

กำลังอัด ความพรุน และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ด้วยระบบวัสดุประสานสามชนิดของ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซิลิกาฟูม และเศษหินบะซอลต์บด
Compressive Strength, Porosity and Water Absorption of Mortar with
Ternary Blend Cementitious System of Ordinary Portland Cement,
Silica Fume and Ground Basalt Rubble

วิศวะ เล่าเซ่ง (Witsawa Laoseng)* ดร.สำเร็จ รักซ้อน (Dr.Sumrereng Rukzon)^{1**}

(Received: July 11, 2024; Revised: August 25, 2024; Accepted: August 26, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการศึกษา กำลังอัด ความพรุน และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ด้วยระบบวัสดุประสานสามชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC), ซิลิกาฟูม (SF) และเศษหินบะซอลต์บด (BD) งานวิจัยนี้ใช้ SF แทนที่ OPC ในอัตราคงที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน นอกจากนั้นยังใช้ SF อัตราคงที่ร้อยละ 10 ผสมกับ BD ร้อยละ 10, 15, 20, 25, และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) ใช้คงที่เท่ากับ 0.45 ใช้สารลดน้ำพิเศษ (SP) เพื่อควบคุมการทำงานได้ของมอร์ตาร์ ผลการทดสอบพบว่า การใช้ SF ในอัตราร้อยละ 10 ผสมกับ BD ในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้น ความพรุน และการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม (CT) เศษหินบะซอลต์บดสามารถพัฒนาเป็นวัสดุประสานชนิดใหม่ในงานก่อสร้างได้ ผลการศึกษานี้สามารถลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง และลดภาระในการกำจัดได้

ABSTRACT

This research presents a study of the compressive strength, porosity and water absorption of mortar with ternary blend cementitious system of ordinary Portland cement (OPC), silica fume (SF) and ground basalt rubble (BD). In this research, SF was used to replace OPC at a constant rate of 10% by weight of binder. Additionally, a consistent 10% rate of SF was mixed with BD at rates of 10, 15, 20, 25, and 30% by weight of binder. Water to binder ratio (W/B) with constant of 0.45 was used. Superplasticizer (SP) was used to improve the workability of mortar. Test results showed that using SF at 10% mixed with BD at rates of 10, 15, and 20% by weight of binder results in greater compressive strength, reduced porosity, and water absorption as compared to control mortar (CT). The ground basalt rubble can be developed as a new cementitious material in construction work. This study's findings can result in a reduction in both the amount of waste materials produced and the disposal burden.

คำสำคัญ: กำลังอัด ซิลิกาฟูม เศษหินบะซอลต์

Keywords: Strength, Silica fume, Basalt rubble

¹Corresponding author: sumrereng.ruk@rmutr.ac.th

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Students, Master of Engineering Program in Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

**รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Associate Professor, Department of civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

บทนำ

ปูนซีเมนต์คือวัสดุหลักในการผลิตคอนกรีตและนักวิจัยจำนวนมากศึกษาค้นคว้าวัสดุเพื่อนำมาทดแทนหรือแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยนิยมใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม เช่น แก้วถ่านหิน ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ต้องมีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials) เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานของ ASTM C618 [1] วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น [2-3] วัสดุปอซโซลานบางส่วนอาจเป็นวัสดุผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิต และผลพลอยได้เกษตรกรรม เช่น แกลบหรือแกลบหัก แก้วกลบ แก้วปาล์ม น้ำมัน และแกลบขี้เถ้า เป็นต้น

ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) เป็นวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่งซึ่งเป็นผลพลอยได้ของโรงงานผลิตซิลิกอน ซิลิกาฟุ้งมีขนาดอนุภาคที่เล็กมากและมีพื้นที่ผิวประมาณ 27,800 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม [3] และอยู่ในลักษณะไม่เป็นผลึก มีความเหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน ซิลิกาฟุ้งมีองค์ประกอบ SiO_2 มากกว่าร้อยละ 90 ที่เหลือจะเป็น Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O และออกไซด์อื่นๆ [3-4] จึงทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้เร็วและเกิดได้มากมาก อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตอาจต้องใช้ปริมาณน้ำมากกว่าปกติเพื่อปรับค่าความชื้นเหลวเนื่องจากต้องการน้ำในการเคลือบผิวมากขึ้น

หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นวัสดุได้จากอุตสาหกรรมโรงโม่หิน สำหรับประเทศไทยพบได้ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2565 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตหินบะซอลต์ปริมาณ 13,388,582 ตัน [5] ในกระบวนการผลิตจะมีเศษหินบะซอลต์เหลือทิ้งประมาณ 15% ของกำลังการผลิตทั้งหมด เศษหินบะซอลต์เหลือทิ้งส่วนหนึ่งถูกกำจัดทิ้งด้วยการนำไปใช้เป็นวัสดุถมที่และใช้ในงานก่อสร้างถนน แต่ก็ไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ทั้งหมดเนื่องจากบางส่วนมีขนาดเล็กไม่เหมาะสมกับงานที่กล่าวไว้ในข้างต้น ทำให้เป็นปัญหาในการกำจัดทิ้ง สิ้นเปลืองพื้นที่การกำจัดทิ้งและอาจก่อให้เกิดมลพิษ เช่น ฝุ่นละอองได้ อย่างไรก็ตาม หินบะซอลต์เป็นวัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่สลาย ไม่เป็นพิษ ปลอดภัยต่อพืชและสัตว์ จึงเป็นวัสดุที่ควรนำมาศึกษาศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยบางชิ้นศึกษาหินบะซอลต์เพื่อเป็นวัสดุประสานผสมกับปูนซีเมนต์ [6-7]

จากการศึกษาที่ผ่านมา นักวิจัยได้นิยมใช้ซิลิกาฟุ้งแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนและใช้หินฝุ่นบะซอลต์เป็นวัสดุประสานหรือเป็นวัสดุมวลรวม วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ใช้ซิลิกาฟุ้งผสมรวมกับเศษหินบะซอลต์บดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อเป็นระบบวัสดุประสานสามชนิด (Ternary Blend Cementitious System) ศึกษากำลังอัด ความพรุน และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้พิจารณาสำหรับใช้วัสดุเหลือทิ้งที่มีอยู่ในประเทศไทยให้เกิดประโยชน์อย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้วัสดุประสานประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14 ซิลิกาฟุ้ง (SF) สำหรับผสมคอนกรีต และใช้เศษหินบะซอลต์บด (BD) ที่ได้จากโรงโม่หินใน ตำบลอิสาน อำเภอมือง จังหวัดบุรีรัมย์ บดลดขนาดให้มีปริมาณสัดส่วนข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

ทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.59 มีขนาดโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.85 และมีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM C33 [8-9]

สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer, SP) ใช้เพื่อปรับค่าการไหลและความสามารถทำงานได้ของมอร์ตาร์ ส่วนในภาพที่ 1 ก) และ ข) แสดงตัวอย่างเศษหินบะซอลต์ก่อนและหลังบด ตารางที่ 1 แสดงสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา และตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ ซึ่งพบว่า ซิลิกาฟูม (SF) มีผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 86.6 ส่วนเศษหินบะซอลต์บด (BD) มีปริมาณของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 70.0 ในภาพที่ 2 ก) และ ข) แสดงภาพขยายกำลังสูง (SEM photograph) ของซิลิกาฟูม และเศษหินบะซอลต์บด ซึ่งพบว่าเศษหินบะซอลต์บดมีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมไม่แน่นอน การบดเศษหินบะซอลต์ส่งผลให้ตัวบดตกกระทบในถังบดอนุภาคของเศษหินบะซอลต์จึงแตกเกิดเป็นเหลี่ยมมุมดังกล่าว



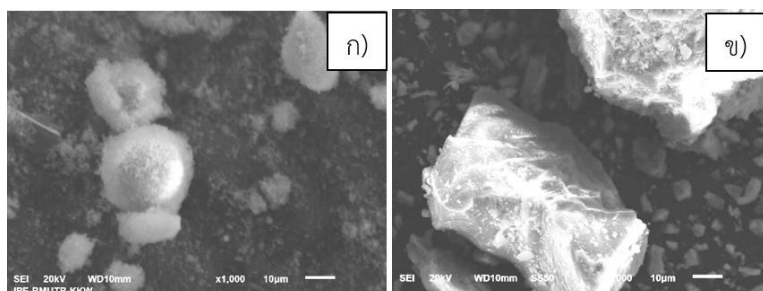
ภาพที่ 1 เศษหินบะซอลต์ ก) ก่อนบด และ ข) หลังบด

ตารางที่ 1 สมบัติพื้นฐานของวัสดุ

สมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC)	เศษหินบะซอลต์บด (BD)	ซิลิกาฟูม (SF)
ความถ่วงจำเพาะ	3.14	2.90	2.22
พื้นที่ผิวจำเพาะโดย Blaine Fineness (cm^2/g)	3,400	7,400	-
BET (m^2/kg)	-	-	22,000

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

Oxides (%)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC)	เศษหินบะซอลต์บด (BD)	ซิลิกาฟูม (SF)
SiO_2	17.0	54.0	86.0
Al_2O_3	5.0	14.0	0.3
Fe_2O_3	16.0	2.0	0.3
CaO	50.0	2.0	0.7
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	38.0	70.0	86.6



ภาพที่ 2 ภาพขยายกำลังสูง (SEM photograph) ก) ซิลิกาฟุ้ง และ ข) เศษหินบะชอลต์บด

2. ส่วนผสมและการบ่มมอร์ตาร์

ส่วนผสมมอร์ตาร์สำหรับงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1:2.75 ใช้ SF แทนที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ใช้ SF ในปริมาณคงที่ร้อยละ 10 ผสมรวมกับ BD ในปริมาณร้อยละ 10-30 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยระบบวัสดุประสานสามชนิด โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้คงที่เท่ากับ 0.45 และใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อปรับค่าการไหลแผ่และความสามารถทำงานได้ด้วยโต๊ะทดสอบค่าการไหลตามมาตรฐานของ ASTM C230 [10] โดยควบคุมการไหลแผ่ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 105 ถึง 115 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C618 [1]

มอร์ตาร์ระบบวัสดุประสานสามชนิด ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย SF ในปริมาณร้อยละ 10 รวมกับ BD ในปริมาณร้อยละ 10 (10SF+10BD), SF ในปริมาณร้อยละ 10 รวมกับ BD ในปริมาณร้อยละ 15 (10SF+15BD), SF ในปริมาณร้อยละ 10 รวมกับ BD ในปริมาณร้อยละ 20 (10SF+20BD), SF ในปริมาณร้อยละ 10 รวมกับ BD ในปริมาณร้อยละ 25 (10SF+25BD) และ SF ในปริมาณร้อยละ 10 รวมกับ BD ในปริมาณร้อยละ 30 (10SF+30BD) โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้เครื่องผสมในการผสมมอร์ตาร์ เริ่มต้นโดยการติดตั้งใบพายและอ่างผสมแห้งเข้ากับเครื่องผสม จากนั้นเทน้ำที่ใช้ผสมลงในอ่างผสมทั้งหมด เติมวัสดุประสานและเดินเครื่องผสมด้วยความเร็วต่ำ ลำดับถัดมาเติมทรายอย่างช้า ๆ ให้หมด แล้วหยุดเครื่องผสมเพื่อเปลี่ยนความเร็วรอบเป็นปานกลาง หยุดเครื่องผสมเมื่อวัสดุทั้งหมดเริ่มเข้ากัน จากนั้นชูดมอร์ตาร์ที่กันอย่างผสมเพื่อให้วัสดุเป็นเนื้อเดียวกันและเริ่มเดินเครื่องผสมใหม่อีกครั้ง หลังจากที่มีมอร์ตาร์เป็นเนื้อเดียวกันดีแล้ว นำมอร์ตาร์เทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้และทำให้แน่นด้วยเครื่องสั่นหรือเหล็กกระทุ้ง จากนั้นทำการตกแต่งผิวให้เรียบและทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องได้ที่ $25 \pm 3^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดแบบและนำมอร์ตาร์บ่มในน้ำสะอาด จนกระทั่งครบอายุการทดสอบ โดยทดสอบกำลังอัด ความพรุน และการดูดซึมน้ำ ในตารางที่ 3 แสดงส่วนผสมของมอร์ตาร์

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ในระบบวัสดุประสานสามชนิดด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซิลิกาฟูม และเศษหินบะซอลต์บด

Sample ID	W/B	OPC (%)	SF (%)	BD (%)	Sand (%)	Flow (%)	SP (%)
CT	0.45	100	-	-	275	106	0.36
10SF	0.45	90	10	-	275	115	0.51
10SF+10BD	0.45	80	10	10	275	105	0.46
10SF+15BD	0.45	75	10	15	275	105	0.46
10SF+20BD	0.45	70	10	20	275	115	0.48
10SF+25BD	0.45	65	10	25	275	115	0.48
10SF+30BD	0.45	60	10	30	275	112	0.48

สัญลักษณ์:

- OPC คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- BD คือ เศษหินบะซอลต์บด
- SP คือ สารลดน้ำพิเศษ (%) โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
- Sample ID XXSF และ XXSF+XXBD โดยที่ XX คือ ร้อยละของปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย SF และ BD

วิธีการทดสอบ

1. การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

ทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์โดยใช้แบบหล่อมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 50 × 50 × 50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C109 [11] ทดสอบกำลังอัดที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์เพื่อทดสอบกำลังอัดจำนวน 3 ก้อน เพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังอัด

2. การทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์

ความพรุนใช้การประยุกต์การทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C642 [12] ใช้แบบหล่อมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 50 × 50 × 50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C109 [11] ใช้ตัวอย่างการทดสอบมอร์ตาร์จำนวน 3 ก้อน เพื่อกำหนดค่าเฉลี่ย ทดสอบความพรุนที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน การคำนวณความพรุนแสดงไว้ในสมการที่ (1)

$$P = \left(\frac{W_a - W_d}{W_a - W_w} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ P คือ ร้อยละความพรุน (%), W_d คือ น้ำหนักมอร์ตาร์ที่อบตัว (กก.), W_a คือ น้ำหนักมอร์ตาร์อบแห้ง (กก.) และ W_w คือ น้ำหนักมอร์ตาร์ชั่งในน้ำ (กก.)

3. การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์โดยใช้แบบหล่อมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 50 × 50 × 50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยใช้วิธีนำก้อนตัวอย่างบรรจุลงในหม้อที่มือน้ำกลั่นและปิดฝา จากนั้นต้มที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ก้อนตัวอย่างอิ่มตัวแทนการใช้ Vacuum Desiccator ซึ่งเป็นการประยุกต์การทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C642 [12] ทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์เพื่อทดสอบจำนวน 3 ก้อน เพื่อหาค่าเฉลี่ย การคำนวณการดูดซึมน้ำแสดงไว้ในสมการที่ (2)

$$W_a = \left(\frac{C - A}{A} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_a คือ ร้อยละการดูดซึมน้ำ (%), C คือ น้ำหนักมอร์ตาร์ที่อิ่มตัว (กก.) และ A คือ น้ำหนักมอร์ตาร์อบแห้ง (กก.)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

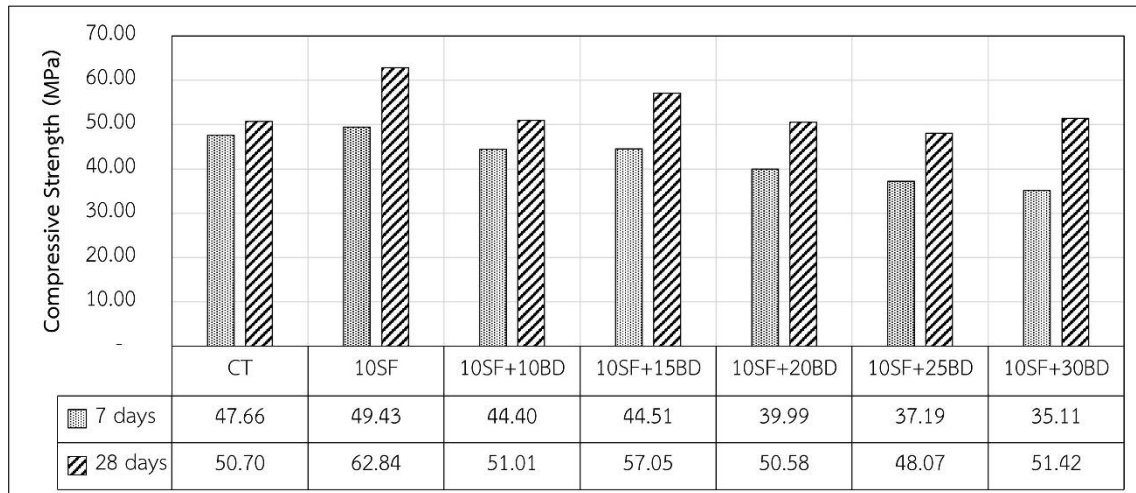
ในภาพที่ 3 และ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดและร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน กำลังอัดของมอร์ตาร์พัฒนาตามอายุการทดสอบ กล่าวคือ กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดสูงกว่าที่อายุ 7 วัน ในทุกส่วนผสม การศึกษาชี้ให้เห็นว่า มอร์ตาร์ที่ใช้ซิลิกาฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ ในปริมาณร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ทุกส่วนผสม เนื่องจากความละเอียดและขนาดอนุภาคที่เล็กมากของซิลิกาฟูมส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี [3-4, 13]

ที่อายุการทดสอบ 7 วัน มอร์ตาร์ 10SF มีค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ CT แต่เมื่อใช้เศษหินบดผสมรวมกับซิลิกาฟูมและนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์พบว่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลง กล่าวคือ ที่อายุ 7 วัน มอร์ตาร์ 10SF+10BD, 10SF+15BD, 10SF+20BD และ 10SF+30BD มีค่าร้อยละกำลังอัดเท่ากับร้อยละ 74-93 ของมอร์ตาร์ CT

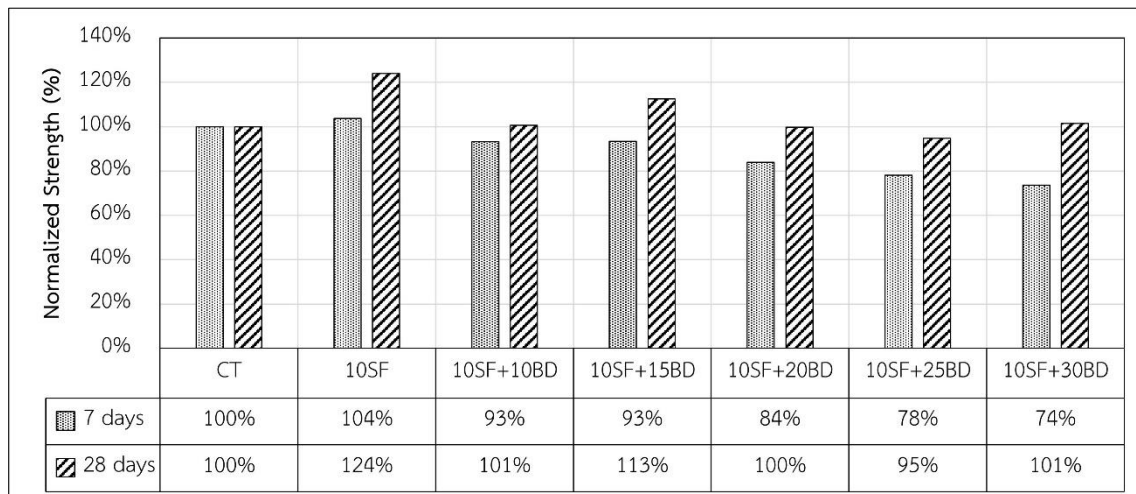
ที่อายุการทดสอบที่ 28 วัน พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ BD ผสมรวมกับ SF ในปริมาณร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีแนวโน้มค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ CT การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ BD ผสมรวมกับซิลิกาฟูม กำลังอัดในช่วงอายุต้นของมอร์ตาร์มีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม และเมื่ออายุการทดสอบเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้น [6-7] ยกตัวอย่าง เช่น ที่อายุ 28 วัน พบว่า มอร์ตาร์ 10SF+10BD, 10SF+15BD และ 10SF+20BD มีค่าร้อยละกำลังอัดเท่ากับ ร้อยละ 100-113 เทียบกับมอร์ตาร์ CT

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงแนะนำว่า เมื่อใช้ซิลิกาฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณคงที่ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถใช้เศษหินบดผสมรวมได้ในปริมาณร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ซึ่งจะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่ามอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน (CT) เนื่องจากปริมาณสัดส่วนการแทนที่ดังกล่าวเป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเกื้อหนุนกันของวัสดุทั้งสอง [14-15] นอกจากนั้น รูปร่างอนุภาคที่เล็กของซิลิกาฟูมกับเศษหินบดที่ผ่านการบด สามารถแทรกตัวได้ดีส่งผลให้พื้นที่ผิวที่มากสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีขึ้นและสามารถแทรกตัวเข้าไปอุดรูพรุนของมอร์ตาร์ มอร์ตาร์จึงมีความแข็งแรงมากขึ้น [6, 16]

การศึกษานี้พบว่า การใช้เศษหินบดผสมรวมเพิ่มขึ้นในปริมาณร้อยละ 25-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน แนวโน้มของกำลังอัดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้ปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจาก ขนาดอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมมุมของเศษหินบดผสมบางส่วนอาจไปขัดกันเองในส่วนผสม จึงไม่สามารถแทรกตัวในโพรงให้มอร์ตาร์ได้ทั้งหมดเมื่อใช้เศษหินบดผสมในปริมาณที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม เหตุผลนี้จึงน่าสนใจในการศึกษาเพิ่มเติมในด้านของโครงสร้างระดับจุลภาคเพื่อใช้ยืนยันผลที่ได้ในข้างต้น



ภาพที่ 3 กำลังอัดของมอร์ตาร์



ภาพที่ 4 ร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์

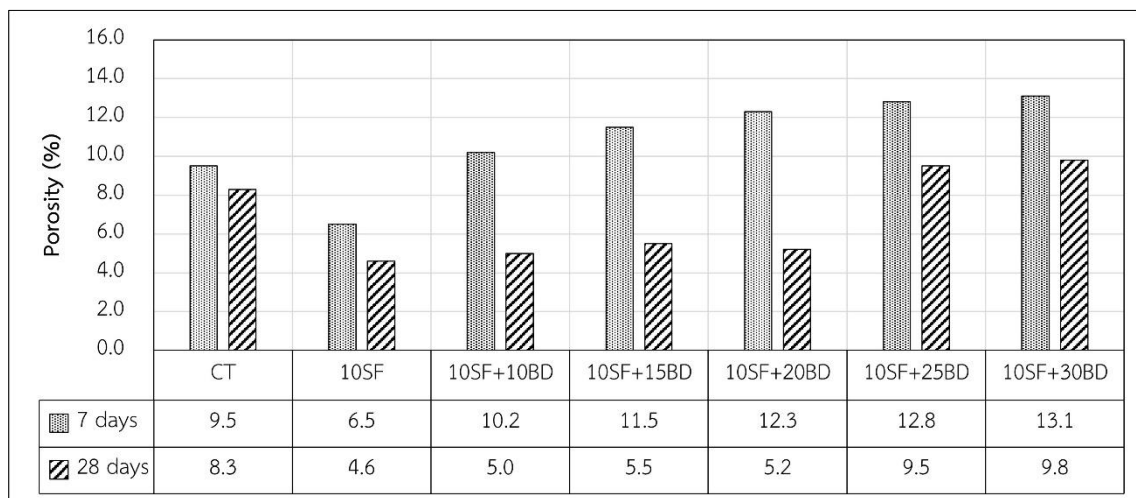
2. ผลการทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์แสดงไว้ในภาพที่ 5 เมื่อพิจารณาที่อายุการทดสอบ 7 วัน พบว่า ร้อยละความพรุนลดลงเมื่อใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม (CT) การใช้เศษหินบะชอลต์ผสมรวมกับซิลิกาฟุ่มในปริมาณร้อยละ 10-30 พบว่า ร้อยละความพรุนเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่อายุต้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานยังเกิดได้ไม่มาก ผลการทดสอบนี้มีทิศทางคล้ายผลการทดสอบกำลังอัดตัวอย่าง เช่น ที่อายุ 7 วัน มอร์ตาร์ 10SF+10BD, 10SF+15BD, 10SF+20BD และ 10SF+30BD มีค่าความพรุนสูงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ CT จึงส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลง อย่างไรก็ตาม การใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน พบว่า มีค่าร้อยละความพรุนต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาฟุ่มและขนาดอนุภาคที่เล็กมากส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานและเกิดการแทรกตัวของอนุภาคได้เต็มมอร์ตาร์จึงมีความทึบแน่นขึ้น [6, 13, 15-16]

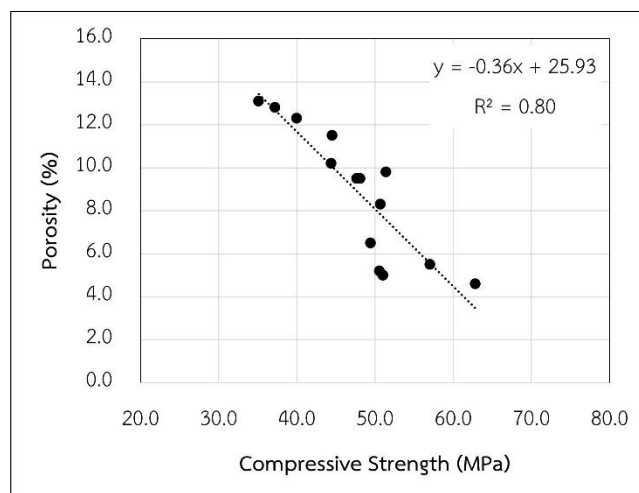
ที่อายุการทดสอบ 28 วัน พบว่าการใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ในปริมาณร้อยละ 10 และการใช้เศษหินบะชอลต์ผสมรวมกับซิลิกาฟุ่มในปริมาณร้อยละ 10-20 มีค่าร้อยละความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน

เนื่องจากการแทนที่ในปริมาณที่เหมาะสมของวัสดุทั้งสองจึงเกิดการเกี่ยวพันกันของวัสดุที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วและเกิดได้มากในช่วงอายุการทดสอบที่มากขึ้น [14-15]

การใช้เศษหินบะซอลต์บดผสมรวมกับซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 25-30 พบว่า ความพรุนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับส่วนผสมมอร์ตาร์อื่น ค่าร้อยละความพรุนของมอร์ตาร์ลดลงเมื่ออายุการทดสอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดได้มากในอายุการทดสอบที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดจากองค์ประกอบของซีเมนต์ที่มีอยู่ในวัสดุปอซโซลานส่งผลให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นมากขึ้น [13, 16] อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการโครงสร้างระดับจุลภาคเพื่อนำผลไปใช้ยืนยันการทดสอบกับผลของกำลังอัดและความพรุน นอกจากนั้น ในการศึกษาชี้ให้เห็นว่า เมื่อความพรุนเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังอัดลดลง ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์หรือคอนกรีตควรพิจารณาความพรุนเนื่องจากเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของมอร์ตาร์ [17] ดังแสดงในภาพที่ 6



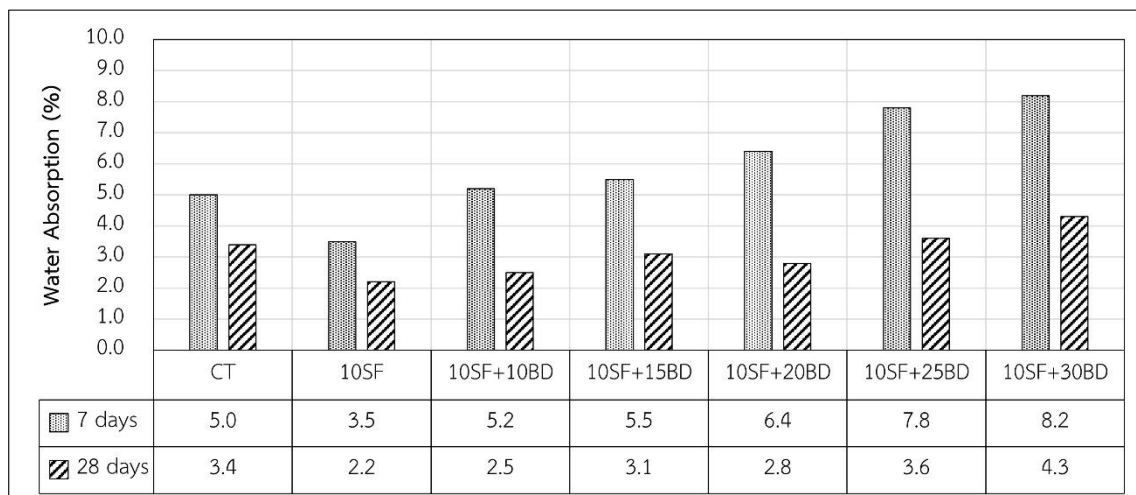
ภาพที่ 5 ร้อยละความพรุนของมอร์ตาร์



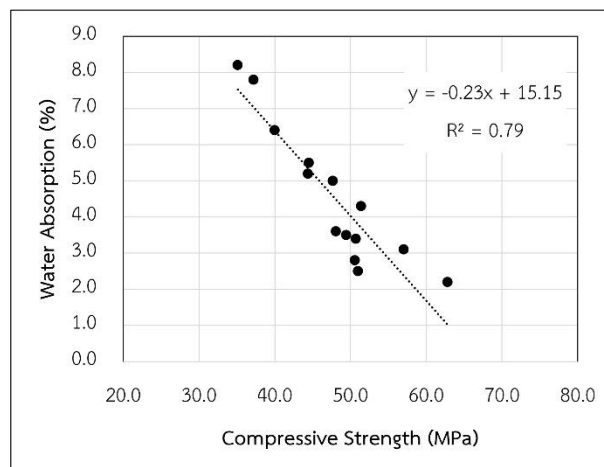
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของร้อยละความพรุนและกำลังอัดของมอร์ตาร์

3. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์แสดงไว้ในภาพที่ 7 ผลการทดสอบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความพรุนแตกต่างกันเพียงหน่วยของการวัดค่า กล่าวคือ ที่อายุ 7 และ 28 วัน พบว่า การใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ลดค่าการดูดซึมน้ำเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน (CT) เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาในซิลิกาฟุ่มสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซแลนกับปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มเติมจึงเพิ่มความทึบแน่นให้กับมอร์ตาร์ [2-4] ที่อายุการทดสอบ 7 วัน พบว่าการใช้เศษหินบะซอลต์บดผสมรวมกับซิลิกาฟุ่มในปริมาณร้อยละ 10-30 ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน (CT) และมอร์ตาร์ที่ใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 (10SF) ส่วนที่อายุการทดสอบเพิ่มขึ้น 28 วัน พบว่าการใช้เศษหินบะซอลต์บดผสมรวมกับซิลิกาฟุ่มในปริมาณร้อยละ 10-20 มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน (CT) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 25-30 พบว่าขนาดของอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมมุมของเศษหินบะซอลต์บดบางส่วนไม่สามารถเข้าไปแทรกตัวในโพรงมอร์ตาร์ได้ดีเนื่องจากการขัดกันเองของอนุภาค ความทึบแน่นของมอร์ตาร์จึงลดลงอาจส่งผลให้การซึมผ่านเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาภาพที่ 8 พบว่าเมื่อร้อยละการดูดซึมน้ำลดลงส่งผลให้ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 7 ร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของร้อยละการดูดซึมน้ำและกำลังอัดของมอร์ตาร์

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า เศษหินบะซอลต์บดสามารถใช้ผสมรวมกับซิลิกาฟุ่มเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในระบบวัสดุประสานสามชนิดเพื่อผลิตมอร์ตาร์ได้ เมื่อใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณคงที่ที่ร้อยละ 10 ร่วมกับเศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 10-20 สามารถผลิตมอร์ตาร์ได้โดยให้ค่ากำลังอัดที่สามารถใช้งานก่อสร้างได้ หากต้องการใช้เศษหินบะซอลต์บดเกินกว่าร้อยละ 20 ควรมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเนื่องจากกำลังอัดมีแนวโน้มลดลงซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมมุมของวัสดุเกิดการขัดกัน ทำให้เกิดช่องว่างและรูพรongเป็นผลให้ค่าความพรุนมีแนวโน้มสูงขึ้น การใช้ประโยชน์เศษหินบะซอลต์สร้างเป็นนวัตกรรมวัสดุประสานชนิดใหม่ในการผลิตคอนกรีตหรือมอร์ตาร์สามารถลดพื้นที่กำจัดทิ้ง ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้ง นอกจากนั้น การพัฒนาวัสดุก่อสร้างจากวัสดุเหลือทิ้งส่งผลให้สามารถเพิ่มคุณค่าให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งเป็นการบริหารจัดการสังคมและสิ่งแวดล้อม สามารถเพิ่มรายได้ในการจำหน่ายวัสดุเหลือทิ้งได้ หากสามารถพัฒนาศักยภาพของเศษหินบะซอลต์อย่างต่อเนื่องเพื่อค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับใช้เป็นนวัตกรรมวัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ในเชิงพาณิชย์ได้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในด้านวัสดุก่อสร้างในประเทศไทยได้อย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ASTM C618. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete. Annual Book of ASTM Standards. 2005;04.02:323–5.
2. Hassan KE, Cabrera JG, Maliehe RS. The effect of mineral admixtures on the properties of high-performance concrete. Concrete Cement and Concrete Composites. 2000;22:267–71.
3. Ahmad S, Omar S, Baghabra Al-Amoudi, Khan MS, Maslehuddin M. Effect of silica fume inclusion on the strength, shrinkage and durability characteristics of natural pozzolan-based cement concrete. Case Studies in Construction Materials. 2022;17:e01255.
4. Mardani-Aghabaglou A, Inan Sezer G, Ramyar K. Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point. Construction and Building Materials. 2014;70(15):17–25.
5. Statistics and Data Group, Information Technology Center, Department of Primary Industries and Mines. Mineral Production of Thailand 2020–2022 [Internet]. 2022 [updated 2024 Aug 20; cited 2024 Aug 20]. Available from: <http://www7.dpim.go.th/stat/production.php?pduct=%25&pdcode=%25&pdyear1=2020&pdyear2=2022>
6. El-Didamony H, Helmy IM, Osman RM, Habboud AM. Basalt as pozzolana and filler in Ordinary Portland cement. American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015;8(2):263–74.
7. Moawad SMM, Ragab AER, Younis S. Effect of the natural pozzolanic basalt on high-strength concrete. Mansoura Engineering Journal. 2023;48:1e16.

8. ASTM C33. Standard specification for concrete aggregates. Annual Book of ASTM Standards. 2005;04.02:10–20.
9. ASTM C136. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. Annual Book of ASTM Standards. 2005;04.02:88–92.
10. ASTM C230. Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement. Annual Book of ASTM Standards. 2005;04.01:206–11.
11. ASTM C109. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or [50 mm] cube specimens). Annual Book of ASTM Standards. 2005;04.01:76–81.
12. ASTM C642. Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. Annual Book of ASTM Standards. 2005;04.02:338–40.
13. Neville AM. *Properties of concrete*. 4th ed. Malaysia: Longman Group Limited; 1999.
14. Rukzon S, Chindaprasirt P. Use of ternary blend of Portland cement and two pozzolans to improve durability of high-strength concrete. *KSCE Journal of in Civil Engineering*. 2014;18(6):1745–52.
15. Rukzon S, Chindaprasirt P. Strength, chloride penetration and corrosion resistance of ternary blends of Portland cement self-compacting concrete containing bagasse ash and rice husk-bark ash. *Chiang Mai Journal Science*. 2018;5(4):1863–74.
16. Rukzon S, Chindaprasirt P, Mahachai R. Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2009;16(2):242–7.
17. Chindaprasirt P, Rukzon S. Strength, porosity and corrosion resistance of blended Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Construction and Building Materials*. 2008;22(8):1601–6.