเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด (CPAC Concrete Technology, 2543) นอกจากนี้ค่าความถ่วงจำเพาะของทรายและเซรามิกมีค่า 2.58 และ 2.36 และมีการดูดซึมน้ำ 0.74 และ 0.54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซรามิกเหลือทิ้งที่นำมาใช้ในงานนี้เป็นวัสดุที่เบากว่าทรายและดูดซึมความชื้นน้อยกว่าทราย

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของวัสดุ

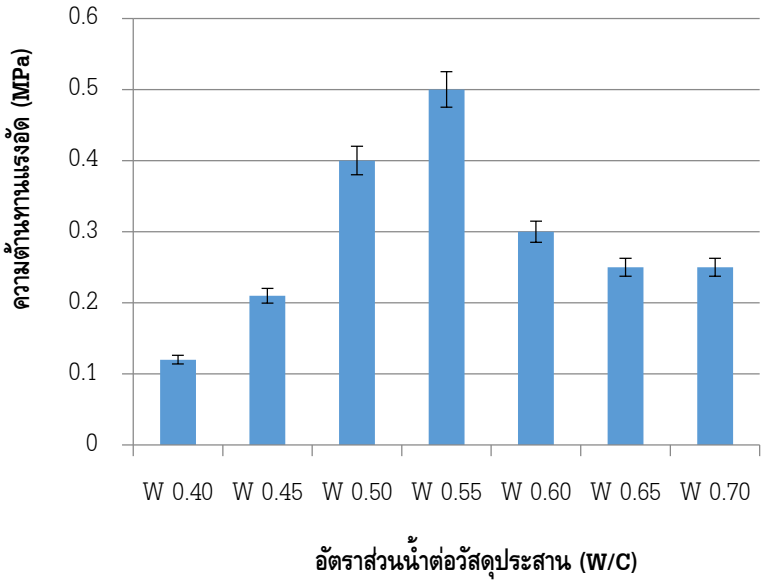
ชนิดของวัสดุ	โมดูลัสความละเอียด(FM)	ความถ่วงจำเพาะ	การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
ทรายละเอียด	1.01	2.58	0.74
เซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด	2.17	2.36	0.54

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 6 Number 1 January – February 2019 ISSN 2408 - 1248

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมและการทดสอบคอนกรีตมวลเบาจากเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด
(ก)เตรียมน้ำยาโฟม (ข) นำส่วนผสมเข้าเครื่องผสม (ค) เทส่วนผสมลงแบบหล่อตัวอย่าง
(ง) เครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด

2. ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการทำคอนกรีตมวลเบาจากเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด เริ่มจากหาอัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 3 และจากการทดสอบค่าความต้านทานกำลังอัดเพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 7 วัน จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40-0.55 ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงอัตราส่วน 0.55 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 0.50 เมกะปาสคาล แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเป็น 0.60 และ 0.65 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงเหลือ 0.28 และ 0.11 เมกะปาสคาล ตามลำดับ เนื่องจากปฏิกริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ขององค์ประกอบต่างๆต้องใช้น้ำในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพื่อทำให้เกิดผลึกของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและผลึกอื่นๆภายในโครงสร้างของคอนกรีตทำให้คอนกรีตแข็งตัวได้ (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2543) การใช้น้ำน้อยเกินไปส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันไม่สมบูรณ์ จึงเกิดผลึกของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานน้อยลง ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ ส่วนการใช้น้ำมากเกินไปทำให้น้ำมากเกินพอดีต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้น้ำที่เหลือเคลื่อนตัวออกจากเนื้อคอนกรีตทำให้เยิ้มออกมาที่ผิวหน้าส่งผลให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างและค่าความต้านทานแรงอัดลดลง น้ำที่เหลือจะเป็นตัวกลางในการนำสารต่างๆเข้าทำปฏิกิริยาในโครงสร้างภายในทำให้เกิดโพรงคาปิลลารี (Capillary Pores) ส่งผลให้ของเหลวหรือก๊าซที่สามารถทำปฏิกิริยาต่างๆและส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพและความทนทานแรงกดภายในโครงสร้างลดลง (ศตวรรษ หฤหรรษพงศ์ และ ทวิช พูลเงิน,2014) ซึ่งสอดคล้องกับ อภิชิต คำภาหล้า และคณะ (2557) ที่ได้ศึกษาอิทธิพลของวิธีการบ่มต่อการรับแรงอัดของคอนกรีตและพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็นไปตามกฎของ อาบรัมส์ (Abrams, 1918 อ้างใน อภิชิต คำภาหล้า และคณะ 2557) ดังนั้นการทดลองในขั้นต่อไปจึงเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.55 เพื่อศึกษาการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกเหลือทิ้งต่อไป



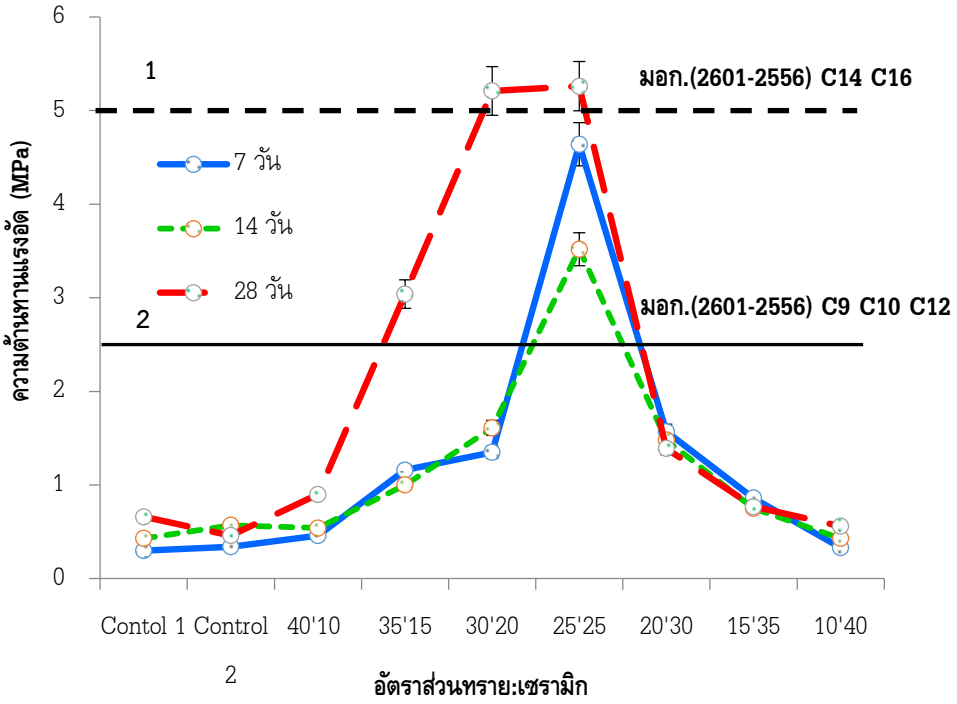
ภาพที่ 3 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานกับความต้านทานแรงอัด

3. การศึกษาอัตราส่วนคอนกรีตมวลเบาโดยการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด

3.1 อิทธิพลของเซรามิกในการแทนที่ทรายต่อค่าความต้านทานกำลังอัด

ภาพที่ 4 แสดงค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียด หน่วยเป็นเมกะปาสคาล เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคอนกรีตมวลเบาชนิด C14 C16 ซึ่งมีค่าไม่น้อยกว่า 5.0 เมกะปาสคาล (เส้นประ) และค่ามาตรฐานของคอนกรีตมวลเบาชนิด C9 C10 C12 มีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคาล (เส้นทึบ) ตาม มอก.2601-2556 จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้เซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดแทนที่ทรายในอัตราส่วน 40:10, 35:15, 30:20, 25:25, 20:30, 15:35 และ 10:40 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน (ชุด Control 1 คือ ส่วนผสมที่ไม่มีการใช้เซรามิก ผงอลูมิเนียม และชุด Control 2 คือ ส่วนผสมที่ไม่มีการใช้เซรามิกแต่มีการใช้ผงอลูมิเนียม 0.1 เปอร์เซ็นต์) จะมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ใช้เซรามิกเป็นส่วนผสมทั้งที่เติมและไม่เติมผงอลูมิเนียม ทั้งนี้เนื่องจากเซรามิกมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าทรายธรรมชาติมีพื้นผิวที่ขรุขระมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมมากว่ามวลรวมธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลมาจากการผ่านกระบวนการบดจึงส่งผลให้เศษเซรามิกมีการยึดเกาะได้ดีกว่า (สุรชัย อำนวยพรเลิศ, 2017) นอกจากนี้ ยังพบว่าที่อายุบ่ม 28 วัน อัตราส่วนเซรามิก:ทราย ที่ 30:20 และ 25:25 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) มีค่าความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์ทุกชั้นมาตรฐาน แต่ถ้าหากมีการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดมากเกินไปจะทำให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงได้ทั้งนี้เป็นผลจากเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าทราย

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 6 Number 1 January – February 2019 ISSN 2408 - 1248

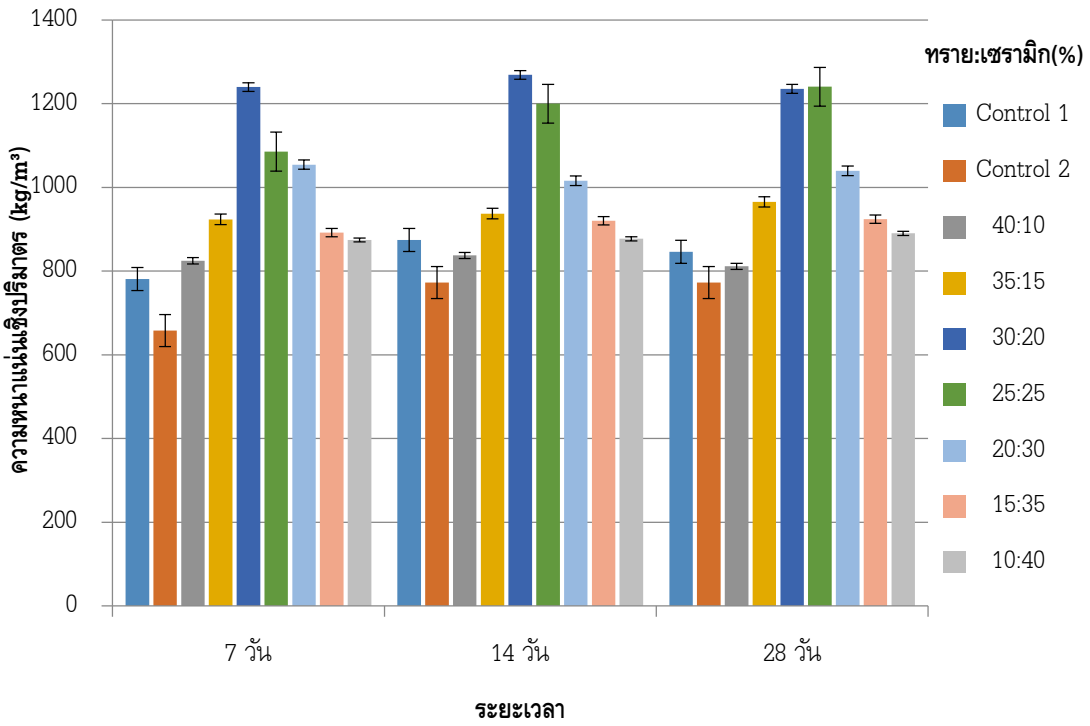


ภาพที่ 4 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกในอัตราส่วนแตกต่างกัน (W/C = 0.55) ระยะเวลาการบ่ม 7 14 และ 28 วัน

3.2 อิทธิพลของเซรามิกในการแทนที่ทรายต่อค่าความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาทดสอบตามมาตรฐาน มอก 2601-2556 สามารถแบ่งเป็นชั้นคุณภาพตั้งแต่ C6 (501-600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ถึงชั้นคุณภาพ C16 (1401-1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จากการศึกษาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนและอายุบ่มแตกต่างกัน แสดงผลดังภาพที่ 5 พบว่าค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาในทุกอัตราส่วนมีความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกล่าวคือไม่สูงกว่า 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าอัตราส่วนที่มีการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกบดละเอียด 30:20 และ 25:25 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อายุบ่ม 28 วัน มีความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1,235.5 และ 1,240.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ความหนาแน่นของคอนกรีตที่มีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องจากอนุภาควัสดุอื่นๆในส่วนผสมที่มีขนาดเล็กสามารถเข้าไปอุดช่องว่างหรือฟองอากาศที่เกิดจากการระเหยของก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาของผงอลูมิเนียมกับปูนขาวในเนื้อคอนกรีตมวลเบาจึงส่งผลให้ทำให้เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่นสูงขึ้น (เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, สมหมาย ผิวสะอาด, ประชุม คำพุฒ. 2551) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดมากเกินไปกลับส่งผลให้ความหนาแน่นลดลงเนื่องจากเซรามิกที่ใช้ผสมมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าทรายจึงทำให้โครงสร้างคอนกรีตโดยรวมของคอนกรีตเบากว่าอัตราส่วนที่มีเซรามิกน้อยกว่า ดังนั้นการใช้เซรามิกบดละเอียดทดแทนทรายในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยทำให้โครงสร้างของคอนกรีตมวลเบามีความเหมาะสมและมีสมบัติโดยรวมเป็นไปตามมาตรฐานได้

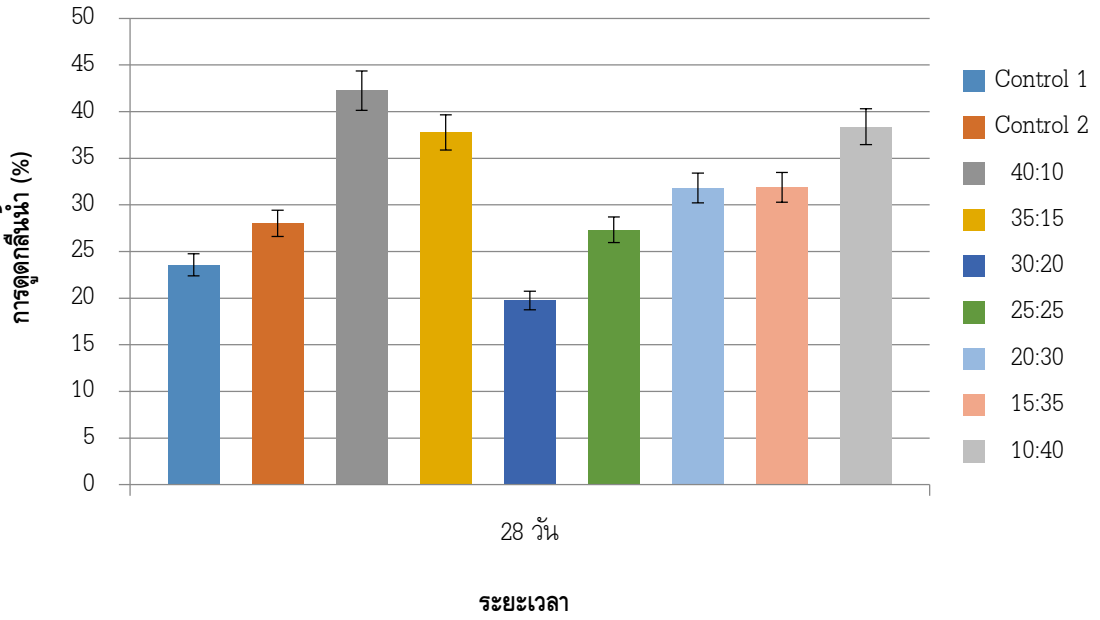


ภาพที่ 5 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกในอัตราส่วนแตกต่างกัน (W/C = 0.55)

3.3 อิทธิพลของเซรามิกในการแทนที่ทรายต่อค่าการดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำตาม มอก 2601-2556 กำหนดช่วงชั้นคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาไว้ 3 ช่วงคือ C6-C8 (ไม่มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์) C9-C12 (ไม่มากกว่า 23 เปอร์เซ็นต์) และ C14-C16 (ไม่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำแสดงดังภาพที่ 6 พบว่า อัตราส่วนการแทนที่ทรายต่อเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดที่ 30:20 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่อายุบ่ม 28 วัน เพียงอัตราส่วนเดียวที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือ 19.75 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในช่วงชั้นคุณภาพ C9-C12 และ C14-C16 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น เนื่องจากปริมาณช่องว่างหรือฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตลดลงและสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของคอนกรีต

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 6 Number 1 January – February 2019 ISSN 2408 - 1248



ภาพที่ 6 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเซรามิกในอัตราส่วนแต่ต่างกัน (W/C = 0.55)

เมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งความต้านทานกำลังอัด ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่ออกแบบไว้ พบว่าอัตราส่วนผสมการแทนที่ทรายต่อเซรามิก 30:20 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เป็นอัตราส่วนที่มีค่าานเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีความต้านทานแรงอัด 5.2 เมกะปาสคาล ความหนาแน่น 1235.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอัตราการดูดซึมน้ำ 19.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556 ชั้นคุณภาพ C14 ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 5.0 เมกะปาสคาล ความหนาแน่นเชิงปริมาตรอยู่ระหว่าง 1201-1400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอัตราการดูดซึมน้ำไม่เกินกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศสำหรับงานผนังที่ไม่รับน้ำหนักได้

สรุปผล

จากการศึกษาการนำสุขภัณฑ์เซรามิกเหลือทิ้งใช้เป็ส่วนผสมในการทำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาโดยใช้แทนที่ทรายในสูตรผสม ซีเมนต์ 30 เปอร์เซ็นต์ ปูนขาว 20 เปอร์เซ็นต์ ทราย 50 เปอร์เซ็นต์ ผงอลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) และใช้สารเพิ่มปริมาณฟอง (SLS) 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. สมบัติเบื้องต้นของทรายและเซรามิกจากสุขภัณฑ์บดละเอียดมีค่า โมดูลัสความละเอียด 1.04 และ 2.17 ความถ่วงจำเพาะ 2.58 และ 2.36 และการดูดซึมน้ำ 0.74 และ 0.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมต่อการนำไปขึ้นรูปคอนกรีตมวลเบาก่อนนำเซรามิกบดละเอียดไปแทนที่ทรายคือ 0.55 มีค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยสูงสุด 0.50 เมกะปาสคาล ที่อายุบ่ม 7 วัน

3. การแทนที่ทรายด้วยเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดที่อัตราส่วน (30:20) ในสูตรผสมที่มี ซีเมนต์ 30 เปอร์เซ็นต์ ปูนขาว 20 เปอร์เซ็นต์ สารเพิ่มฟอง 2 เปอร์เซ็นต์ ผงอลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์ อายุบ่ม 28 วัน มีค่าความต้านทานแรงอัด 5.2 เมกะปาลคาล ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 1235.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการดูดซึมน้ำ 19.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผ่านเกณฑมาตรฐาน มอก 2601-2556 ชั้นคุณภาพ C14 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างผนังอาคารได้

กิติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานที่ยั่งยืน (SEER) ห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนเครื่องมือเครื่องใช้ และขอขอบคุณหลักสูตร วท.บ.เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัยและบุคคลที่เกี่ยวข้องที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

References

Askeland, D.R., & Phule,P. (2010). “watsadu witsawakam” [Science and engineering of materials]. 1st Edition, Bangkok: Cengage Learning 525 p.

Amnuaypornlert, S.(2017). “kān̄suksā̄ khunnasombat kamlang rap rǣng ʻat læ kamlang rap rǣng dat khoṇ̄g khoṇ̄krīt phasom set̄ serāmik” [A Study of Property Compressive Strength and Bending Strength of Concrete Mixed with Ceramic Fragment]. KASALONGKHAM RESEARCH JOURNAL 11,3 Special Issue : 280-291.

Budnumpecth, T., & Tanpaiboonkul, N. (2016). “sombat khoṇ̄g khoṇ̄krīt mūan bao phasom phong yāng rotyon thī mī kān̄ thǣn thī pūnsīmen̄ dūai thao loi̯ čhak rong faifā thān̄hin” [Properties of lightweight concrete containing crumb rubber and cement replacing with fly ash from coal power plant]. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University 3,4 (July-August) : 62-75.

CPAC Concrete Academy, The Concrete Product and Aggregate co.,ltd, **“khoṇ̄krīt theknōlōyī”** [Concrete Technology], Online 28 April 2018 , Retrieved from http://www.cpacacademy.com/index.php?tpid=0063

Donald R.Askeland และ Pradeep P. Phule. (2010.) "Engineering materials". 1st edition. Bangkok: Senkei Learning, Bangkok. 525 hrs.

Dolah, N. (2009). “watsadu mūan bao thī chai nai ngān̄ ʻutsāhakam kos̄āng” [Light materials used in Construction Industry]. Princess of Naradhiwas University Journal 1,3 (September-December) : 48-62

Haruehansapong, S. & Pulngern, T.(2014). “ʻitthiphon khoṇ̄g parimān̄ to̯ watsadu prasān̄ to̯ kamlang ʻat khrongsāng čhunlaphāk læ parimān̄ kān̄ thǣn thī khoṇ̄g sīmen̄ moṭā thī phasom nā̄ nō̄ si li kā̄” [Influence of water cement ratio on compressive strength Microstructure and the amount of replacement of cement mortar mixed with nano silica]. TCA e Magazine (22 August) Retrieved from http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=160%3A2014-08-25-09-49-35&catid=65%3A-22-2014&Itemid=55

Kongsansathian, P., Tanpaiboonkul, N. & Putkham, A. “khunnasombat blo̱k prasān thī̱ tham čhāk pūnsīmēnpo̱tlǣn læ kāk tako̱n nam sīa čhāk krabūankān phalit sīnām” [Cement Block Properties Produced from Portland Cement and Wastewater Sludge from Water-based paint Processing]. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University 3,4 (July-August) : 147-158.

Kumpala, A. , Tiamlom, K. & Subsuk,J.(2014). “‘ itthiphon kho̱ng withīkān bom to̱ kānphatthanā kamlang rap rǣng at kho̱ng kho̱nkrīt” [Influence of curing method on compressive strength development of concrete]. RMUTTO Journal 7,2 : 87-96.

Kasikorn Research Center. (2017). “rǣng nun čhāk phāk rat dan SME ko̱sāng sotsai nǣonom̄ læ bot wikhro̱ thurakit” [Driven by the government pushing the construction of SME to be bright .Trends and business analysis]. Online 19 March, Retrieved from http://www.kasikornbank.com/th/business/sme/KSMEKnowledge/article/KSMEAnalysis/Pages/Construction-growth_by-government-support.aspx

MGN Onlone. (2016). “trā phet rē ngok ra tun talāt ‘it mūan bao chū čhutdēn lot khwām ro̱n phāinai ‘ākhān” [Diamond brand accelerates the light weight brick market Raise the strength to reduce heat inside the building]. Online 20 April, Retrieved from https://mgronline.com/stockmarket/detail/9590000039672

Nittanpansri, P., Pivsa-art, P., & Khamput, P. (2008). “kānchai dinkhāo phasom nai kho̱nkrīt mūan bao bǣp pānklāng” [Using the Kaolin Mixing in Moderate Lightweight Concrete]. Research Report. Pathum Thani. Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

Nikhom, S., Suppalakpanya, K. & Boonreung, S.(2011). “kānsuksā sombat kho̱ng ‘it mūan bao doī chai yipsam thīam čhāk rong faifā Krabī” [Study of properties of light weight bricks using Artificial gypsum from Krabi power plant]. The 21th National Conference on Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry, TIChE2011, Songkhla (10 – 11 November) : 1-5

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 6 Number 1 January – February 2019 ISSN 2408 - 1248

Suebbuakaew, N., Mesathien, S., & Thephasadin Na Ayuthya,T.(2012). “kān̄phatthanā ʻit mūan bao doi̒ chai kradāt lūachai” [Light Brick Development By Using Used Paper]. Journal of Industrial Education 6,1 (January-June) : 51-57

Thongpen, J., & Ratjaroenrit, R.(2012). “namyā fōm tonbǣp samrap khō̜nkrīt mūan bao” [The prototype of foaming agent for lightweight concrete]. Master Engineering Thesis. Khonkean. Khonkaen University.

Thongkham, T. (2014). “kān̄suksā kān̄nam watsadu lūa thing c̄hāk ngān̄ kō̜sāng mā thotthǣn mūan rūam yāp nai kān̄ phasom khō̜nkrīt” [A Study of Utilizing Construction Waste as Coarse Aggregates in Mixing Concrete]. The 7th National Conference on Technical Education, Bangkok, (6 November) : 169-174.

Thongklay, S. & Kimapong,K. (2011). “khō̜nkrīt mūan bao c̄hāk kāk din takō̜n krabūang langkhā serāmik” [Light Weight Concrete from Sediment Sludge of Ceramic Roof Tile]. The 8th Kasetsart Kamphaeng Saen Campus Conference, Nakhon Pathom (8-9 December) : 241-248

Thailand Industrial Standard Institute, Ministry of Industry. (2011) “mātrathān phalittaphan ʻutsāhakam khrūang sukkhaphan serāmik : thōsūam nang rāp (mō̜k c̄hetrō̜ikāosipsō̜ng ; sō̜ngphanhārō̜ihāsipsī) [Thailand Industrial Standard : Ceramic sanitary wares : water close (TIS 792:2554]. Online 30 September 2011 , Retrieved from http://appdb.tisi.go.th/tis_dev/p3_tis/p3tis.php

Thailand Industrial Standard Institute, Ministry of Industry. (2013) “mā̀trathān phalittaphan ‘utsāhakam khō̜nkrīt blo̜k mūan bao bæ̀p tœ̄m fō̜ng ‘ākāt (mo̜k sō̜ngphanhokrō̜‘et ; sō̜ngphanhārō̜hāsiphok) [Thailand Industrial Standard : Cellular lightweight concrete blocks using preformed foam (TIS 2601:2556)]. Online 25 September 2013 , Retrieved from www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/123/9.PDF

Yaempern, P., Poonnayam, P., & Kimapong, K.(2013). “kān rīsaikhœ̄n khō̜ng sīa sēr̄āmik phūa phalit krabūang bu phanang” [Recycle of Ceramics Waste for Wall Tile Manufacturing].Research Report. Pathum Thani. Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 6 Number 1 January – February 2019 ISSN 2408 - 1248