วารสารวิศวกรรมศาสตร์และวิจัยประยุกต์
Journal of Engineering and Applied Research
Research article
2(1), 17-27

กำลังอัด การดูดซึมน้ำ และปริมาณช่องว่างของมอร์ต้าร์เบาที่ใช้หินพัมมิซแทนที่มวลรวมในปริมาณสูง

Compressive strength water absorption and void of lightweight mortar using high level of pumice stone as aggregate replacement

กฤษ พรมสอน[1] ภัทรพล วงศ์ทอง[1] วรมินทร์ มั่นพรรษา[1] และ เซาฟีร์ ดือราแม[1]*

[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร 10140

รับบทความ 22 พฤษภาคม 2566
แก้ไขบทความ 18 สิงหาคม 2566
ตอบรับบทความ 28 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หินพัมมิซเป็นมวลรวมในปริมาณสูงสำหรับผลิตเป็นมอร์ต้าร์เบา โดยแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยหินพัมมิซในอัตราร้อยละ 0, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบความต้องการน้ำของมอร์ต้าร์สด กำลังอัด สมบัติด้านการดูดซึมน้ำและปริมาณช่องว่างของมอร์ต้าร์ ผลการศึกษาพบว่ามอร์ต้าร์มีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่มวลรวมด้วยหินพัมมิซในอัตราส่วนที่มากขึ้น โดยมอร์ต้าร์ที่ใช้หินพัมมิซมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์อยู่ระหว่าง 1.18 ถึง 1.54 ขณะที่มอร์ต้าร์ควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.64 กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่แทนทรายด้วยหินพัมมิซมีค่าลดลงเมื่อแทนที่ในปริมาณมากขึ้น โดยการใช้หินพัมมิซในอัตราส่วนร้อยละ 50 สามารถพัฒนากำลังได้สูงสุด ซึ่งมอร์ต้าร์ PS50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 112.2, 172.0 และ 178.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ตามลำดับ และสามารถใช้งานสำหรับโครงสร้างมวลเบาได้ตามมาตรฐาน ACI 213 การแทนที่ทรายด้วยหินพัมมิซส่งผลให้มอร์ต้าร์มีหน่วยน้ำหนักน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากหินพัมมิซมีความถ่วงจำเพาะต่ำ ส่วนการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยหินพัมมัซและมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณช่องว่าง

คำสำคัญ : หินพัมมิซ; มอร์ต้าร์เบา; กำลังอัด; การดูดซึมของน้ำ; ปริมาณช่องว่าง

** ผู้ประพันธ์หลัก E-mail : saofee.d@mail.rmutk.ac.th*

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และวิจัยประยุกต์
Journal of Engineering and Applied Research
Research article
2(1), 17-27

กำลังอัด การดูดซึมน้ำ และปริมาณช่องว่างของมอร์ต้าร์เบาที่ใช้หินพัมมิซแทนที่มวลรวมในปริมาณสูง

Compressive strength water absorption and voids of lightweight mortar using high level of pumice stone as aggregate replacement

Krit Pomsona[1] Pattarapon Wongthong[1] Woramin Manpansa[1] and Saofee Dueramae[1*]

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Krung Thep Maha Nakhon 10120

Received 30 May 2023
Revised 18 August 2023
Accepted 28 August 2023

Abstract

The purpose of this research is to study the possibility of using high level of pumice stone as aggregate to produce lightweight mortar. The aggregate was replaced with pumice stone at 0, 50, 75 and 100 %wt. The water requirement, compressive strength, water absorption and voids of mortar were evaluated. The results show that water requirement of mortar was increased with increasing in pumice stone. The W/C ratio of the mortar using pumice stone were 1.18 to 1.54, while control mortar was 0.64. The compressive strength of the mortar decreased with an increase in level of pumice stone. The using pumice stones at 50% resulted in the highest compressive strength. The PS50 mortar had compressive strengths of 112.2, 172.0 and 178.7 ksc at ages 7, 28 and 60 days, respectively and can be used for lightweight structures according to ACI 213 standards. The used of pumice stone as aggregate had a significant effect on reducing unit weight of mortar. This due to pumice stone had low specific gravity. The water absorption increased with an increase in pumice stone and was directly related to voids.

keyword : Pumice stone; Lightweight mortar; Compressive strength; Water absorption; Voids

** Corresponding author E-mail : saofee.d@mail.rmutk.ac.t*

1. บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายใช้ในการก่อสร้างโดยทั่วไป คอนกรีตประกอบด้วยส่วนเชื่อมประสานซึ่งเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำที่สามารถทำปฏิกิริยากันและยึดประสานมวลรวมเข้าด้วยกันเกิดเป็นโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักหรือรับกำลังได้ โดยทั่วไปคอนกรีตปกติมีหน่วยน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ 2200 – 2600 กก/ม^3 [1] หากพิจารณาจากส่วนผสมของคอนกรีต พบว่า มีส่วนประกอบของมวลรวมประมาณร้อยละ 60 – 80 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด [2] น้ำหนักของมวลรวมจึงมีอิทธิพลต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต และเป็นที่ทราบกันดีว่าโครงสร้างโดยทั่วไปนอกจากจะใช้สำหรับรับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้น ยังต้องมีหน้าที่ในการรับน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองหรือน้ำหนักขององค์อาคารนั้นด้วย หากสามารถลดน้ำหนักของคอนกรีตลงจะทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักบรรทุกโดยรวมที่ลดลงหรืออาจสามารถลดขนาดขององค์อาคารที่ถูกนำมาใช้งานลงได้

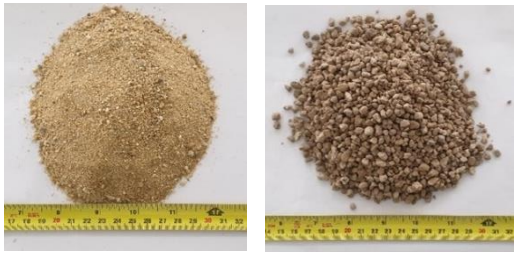
คอนกรีตเบาหรือมอร์ต้าร์เบา เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกคิดค้นและนำไปประยุกต์ใช้ในด้านงานก่อสร้างเพื่อลดน้ำหนักขององค์อาคาร การใช้มวลรวมที่มีน้ำหนักเบา (lightweight aggregate) เป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและอาจนำมาใช้เป็นมวลรวมมีหลายชนิดทั้งวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น หินสคอเรีย (volcanic scoria), หินพัมมิซ (pumice stone) หรือวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น เม็ดโฟม (expanded polystyrene, EPS) [3–5] หินพัมมิซเป็นวัสดุจากธรรมชาติชนิดหนึ่ง เกิดจากการเย็นตัวของหินหลอมเหลว พบได้บริเวณชายฝั่งทะเล เช่น จังหวัดระยอง ประเทศไทย หรือในต่างประเทศโดยเฉพาะในบริเวณใกล้เคียงแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบมากบริเวณประเทศอินโดเนเซีย ซึ่งหินพัมมิซอาจสามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมเพื่อผลิตเป็นคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ที่มีน้ำหนักเบา โดยคุณลักษณะทางกายภาพของหินพัมมิซเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับใช้เป็นมวลรวมเบา [6] อย่างไรก็ตามพบว่า หินพัมมิซอาจส่งผลต่อความสามารถในการทำงานได้ของมอร์ต้าร์หรือคอนกรีตที่ลดลง เนื่องจากหินพัมมิซมีความพรุนสูงซึ่งการส่งผลต่อความต้องการน้ำและการสูญเสียความสามารถในการทำงานได้ นอกจากนั้นปริมาณการแทนที่อาจส่งผลต่อทั้งความสามารถในการทำงานได้และสมบัติด้านความสามารถในการรับกำลังที่ลดลงได้ [7] ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Öz [8] ที่ได้ทำการศึกษาการใช้หินพัมมิซแทนที่มวลรวมหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 10 – 50 พบว่า สามารถทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักลดลง และส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ลงลงเมื่อแทนที่ในปริมาณมากขึ้น แต่ในทางกลับกันการใช้วัสดุที่มีความพรุนสูง จะส่งผลต่อการดูดน้ำเข้าไปอยู่ในช่องว่างของมวลรวมและน้ำดังกล่าวอาจถูกดึงออกไปใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันในภายหลังได้ [9]

งานวิจัยนี้จึงใช้หินพัมมิซแทนที่มวลรวมละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 0, 50, 75 และ 100 โดยทำการทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ได้แก่ ความต้องการน้ำของมอร์ต้าร์สด กำลังอัด หน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำและปริมาณช่องว่าง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นมอร์ต้าร์ที่มีน้ำหนักเบา (lightweight mortar) ที่มีการใช้หินพัมมิซเป็นมวลรวมในปริมาณสูง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุเชื่อมประสาน สำหรับวัสดุมวลรวมละเอียดที่ใช้ได้แก่ ทรายจากธรรมชาติ (Natural sand) และหินพัมมิซ (Pumice stone) โดยทรายจากธรรมชาติที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำ ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 4.75 มม. (ผ่านแกรงเบอร์ 4) จนถึง 0.15 มม. (ค้างตะแกรงเบอร์ 100) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.61 และมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.6 ส่วนหินพัมมิซมีขนาดอยู่ระหว่าง 1 – 4 มม. โดยหินพัมมิซมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.97 และมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 40.56 เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะของทรายแม่น้ำและหินพัมมิซ ดัง Figure 1 เห็นได้ว่าหินพัมมิซมีลักษณะเนื้อหินที่มีความพรุนและมีผิวขรุขระอย่างเห็นได้ชัด



(a) Natural sand (b) Pumice stone

Figure 1 Fine aggregate

นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของมวลรวมดังแสดงใน Figure 2 พบว่า หินพัมมิซมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับทรายจากธรรมชาติ และมีหินพัมมิซการกระจายตัวของอนุภาคที่ไม่อยู่ในข้อแนะนำตามมาตรฐาน ASTM C33 [10]

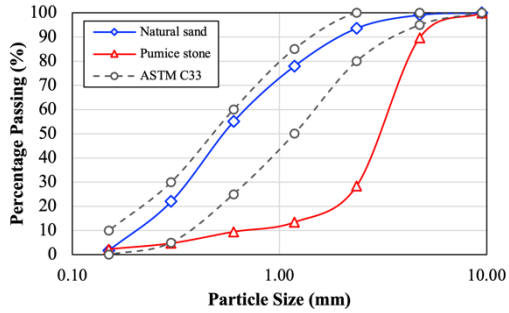


Figure 2 Particle size distribution

2.2 อัตราส่วนผสม

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการใช้มวลรวมจากหินพัมมิซเพื่อผลิตมอร์ต้าร์เบา โดยที่มวลรวมที่ใช้ในการศึกษาทำการแทนที่ทรายด้วยหินพัมมิซในอัตราร้อยละ 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก (มอร์ต้าร์ PM50, PM75 และ PM100) เปรียบเทียบกับมอร์ต้าร์ควบคุมที่ใช้ทรายจากธรรมชาติเป็นมวลรวม (มอร์ต้าร์ CT) กำหนดอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม

Table 1 Mix Proportion of mortar

Sample	Mix Proportion (by weight)				W/C ratio	Flow (%)
	Cement	Natural sand	Pumice stone	Water		
CT	100	275	-	64	0.64	110
PM50	100	137.50	137.50	118	1.18	114.5
PM75	100	68.75	206.25	137	1.37	107.5
PM100	100	-	275	154	1.54	115

ของทุกส่วนผสมเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก ทำการควบคุมค่าการไหลแผ่ของมอร์ต้าร์สดให้อยู่ในช่วงร้อยละ 105 – 115 ตามมาตรฐาน ASTM C109 [11] โดยการปรับปริมาณน้ำของส่วนผสม อัตราส่วนผสมของมอร์ต้าร์แสดงดัง Table 1 ทำการถอดแบบหลังจากหล่อตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมอร์ต้าร์มาหุ้มด้วยแผ่นพลาสติก (Plastic wrap) เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะถึงอายุการทดสอบ

2.2 การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ ใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 50 x 50 x 50 มม^3 ทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C109 [11] โดยในแต่ละอายุการทดสอบใช้ตัวอย่างมอร์ต้าร์จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำและปริมาณช่องว่าง

การทดสอบการดูดซึมน้ำและปริมาณช่องว่างของมอร์ต้าร์ทำการทดสอบที่อายุ 28 และ 60 วัน โดยใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 50 x 50 x 50 มม^3 ซึ่งใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน BS 1881-122 [12] เมื่อถึงอายุการทดสอบ นำตัวอย่างมอร์ต้าร์มาแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเช็ดผิวตัวอย่างให้แห้งแล้วทำการชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง) หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปอบด้วยตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการบันทึกค่าน้ำหนัก (น้ำหนักอบแห้ง) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1) และปริมาณช่องว่างสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{Absorption} = \frac{W_{SSD} - W_D}{W_D} \times 100 \qquad (1)$$

$$\text{Voids} = \frac{(W_{SSD} - W_D)}{V} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อกำหนดให้

Absorption = ร้อยละการดูดซึมน้ำ (%)
Voids = ร้อยละปริมาณช่องว่าง (%)
W_{SSD} = น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง (g)
W_D = น้ำหนักอบแห้ง (g)
V = ปริมาตรตัวอย่าง (cm^3)
ρ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ (g/cm^3)

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ความต้องการน้ำของมอร์ต้าร์สด

ในการศึกษานี้ทำควบคุมค่าการไหลแผ่ของมอร์ต้าร์สดของทุกส่วนผสมให้อยู่ในช่วงร้อยละ 105 – 115 ตามมาตรฐาน ASTM C109 [11] โดยการปรับปริมาณน้ำของแต่ละส่วนผสม เพื่อให้มอร์ต้าร์สดมีความสามารถในการทำงานได้ให้ใกล้เคียงกัน โดยผลของปริมาณหินพัมมิซที่ใช้เป็นวัสดุมวลรวมต่อความต้องการน้ำของมอร์ต้าร์สดแสดงดัง Figure 3 ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C ratio) เปรียบเทียบมอร์ต้าร์ควบคุมที่ใช้มวลรวมจากธรรมชาติ จากผลการทดสอบพบว่า มอร์ต้าร์ควบคุม (มอร์ต้าร์ CT) มีค่าอัตราส่วน W/C เท่ากับ 0.64 เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าร์ที่ใช้หินพัมมิซในส่วนผสมของมวลรวมละเอียด พบว่า มอร์ต้าร์มีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยหินพัมมิซในปริมาณสูงขึ้น เพื่อให้มีค่าการไหลแผ่ของมอร์ต้าร์สดระหว่าง 105 – 110 ตามมาตรฐาน โดยการแทนที่ร้อยละ 50, 75 และ 100 มีค่า W/C เท่ากับ 1.18, 1.37 และ 1.54 ตามลำดับ เนื่องจากหินพัมมิซมีลักษณะทางกายภาพที่มีรูพรุนจำนวนมากและผิวขรุขระ ซึ่งส่งผลทำให้มวลรวมมีการดูดซึมน้ำใน

ปริมาณสูง [13] ทำให้ส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่ใช้หินพัมมิซเป็นมวลรวมมีค่า W/C สูงกว่ามอร์ต้าร์ CT ที่ใช้ทรายธรรมชาติเป็นมวลรวม ซึ่งมีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลมสม่ำเสมอและมีความทึบน้ำมากกว่า ดังนั้นมอร์ต้าร์ที่ใช้หินพัมมิซมีแนวโน้มของความต้องการน้ำที่สูงขึ้นเมื่อใช้หินพัมมิซในปริมาณที่มากขึ้น เพื่อให้มีมอร์ต้าร์สดความสามารถในการทำงานได้และมีค่าการไหลแผ่ตามมาตรฐาน

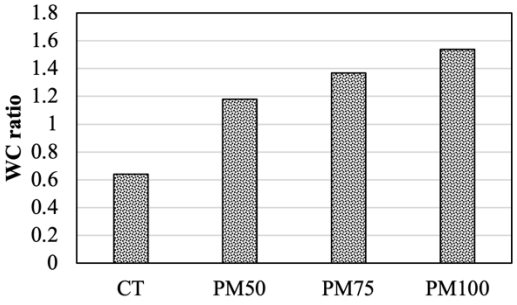


Figure 3 W/C ratio of mortar

3.2 กำลังอัดของมอร์ต้าร์

ผลการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ในแต่ละส่วนผสมแสดงดัง Figure 4 ซึ่งผลการทดสอบพบว่า มอร์ต้าร์ทุกส่วนผสมมีค่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุการบ่มที่นานขึ้น โดยมอร์ต้าร์ที่ใช้หินพัมมิซแทนที่มวลรวมมีค่ากำลังอัดน้อยกว่ามอร์ต้าร์ควบคุมที่ใช้มวลรวมจากทรายธรรมชาติเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามหากพิจารณาผลการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ใช้มวลรวมจากหินพัมมิซ เป็นที่น่าสังเกตว่ามอร์ต้าร์มีแนวโน้มของอัตราการพัฒนากำลังที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 7 วัน ถึง 28 วันที่คอนข้างสูง โดยมอร์ต้าร์ PM50, PM75 และ PM100 มีกำลังอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 112.2, 68.5 และ 64.6 กก/ซม^2 ตามลำดับ หลังจากนั้นที่อายุ 28 วัน พบว่า มอร์ต้าร์ PM50, PM75 และ PM100 มีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นเป็น 172.0, 134.3, 109.6 กก/ซม^2 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.7, 49.0 และ 41.0 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7 วัน ในขณะที่มอร์ต้าร์ควบคุมมีกำลังอัดเท่ากับ 286.0 กก/ซม^2 ที่อายุ 7 วัน และเพิ่มขึ้นเป็น 306.0 กก/ซม^2 ที่อายุ 28 วันหรือคิดเป็นร้อยละ 6.5 เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7 วัน พฤติกรรมดังกล่าวอาจเกิดจากอิทธิพลการบ่มภายใน (internal curing) ของมอร์ต้าร์ โดยการดึงน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างของมวลรวมมาทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน [14–16] เนื่องจากในงานวิจัยนี้ทำการบ่มมอร์ต้าร์โดยการใช้พลาสติกหุ้มตัวอย่างเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นและเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยที่ตัวอย่างมอร์ต้าร์จะไม่มีความชื้นจากภายนอก ซึ่งหินพัมมิซมีลักษณะที่มีช่องว่างและความพรุนสูง ทำให้มีการดูดซึมน้ำเข้าไปอยู่ในช่องว่าง มอร์ต้าร์ที่ใช้มวลรวมจามหินพัมมิซจึงการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดที่สูงกว่าต่างจากมอร์ต้าร์ควบคุมที่มีการเพิ่มของกำลังอัดไม่มาก [14, 17]

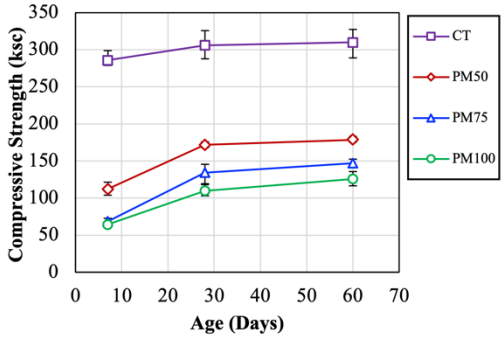


Figure 4 Compressive strength of mortar

เมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยหินพัมมิซดังแสดงใน Figure 5 พบว่าการใช้หินพัมมิซในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้มอร์ต้าร์มีค่ากำลังอัดที่ลดลง เนื่องจากการแทนที่มวลรวมด้วยหินพัมมิซทำให้ส่วนผสมของมอร์ต้าร์มีความต้องการ

การใช้น้ำที่มากขึ้น สาเหตุมาจากลักษณะทางกายภาพของหินพัมมิซที่มีรูพรุนค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลต่อการดูดน้ำและทำให้มีค่าอัตราส่วน W/C ที่สูงขึ้น [9] นอกจากนั้นความแข็งของหินพัมมิซมีค่าน้อยกว่าทรายจากธรรมชาติซึ่งทำให้มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์ [18] อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับมาตฐาน ACI 213 [19] ซึ่งได้จำแนกกำลังของคอนกรีตสำหรับมวลเบาออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ มวลเบาความหนาแน่นต่ำ (low-density lightweight) มีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 0.7 – 2.0 MPa, คอนกรีตกำลังปานกลาง (moderate-strength lightweight) มีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 7 – 14 MPa และโครงสร้างเบา (structural lightweight) มีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 17 – 63 MPa จากผลการทดสอบพบว่า การใช้หินพัมมิสแทนที่มวลรวมละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 75 และ 100 (มอร์ต้าร์ PM75 และ PM100) สามารถจัดอยู่ในกลุ่มของมวลเบาที่มีกำลังปานกลาง (moderate-strength lightweight) คือมีค่าอยู่ระหว่าง 7 – 14 เมกะปาสคาล หรือประมาณ 70 – 140 กก/ซม^2 ส่วนการใช้หินพัมมิซแทนที่มวลรวมละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 50 (มอร์ต้าร์ PM50) สามารถใช้ผลิตเป็นโครงสร้างเบา (structural lightweight) ซึ่งได้กำหนดว่าโครงสร้างเบาต้องมีกำลังมากกว่า 17 เมกะปาสคาล หรือประมาณ 170 กก/ซม^2

3.3 หน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์

Figure 6 แสดงหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์ที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยหินพัมมิซเปรียบเทียบกับมอร์ต้าร์ควบคุม ผลการทดสอบพบว่า มอร์ต้าร์ CT ที่ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียด มีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 2068 – 2071 กก/ม^3 สำหรับมอร์ต้าร์ใช้หินพัมมิซเป็นมวลรวมละเอียด พบว่ามอร์ต้าร์ PM50

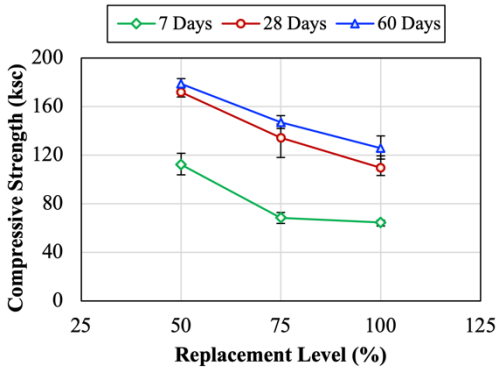


Figure 5 Relationship between pumice replacement and compressive strength of mortar

มีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1366 – 1424 กก/ม^3 ส่วนมอร์ต้าร์ PM75 มีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1166 – 1211 กก/ม^3 และมอร์ต้าร์ PM100 มีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1068 – 1109 กก/ม^3 จากผลการทดสอบเห็นได้ว่ามอร์ต้าร์มีค่าหน่วยน้ำหนักลดลงอย่างมากและลดลงตามปริมาณการแทนที่มากขึ้น เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของหินพัมมิซโดยทั่วไปมีลักษณะที่มีความพรุนและมีช่องว่างภายในเนื้อหิน หินพัมมิซจึงมีความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักที่น้อยกว่าทรายแม่น้ำจากธรรมชาติ ทำให้ส่งผลต่อหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์ที่ลดลง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ACI 213 [19] เห็นได้ว่าการใช้มวลรวมจากหินพัมมิซสามารถนำไปใช้งานสำหรับการผลิตเป็นโครงสร้างเบาได้ คือ มีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1120 – 1920 กก/ม^3

3.4 การดูดซึมน้ำและปริมาณช่องว่าง

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและปริมาณช่องว่างแสดงดัง Figure 7 และ Figure 8 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบพบว่า การใช้หินพัมมิซแทนที่มวลรวมในอัตราส่วนร้อยละ 50, 75 และ 100

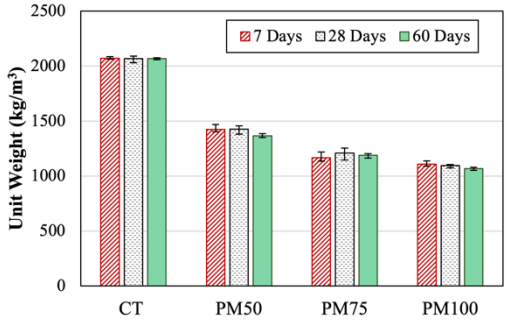


Figure 6 Unit weight of mortar

(มอร์ต้าร์ PM50, PM75 และ PM100) มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยหินพัมมิซและมีค่าสูงกว่ามอร์ต้าร์ CT ที่ใช้ทรายจากธรรมชาติเป็นมวลรวมเพียงอย่างเดียว โดยที่อายุ 28 วัน มอร์ต้าร์ PM50, PM75 และ PM100 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 21.2, 30.5 และ 34.7 ตามลำดับ และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมอร์ต้าร์มีอายุการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 60 วัน ซึ่งมอร์ต้าร์ PM50, PM75 และ PM100 การดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 19.1, 28.5 และ 33.1 ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการทดสอบปริมาณช่องว่างของมอร์ต้าร์ พบว่า มอร์ต้าร์ PM50, PM75 และ PM100 มีปริมาณช่องว่างเท่ากับร้อยละ 26.3, 29.5 และ 30.0 ที่อายุ 28 วัน ตามลำดับ จากนั้นมอร์ต้าร์ PM50, PM75 และ PM100 มีปริมาณช่องว่างลดลงเหลือร้อยละ 23.5, 28.0 และ 28.5 ที่อายุ 60 วัน ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบปริมาณช่องว่างของมอร์ต้าร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยหินพัมมิซและมีค่าสูงกว่ามอร์ต้าร์ CT ที่ใช้ทรายจากธรรมชาติเป็นมวลรวมเพียงอย่างเดียวเช่นผลการทดสอบการดูดซึมของน้ำ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผลของการดูดซึมน้ำและปริมาณช่องว่างของมอร์ต้าร์ ดัง Figure 9 เห็นได้ชัดเจนว่าการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณช่องว่างภายในเนื้อมอร์ต้าร์ กล่าวคือ มอร์ต้าร์จะมีการดูดซึมของน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณช่องว่างภายในเนื้อมอร์ต้าร์ที่สูงขึ้น เนื่องจากการใช้มวลรวมที่มีลักษณะที่มีช่องว่างและความพรุนสูงทำให้น้ำสามารถเข้าไปถูกกักเก็บอยู่ภายในช่องว่างของมวลรวมเหล่านั้น [17] สอดคล้องกับงานวิจัยโดยทั่วไป ซึ่งพบว่าปริมาณช่องว่างภายในมอร์ต้าร์หรือคอนกรีตส่งผลกับการดูดซึมน้ำ [15]

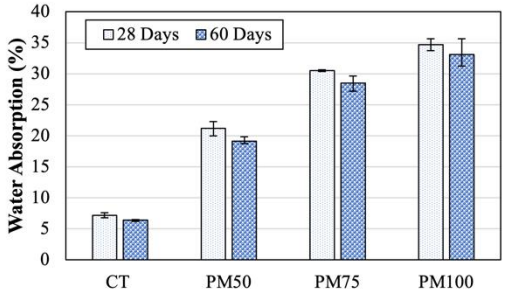


Figure 7 Absorption of mortar

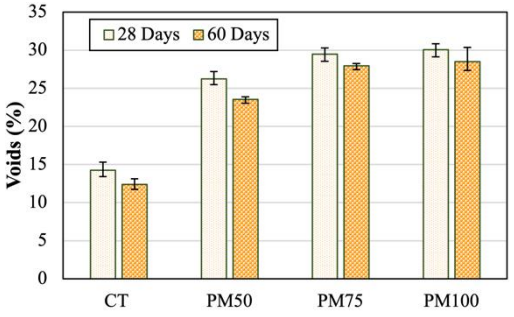


Figure 8 Voids of mortar

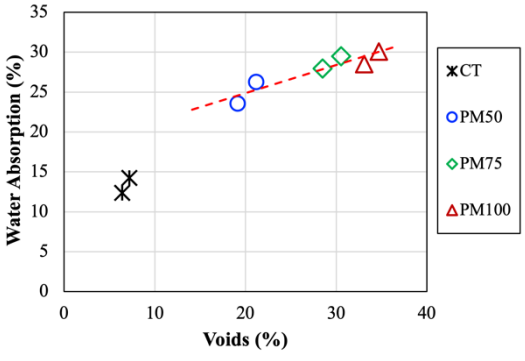


Figure 9 Relationship between water absorption and voids of mortar

4. สรุป

1. ความต้องการน้ำของมอร์ต้าร์ที่แทนที่ทรายด้วยหินพัมมิซ โดยที่มอร์ต้าร์มีค่าการไหลแผ่เท่ากับ 110±5 ตามมาตรฐาน พบว่ามอร์ต้าร์มีความต้องการน้ำเพิ่มสูงขึ้นมาก เมื่อแทนที่มวลรวมด้วยหินพัมมิซในอัตราส่วนที่มากขึ้น โดยมีค่า W/C ระหว่าง 1.18 ถึง 1.54 ขณะที่มอร์ต้าร์ควบคุมมีค่า W/C เท่ากับ 0.64

2. การใช้หินพัมมิซแทนที่ทรายธรรมชาติในอัตราส่วนร้อยละ 50 สามารถพัฒนาค่ากำลังอัด ให้มีค่าเท่ากับ 172.0 และ 178.7 กก/ซม^2 ที่อายุ 28 และ 60 วัน ซึ่งกำลังอัดของมอร์ต้าร์มีค่าสูงกว่าข้อแนะนำตามมาตรฐาน ACI 213 สำหรับใช้ผลิตเป็นโครงสร้างมวลเบา

3. การแทนที่ทรายด้วยหินพัมมิซส่งผลให้มอร์ต้าร์มีความหนาแน่นน้อยลงอย่างมาก ซึ่งสามารถจัดอยู่ในกลุ่มโครงสร้างเบาได้ โดยมีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1068 ถึง 1424 กก/ม^3 ขึ้นอยู่ปริมาณการแทนที่ของหินพัมมิซ ในขณะที่มอร์ต้าร์ควบคุมมีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 2068 ถึง 2071 กก/ม^3

4. การแทนที่ทรายด้วยหินพัมมิซในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้มอร์ต้าร์มีการดูดซึมและปริมาณช่องว่างภายในเนื้อมอร์ต้าร์มากขึ้น เนื่องจากความพรุนของหินพัมมิซ โดยการการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณช่องว่างของมอร์ต้าร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับการสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Ali, M. R., Maslehuddin, M., Shameem, M., & Barry, M. S. (2018). Thermal-resistant lightweight concrete with polyethylene beads as coarse aggregates. Construction and Building Materials, 164, 739–749.

[2] Shaikh, F. A., Nath, P., Hosan, A., John, M., & Biswas, W. K. (2019). Sustainability assessment of recycled aggregates concrete mixes containing industrial by-products. Materials Today Sustainability, 5, 100013.

[3] Shannag, M. J., Charif, A., & Dghaither, S. (2014). Developing structural lightweight concrete using volcanic scoria available in Saudi Arabia. Arabian Journal for Science and Engineering, 39, 3525–3534.

[4] Idi, M. A., Abdulazeez, A. S., Usman, S. A., & Justin, T. (2020). Strength Properties of Concrete Using Pumice Aggregate As Partial Replacement of Coarse Aggregate. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology, 4(11), 519–525.

[5] Dueramae, S., Sanboonsiri, S., Suntadyon, T., Aoudta, B., Tangchirapat, W., Jongpradist, P., Pulngern. T., Jitsangiam, P. & Jaturapitakkul, C. (2021). Properties of lightweight alkali activated controlled Low-Strength material using calcium

carbide residue–Fly ash mixture and containing EPS beads. Construction and Building Materials, 297, 123769.

[6] Hossain, K. M. A. (2004). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. Cement and concrete research, 34(2), 283–291.

[7] Şahin, R., Demirboğa, R., Uysal, H., & Gül, R. (2003). The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the compressive strength and densities of concrete. Cement and Concrete Research, 33(8), 1245–1249.

[8] Öz, H. Ö. (2018). Properties of pervious concretes partially incorporating acidic pumice as coarse aggregate. Construction and building Materials, 166, 601-609.

[9] Golias, M., Castro, J., & Weiss, J. (2012). The influence of the initial moisture content of lightweight aggregate on internal curing. Construction and Building Materials, 35, 52-62.

[10] ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates (2018), American Society for Testing and Materials.

[11] ASTM C109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens) (2017), American Society for Testing and Materials.

[12] BS 1881-122: Testing concrete. Method for determination of water absorption. (2011), British Standard Institute.

[13] Hossain, K. M. A., Ahmed, S., & Lachemi, M. (2011). Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: Mechanical and durability characteristics. Construction and Building Materials, 25(3), 1186–1195.

[14] Lura, P., Bentz, D. P., Lange, D. A., Kovler, K., Bentur, A., & Van Breugel, K. (2006). Measurement of water transport from saturated pumice aggregates to hardening cement paste. Materials and Structures, 39, 861–868.

[15] Henkensiefken, R., Castro, J., Bentz, D., Nantung, T., & Weiss, J. (2009). Water absorption in internally cured mortar made with water-filled lightweight aggregate. Cement and Concrete Research, 39(10), 883–892.

[16] El-Hawary, M., & Al-Sulily, A. (2020). Internal curing of recycled aggregates concrete. Journal of Cleaner Production, 275, 122911.

[17] Zhutovsky, S., & Kovler, K. (2017). Influence of water to cement ratio on the efficiency of internal curing of high-performance concrete. Construction and Building Materials, 144, 311-316.

[18] Gündüz, L. (2008). The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties. Construction and Building Materials, 22(5), 721–728.

[19] ACI 213 : Structural Lightweight-Aggregate Concrete (2014). American Concrete Institute.