

กำลังอัด การต้านทานและการกัดกร่อนต่อคลอไรด์ของมอร์ตาร์ผสมเศษหินบะซอลต์บด Strength, Chloride and Corrosion Resistance of Mortar Containing Ground Basalt Rubble

กนิษฐา เหลืองงามขำ (Kanittha Luengngamkham)* ดร.สำเริง รักษ์ซ้อน (Dr.Sumrerng Rukzon)^{1**}

(Received: October 17, 2024; Revised: December 7, 2024; Accepted: December 9, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาเศษหินบะซอลต์บดเป็นวัสดุประสานสำหรับผลิตมอร์ตาร์ใช้เศษหินบะซอลต์บด (BS) แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) คงที่เท่ากับ 0.43 โดยส่วนผสมของมอร์ตาร์ใช้สารลดน้ำพิเศษ (SP) เพื่อควบคุมการทำงานได้ของส่วนผสมมอร์ตาร์ ศึกษากำลังอัด การต้านทานคลอไรด์ และการต้านการกัดกร่อนของมอร์ตาร์ ผลการทดสอบพบว่า การใช้เศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ส่งผลให้ความสามารถในการรับกำลังอัด การต้านทานคลอไรด์ และการกัดกร่อนลดลง อย่างไรก็ตาม การใช้เศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน พบว่ามอร์ตาร์มีค่ากำลังอัดสูง สามารถต้านทานคลอไรด์ และการกัดกร่อนดีขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้เศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

ABSTRACT

This research presents the development of ground basalt rubble as a cementitious material for producing mortar. Ordinary Portland Cement Type I (OPC) was partially replaced with ground basalt rubble (BS) at the dosage levels of 0%, 10%, 20%, 30% and 40% by weight of cementitious material. A water to binder ratio (W/B) with constant of 0.43 was used. Superplasticizer (SP) was used to control the workability of mortar mixes. Compressive strength, chloride resistance and resistance to the corrosion of mortar were investigated. Test results were found that the use of ground basalt rubble at the dosage levels of 20%-40% by weight of cementitious material decreased compressive strength, chloride resistance and also decreased resistance to the corrosion of mortar. However, the use of ground basalt rubble at the dosage levels of 10% by weight of cementitious material improved strength, chloride resistance and resistance to the corrosion of mortar in comparison with those of ground basalt rubble at the dosage levels of 0%, 20%, 30% and 40% by weight of cementitious material.

คำสำคัญ: บะซอลต์ คลอไรด์ กำลังอัด

Keywords: Basalt, Chloride, Compressive strength

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

*นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Students, Master of Engineering Program in Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

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

บทนำ

ซีเมนต์ (Cement) คือ วัสดุที่แข็งตัวได้เมื่อผสมกับน้ำ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้มีความสามารถในการยึดเกาะอนุภาคที่เป็นของแข็งให้รวมตัวกัน สามารถผสมกับวัสดุอื่นๆ เช่น ทราย เพื่อผลิตมอร์ตาร์ หรือผสมกับทรายและหินเพื่อผลิตคอนกรีต ซีเมนต์มีหลายประเภท แต่ละประเภทมีคุณสมบัติและการใช้งานที่แตกต่างกัน มักถูกใช้ในงานก่อสร้างต่างๆ เช่น อาคาร ถนน และโครงสร้างอื่นๆ เนื่องจากมีความทนทานและสามารถรองรับน้ำหนักได้ดี ซีเมนต์จึงเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญและนิยมใช้อย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ปัจจุบัน นักวิจัยพยายามค้นคว้าวัสดุเพื่อใช้แทนที่หรือทดแทนปูนซีเมนต์ เพื่อลดการใช้ซีเมนต์ โดยเฉพาะการศึกษาวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมสำหรับใช้ประโยชน์เพื่อลดปัญหาของเหลือทิ้งหรือกองทิ้งซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียงได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยวัสดุที่นิยมศึกษา คือ วัสดุพอซโซลาน (Pozzolan Materials) วัสดุพอซโซลาน (Pozzolan Materials) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วัสดุพอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolan) และวัสดุพอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolan) ในประเทศไทย วัสดุพอซโซลานธรรมชาติที่พบได้ เช่น แถ่ถ่านหิน แถ่กลบ และเถ้าขานอ้อย เป็นต้น วัสดุเหล่านี้มีสารซิลิกา (Silica) หรือซิลิกาและอะลูมินา (Silica and Alumina) เป็นส่วนประกอบหลัก [1-5] โดยที่สารประกอบเคมีหลัก SiO_2 ที่มีอยู่ในวัสดุพอซโซลานสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำผ่านกระบวนการไฮเดรชัน และเกิดปฏิกิริยาพอซโซลาน ส่งผลให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) กระจายอยู่ ทำให้ลดขนาดเฉลี่ยของโพรง ส่งผลให้มอร์ตาร์หรือคอนกรีตมีเนื้อแน่นและแข็งแรงมากยิ่งขึ้น [2, 6-7] หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมโรงโม่หิน ซึ่งในประเทศไทยพบได้ทางตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งในปี พ.ศ.2565 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตหินบะซอลต์ปริมาณ 13,388,582 ตัน [8] ในกระบวนการผลิตจะมีเศษหินบะซอลต์เหลือทิ้งประมาณ 15% ของกำลังการผลิตทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ผลพลอยได้จากหินบะซอลต์อาจกลายเป็นปัญหาด้านวัสดุเหลือทิ้ง โดยการกองทิ้งวัสดุเหล่านี้สามารถส่งผลกระทบต่อพื้นที่กำจัดทิ้งและสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องมีการจัดการที่เหมาะสมเพื่อใช้ประโยชน์จากหินบะซอลต์และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าหินบะซอลต์ มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เป็นออกไซด์หลัก [1, 9-12] จึงน่าสนใจในการศึกษาเป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ซึ่งจากตัวอย่างการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของ Serhat Çelikten and Bilal Baran [12] ได้ศึกษาการใช้เศษผงหินบะซอลต์แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อผลิตมอร์ตาร์กำลังอัดสูง การศึกษาพบว่า เศษผงหินบะซอลต์สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ในปริมาณร้อยละ 15 ซึ่งส่งผลให้มอร์ตาร์มีความแข็งแรง ทนทานต่ออุณหภูมิสูง ส่วนงานของ El-Didamony และคณะ พบว่าการใช้หินบะซอลต์แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 20 ส่งผลให้กำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว การใช้หินบะซอลต์ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดในช่วงเริ่มต้นน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนแต่กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ [13]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาหินบะซอลต์ในประเทศไทยเป็นวัสดุพอซโซลานเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน จากนั้นศึกษาผลของปริมาณการแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ สำหรับใช้ผลิตเป็นซีเมนต์มอร์ตาร์ ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้องการสารลดน้ำพิเศษ กำลังอัด ความต้านทานคลอไรด์ และการต้านทานการกัดกร่อนเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ของมอร์ตาร์ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำเศษหินบะซอลต์ไปใช้ในงานมอร์ตาร์หรือคอนกรีตต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลัังอัด ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ และความต้านทานการกัดกร่อนเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ของ ซีเมนต์มอร์ตาร์ ผสมเศษหินบะชอลต์บด

วิธีการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

การศึกษานี้ใช้วัสดุประสานเป็น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท ที่ 1 (OPC) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14 และใช้เศษหินบะชอลต์บด (BS) ที่ได้จากโรงโม่หิน ในตำบลอิสาน อำเภอมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งบดให้มีความละเอียดที่มีปริมาณสัดส่วนค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้ใช้ทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด โดยเป็นทรายสำหรับงานวิศวกรรมโครงสร้างซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.59 มีขนาดมอดุลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.85 และมีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM C33 และ C136 [14-15] การศึกษานี้ใช้สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer, SP) เพื่อปรับค่าการไหลแผ่และความสามารถทำงานได้ของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C230 [16] ในภาพที่ 1 และ 2 แสดงหินบะชอลต์ขนาดเดิมจากโรงโม่หิน และหลังบดละเอียด ส่วนในตารางที่ 1 และ 2 แสดงสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์กับเศษหินบะชอลต์บด



ภาพที่ 1 เศษหินบะชอลต์ขนาดเดิมจากโรงโม่หิน



ภาพที่ 2 เศษหินบะชอลต์หลังบดละเอียด

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของ OPC และ BS

สมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์ พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC)	เศษหินบะชอลต์บด (BS)
ค่าแรงมาตรฐานเบอร์ 325 (%)	-	20
ความถ่วงจำเพาะ	3.14	2.85
พื้นที่ผิวจำเพาะโดย Blaine Fineness (cm ² /gram)	3,400	7,200

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของ OPC และ BS

Oxides	ปูนซีเมนต์ พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC)	เศษหินบะชอลต์บด (BS)
SiO ₂	20	54
Al ₂ O ₃	5	14
Fe ₂ O ₃	3.1	2
CaO	65	1.9
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	28.1	70

2. ส่วนผสมของมอร์ตาร์และการบ่ม

ใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดของมอร์ตาร์เท่ากับ 1:2.75 ใช้เศษหินบะชอลต์บด (BS) แทนที่ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC) ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน การศึกษานี้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้ค่าคงที่เท่ากับ 0.43 ส่วนผสมของงานวิจัยนี้ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อปรับค่าการไหลเพื่อให้มีความสามารถทำงานได้ ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อควบคุมค่าการไหลให้ได้เท่ากับร้อยละ 105-115 ตามมาตรฐานของ ASTM C230 [16] นำส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่หล่อไว้ในแบบหล่อ ที่ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 3°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดแบบและบ่มในน้ำสะอาดจนครบอายุการทดสอบที่ 7 และ 28 วัน จากนั้นนำไปทดสอบกำลังอัด ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ และความต้านทานการกัดกร่อนเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ ในตารางที่ 3 แสดงส่วนผสมของมอร์ตาร์

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ (% by weight)

Sample ID	W/B	Cement (OPC) (%)	BS (%)	Sand (%)	Flow (%)	SP (%)
CT	0.43	100	-	275	110	0.40
10%BS	0.43	90	10	275	108	0.38
20%BS	0.43	80	20	275	110	0.34
30%BS	0.43	70	30	275	111	0.32
40%BS	0.43	60	40	275	112	0.31

สัญลักษณ์: OPC คือ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, BS คือ เศษหินบะชอลต์บด, SP คือ สารลดน้ำพิเศษ และ XX%BS, โดยที่ XX คือ ร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย BS โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

3. การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

กำลังอัดของมอร์ตาร์ใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มิลลิเมตร โดยใช้ตามมาตรฐานของ ASTM C109 [17] เมื่อหล่อส่วนผสมของมอร์ตาร์แล้วทิ้งไว้ที่ห้องอุณหภูมิปกติที่ $25 \pm 3^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นแกะแบบและบ่มตัวอย่างในน้ำสะอาด เมื่อครบอายุที่ 7 และ 28 วัน นำไปทดสอบกำลังอัดโดยใช้ก้อนตัวอย่างการทดสอบมอร์ตาร์จำนวน 3 ก้อนต่ออายุการทดสอบ เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยกำลังอัด ในภาพที่ 3 และ 4 แสดงก้อนตัวอย่างทดสอบและการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ก้อนตัวอย่างทดสอบกำลังอัด



ภาพที่ 4 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

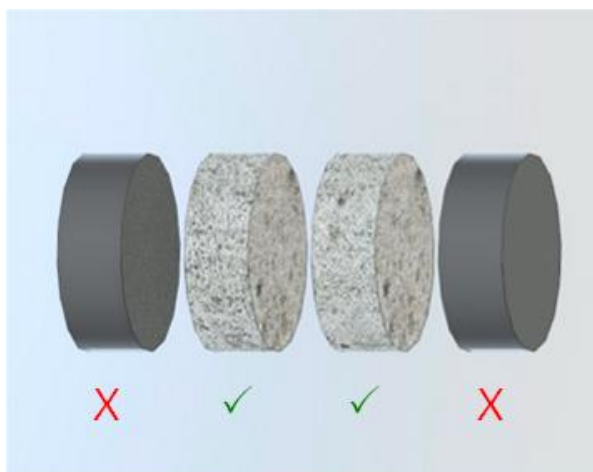
4. การทดสอบความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์

ทำการทดสอบหาค่าความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ ใช้การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1202 [18] โดยการนำก้อนตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C39 [19]

เมื่อครบอายุทดสอบ ตัดตัวอย่างทดสอบที่บริเวณกึ่งกลางคือประมาณ 100 มิลลิเมตร โดยให้ความหนาประมาณด้านละ 50 มิลลิเมตร จะได้ตัวอย่าง 2 ชิ้นกลางเพื่อนำไปทดสอบ ดังในภาพที่ 5

นำก้อนตัวอย่างที่ได้ไปเคลือบด้วยอีพ็อกซี (Epoxy) ด้านข้างโดยรอบ ดังในภาพที่ 6 จากนั้นทำให้ตัวอย่างอิมตัว แล้วจึงนำก้อนตัวอย่างประกอบเข้าเซลล์ทดสอบ โดยให้เซลล์ทั้ง 2 ข้างประกบก้อนตัวอย่างเอาไว้แล้วทำการเคลือบด้วยซิลิโคน (Silicone) เพื่อป้องกันการรั่วซึมช่วงรอยต่อ เมื่อ Silicone แห้งแล้วจึงเติมสารละลายเข้าเซลล์ทั้ง 2 ข้าง โดยเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก (3% NaCl) ลงในเซลล์ซ้าย และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นเท่ากับ 0.3 N (0.3 N NaOH) ลงในเซลล์ขวามือ ดังในภาพที่ 7 จากนั้นทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1202 [18] ทดสอบที่อายุ 28 วัน และวัดค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านโดยพิจารณาผลรวมของประจุไฟฟ้าเป็นคูลอมบ์ [7] โดยใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างหาค่าเฉลี่ย

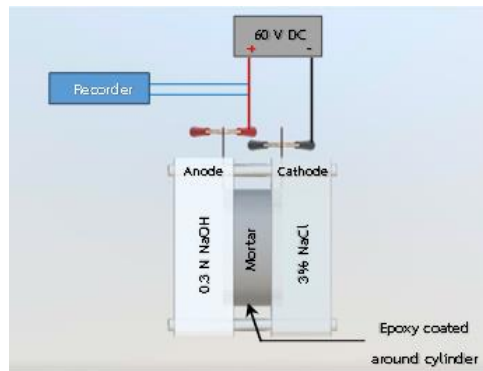
ในการทดสอบกับตัวอย่างที่เป็นมอร์ตาร์ ได้รายงานและวิเคราะห์ผลในค่าของประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (คูลอมบ์) ว่ามีค่ามากหรือน้อยซึ่งไม่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีต แต่จะพิจารณาว่า เมื่อค่าของคูลอมบ์น้อยส่งผลให้การต้านทานคลอไรด์ดีกว่าค่าของคูลอมบ์ที่มาก



ภาพที่ 5 มอร์ตาร์สำหรับทดสอบความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์



ภาพที่ 6 การเคลือบตัดตัวอย่างมอร์ตาร์ด้วยอีพ็อกซี



ภาพที่ 7 การประกอบเซลล์สำหรับทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ (Rapid chloride penetration test, RCPT)

5. การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์

การศึกษานี้ใช้การทดสอบการกัดกร่อนแบบแรงในห้องปฏิบัติการ [20-21] เนื่องจากการทดสอบจริงในภาคสนามอาจต้องใช้ระยะเวลาในการทดสอบ เพื่อเร่งให้เหล็กเสริมถูกกัดกร่อน เกิดการสูญเสียมวลเหล็กและเกิดการขยายตัวของสนิมเหล็ก จนทำให้มอร์ตาร์ที่หุ้มเหล็กเกิดการแตกร้าว การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาดเท่ากับ 40x40x160 มิลลิเมตร ที่มีเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ในบริเวณส่วนกลางของตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยระยะเหล็กเสริมวัดจากผิวล่างมอร์ตาร์ถึงปลายผิวล่างของเหล็กเสริมเท่ากับ 25 เซนติเมตร หลังถอดแบบตัวอย่างออกที่ 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างบ่มในน้ำสะอาดเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นนำไปทดสอบด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (5% NaCl) และทำการเร่งการทดสอบโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ดีซี (12 volt DC) โดยให้ส่วนที่เป็นสารละลายเป็นขั้วลบ (Cathode) และเหล็กเสริมเป็นขั้วบวก (Anode) ระหว่างทั้งสองขั้วให้แรงดันไฟฟ้า ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยการดูระยะเวลาที่ทำให้มอร์ตาร์เกิดการวิบัติหรือรอยแตกเริ่มแรกที่มองเห็น (Time of first crack) บันทึกค่าระยะเวลาที่มอร์ตาร์เริ่มแตก ดังในภาพที่ 8 และ 9 โดยใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยการสังเกตรอยแตกเริ่มแรก



ภาพที่ 8 ตัวอย่างมอร์ตาร์สำหรับทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์



ภาพที่ 9 การทดสอบการกัดกร่อนแบบเร่ง

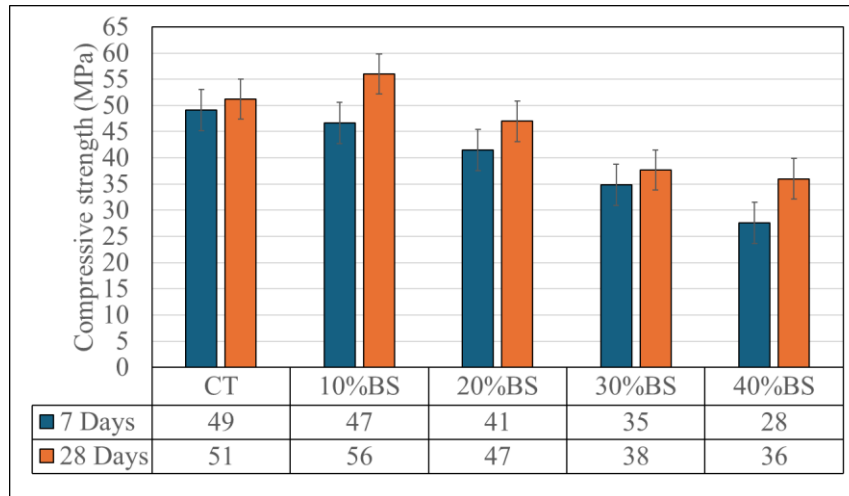
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการทดสอบกำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์

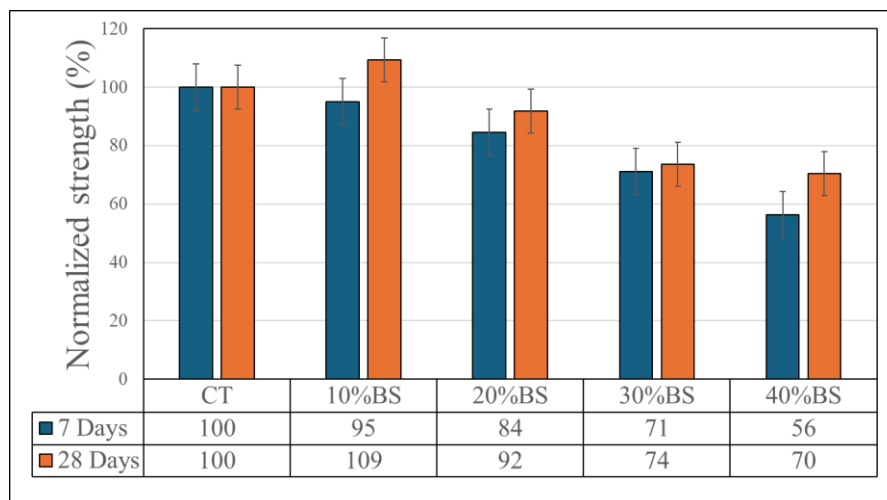
ในภาพที่ 10 และ 11 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้เศษหินบะชอลต์บดแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน การทดสอบพบว่า กำลังอัดพัฒนาขึ้นจากอายุการทดสอบ 7 วัน เป็น 28 วัน โดยที่ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 108-112 และปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษอยู่ในช่วงร้อยละ 0.31-0.38 โดยน้ำหนักวัสดุประสานจะได้ศึกษาเพิ่มเติมต่อไปสำหรับในกรณีนี้

ที่อายุการทดสอบ 7 วัน มอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเศษหินบะชอลต์บดมีค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ยกตัวอย่างเช่น มอร์ตาร์ 10%BS, 20%BS, 30%BS และ 40%BS มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 47, 41, 35 และ 28 MPa หรือคิดเป็นร้อยละ 95, 84, 71 และ 56 ของมอร์ตาร์ CT อย่างไรก็ตาม ที่อายุการทดสอบ 28 วัน พบว่า มอร์ตาร์ที่แทนที่เศษหินบะชอลต์บดในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ทุกส่วนผสม การใช้เศษหินบะชอลต์บดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นช้าในอายุต้น จากนั้นกำลังอัดสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ [13, 20-21] การทดสอบชี้ให้เห็นว่า การใช้ปริมาณเศษหินบะชอลต์บดที่ร้อยละ 10 มีความเหมาะสมในการแทนที่ปูนซีเมนต์ เนื่องจากมีค่ากำลังอัดสูงที่สุด กล่าวคือ ที่อายุการทดสอบหรืออายุการบ่มที่อายุ 7 และ 28 วัน พบว่า มอร์ตาร์ 10%BS มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 47 และ 56 MPa หรือคิดเป็นร้อยละ 95 และ 109 ของมอร์ตาร์ CT

นอกจากนั้น ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะชอลต์บดในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ ส่วนในการเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะชอลต์บดที่ร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่งผลให้กำลังอัดมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยเศษหินบะชอลต์บดอาจเกิดการขัดกันของอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมมุมจึงไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในโพรงได้ทั้งหมด และการเพิ่มปริมาณการแทนที่ที่มากขึ้นส่งผลให้ลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลง ดังนั้น ปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ก็ลดลงด้วย [12, 22-23] อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาร้อยละกำลังอัดที่อายุการทดสอบ 7 และ 28 วัน พบว่า ร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์ 10%BS และ 20%BS มีค่าเท่ากับร้อยละ 84-109 ของมอร์ตาร์ CT ในขณะที่มอร์ตาร์ 30%BS และ 40%BS มีค่าเท่ากับร้อยละ 56-74 ของมอร์ตาร์ CT ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้แนะนำให้การใช้หินบะชอลต์บดสามารถใช้แทนที่ได้ในปริมาณร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี [5, 24-25]



ภาพที่ 10 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน

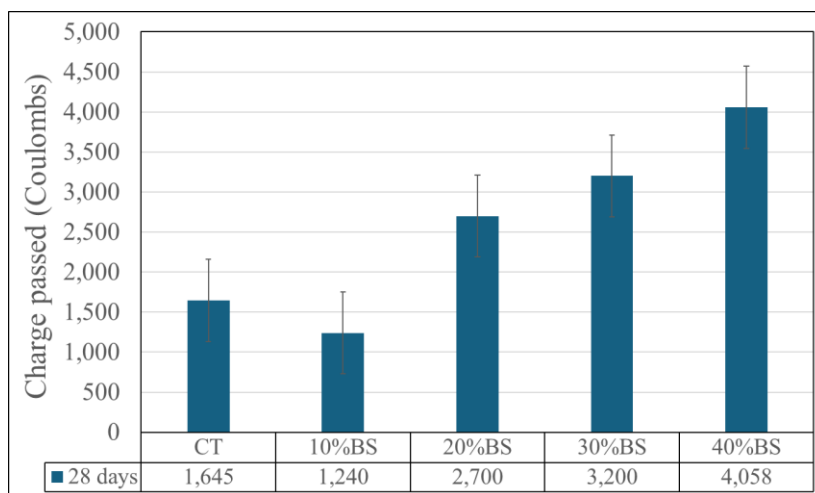


ภาพที่ 11 ร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน

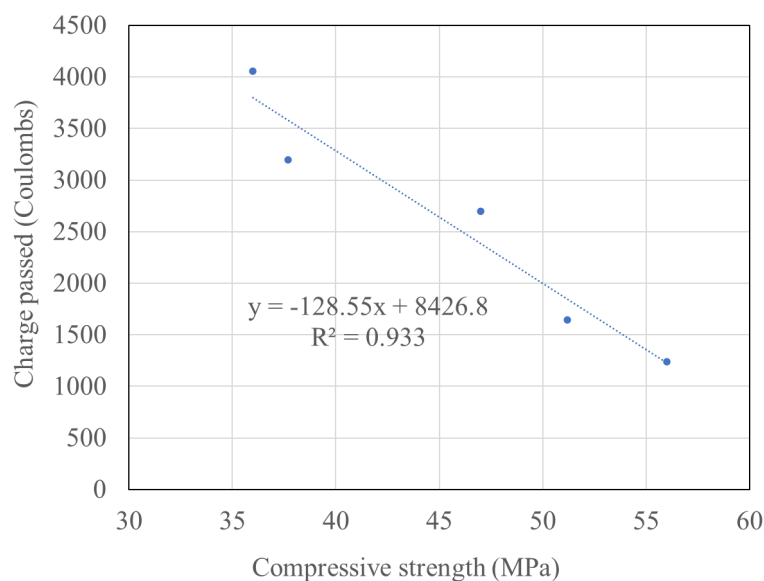
2. ผลการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์

ในการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ได้เลือกใช้อายุการทดสอบที่ 28 วัน เพื่อใช้เปรียบเทียบกับกำลังอัด ซึ่งพบว่ามอร์ตาร์มีการพัฒนากำลังอัดตามอายุการทดสอบ ส่วนในการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ครั้งนี้ใช้ตามมาตรฐานของ ASTM C1202 [18] ผลการทดสอบพบว่า ค่าคลอมบ์ของมอร์ตาร์ 10%BS, 20%BS, 30%BS และ 40%BS มีค่าการซึมผ่านประจุไฟฟ้าเท่ากับ 1,240, 2,700, 3,200 และ 4,058 คลอมบ์ ในขณะที่มอร์ตาร์ CT มีค่าการซึมผ่านประจุไฟฟ้าเท่ากับ 1,645 คลอมบ์ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 12 กล่าวคือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะซอลต์ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าคลอมบ์น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์อื่นทั้งหมด เนื่องจากการปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะซอลต์บดที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ขนาดของอนุภาคที่เล็กสามารถแทรกตัวเข้าไปในโพรงได้ในปริมาณเหมาะสมส่งผลให้มอร์ตาร์มีความทึบแน่นขึ้น ลดการซึมผ่านได้ดี [20-21, 24-25]

การใช้เศษหินบะชอลต์ทดแทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นในปริมาณร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีแนวโน้มส่งผลให้เพิ่มค่าคลอมบ์หรือการต้านทานคลอไรด์ลดลง ซึ่งผลการทดสอบมีความสัมพันธ์กับผลของกำลังอัด กล่าวคือ เมื่อการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์เพิ่มขึ้น กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 13 เนื่องจากการใช้เศษหินบะชอลต์ทดแทนในปริมาณที่มากขึ้นเป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง ดังนั้นปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์จึงลดลงด้วย ส่งผลให้ปฏิกิริยาปอซโซลานอาจเกิดขึ้นน้อยดังนั้นความทึบแน่นของมอร์ตาร์จึงลดลง โดยปกติแล้วองค์ประกอบทางเคมีหลักของซิลิกาจะสามารถยับยั้งและดักจับไอออนของคลอไรด์ได้ดี [20-21] เนื่องจากซิลิกาจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็น C-S-H ที่ช่วยให้มอร์ตาร์ทึบแน่นและลดการซึมผ่าน นอกจากนี้ C-S-H ที่เพิ่มขึ้นยังช่วยดูดซับไอออนได้ดีเนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงและสามารถดูดซับไอออนได้ผ่านทางพันธะเคมีอ่อน ซึ่งการศึกษานี้พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมในการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะชอลต์บด คือการแทนที่ในปริมาณ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



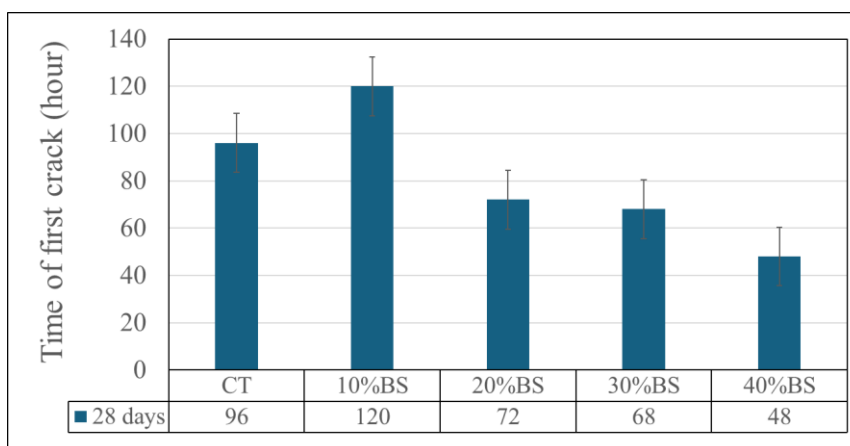
ภาพที่ 12 การแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์



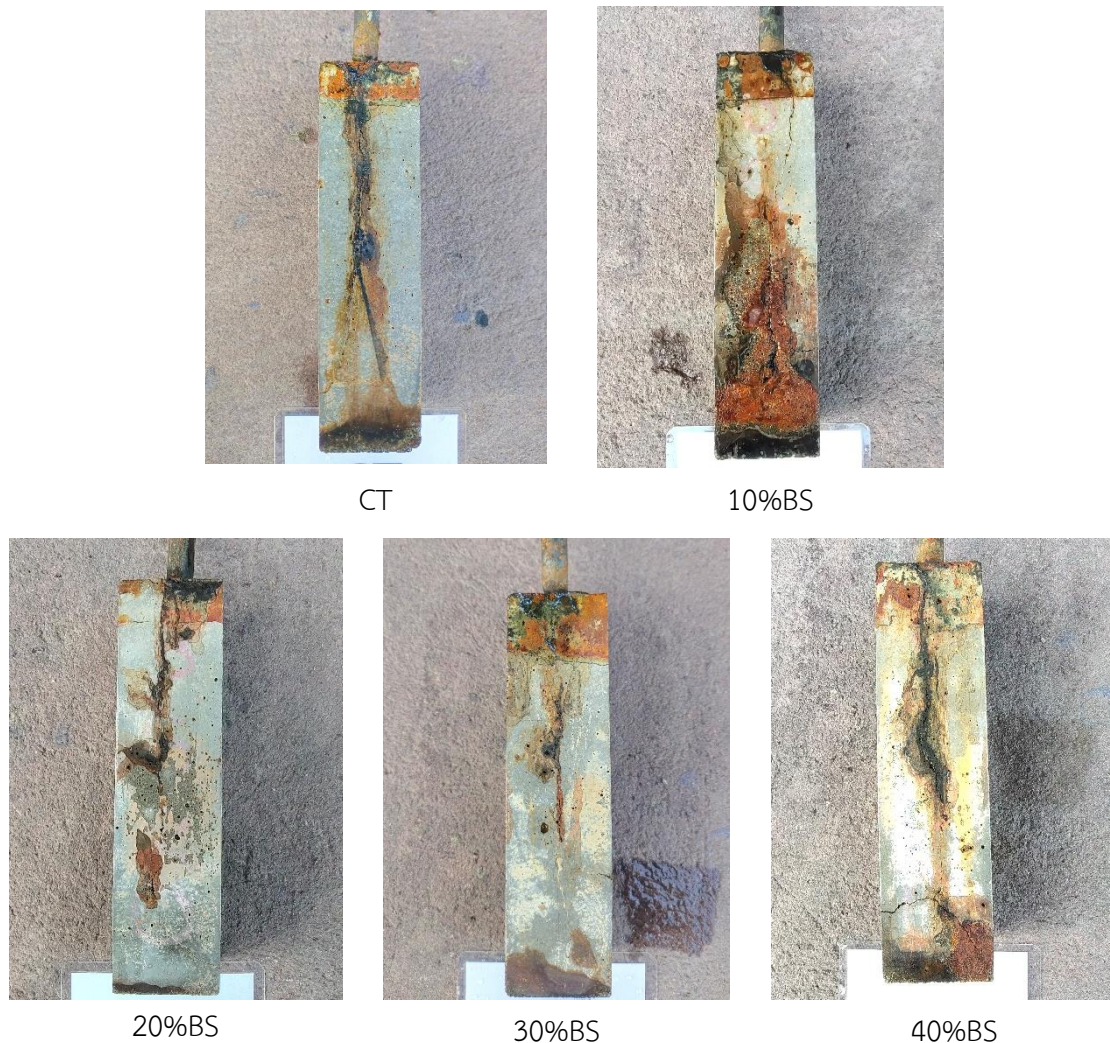
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างการแทรกซึมคลอไรด์และกำลังอัดของมอร์ตาร์

3. ผลการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์

ผลการทดสอบการกัดกร่อนของมอร์ตาร์แสดงไว้ในภาพที่ 14 ผลการทดสอบมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับผลการทดสอบคลอไรด์ซึ่งแตกต่างกันเพียงหน่วยการวัดค่าเท่านั้น ผลการวัดค่าการแตกร้าวพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าต้านทานการกัดกร่อนที่วัดจากมอร์ตาร์ที่เริ่มมีรอยแตกเท่ากับ 120 ชั่วโมง ในขณะที่มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าต้านทานการกัดกร่อนที่วัดจากมอร์ตาร์ที่เริ่มมีรอยแตกเท่ากับ 72, 68 และ 48 ชั่วโมง ส่วนมอร์ตาร์ควบคุมมีค่าต้านทานการกัดกร่อนที่วัดจากมอร์ตาร์ที่เริ่มมีรอยแตกเท่ากับ 96 ชั่วโมง ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ต้านทานการกัดกร่อนได้ดีเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ผสมปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากการแทนที่ในปริมาณดังกล่าวเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ขนาดอนุภาคที่เล็กของเศษหินบะซอลต์บดสามารถแทรกตัวเข้าไปในโพรงมอร์ตาร์ได้ดีส่งผลให้เพิ่มความทึบแน่น [26] เนื่องจากวัสดุปอซโซลานเมื่อพัฒนาให้อนุภาคมีความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์จะเข้าไปแทรกตัวในระหว่างโพรงที่ใหญ่และทำให้เกิดจุดกำเนิดของการเกิดปฏิกิริยา (Nucleation site) สำหรับการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์ ตัวของวัสดุที่ละเอียดมากจะเข้าไปแทรกในช่องว่างของเนื้อซีเมนต์เพสต์ ทำให้เนื้อมอร์ตาร์แน่นขึ้น ทึบขึ้น ส่งผลให้น้ำ ความชื้น และความเค็มผ่านเข้าไปในเนื้อซีเมนต์เพสต์ภายในได้ยากขึ้น ทำให้มอร์ตาร์หรือคอนกรีตมีความทนทานต่อการกัดกร่อนและความเค็มรวมถึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้พบว่า ค่าต้านทานการกัดกร่อนลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เหลือบางส่วนอาจยังมีขนาดใหญ่กว่าจึงไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในโพรงของมอร์ตาร์ได้ทั้งหมด ซึ่งจะได้ศึกษาเพิ่มเติมต่อไป ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่างการกัดกร่อนของมอร์ตาร์



ภาพที่ 14 การกัดกร่อนของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์



ภาพที่ 15 ตัวอย่างการกัดกร่อนของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเศษหินบะซอลต์บดเพื่อเพิ่มศักยภาพเศษวัสดุเหลือทิ้งสำหรับใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ในงานก่อสร้าง ผลที่ได้จากงานนี้แสดงให้เห็นว่าเศษหินบะซอลต์บดสามารถใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ได้ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ซึ่งให้ค่ากำลังอัดที่อายุการทดสอบ 28 วัน สูงเท่ากับ 56 MPa และมอร์ตาร์สามารถต้านทานการแทรกซึมและการกัดกร่อนของคลอไรด์ได้ดีเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะซอลต์บด การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะซอลต์บดในปริมาณร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลง อีกทั้งการต้านทานการแทรกซึมและการกัดกร่อนของคลอไรด์ลดลงด้วย

แม้ว่ากำลังอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษหินบะซอลต์บด แต่มีแนวโน้มที่ดีในด้านการใช้งาน เนื่องจากสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปได้จริงโดยพิจารณาถึงกำลังอัดที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 36-56 MPa ซึ่งการนำเศษวัสดุดังกล่าวมาใช้งานส่งผลให้ประหยัดการใช้ปูนซีเมนต์ในงานผลิตมอร์ตาร์ ซึ่งเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับอุตสาหกรรมก่อสร้างในการใช้เศษหินบะซอลต์สำหรับงานก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาด้านความทนทานของมอร์ตาร์เพิ่มเติมเพื่อพิจารณาการใช้งานในระยะยาวต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมแผนปฏิบัติการด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน. 66 FRB6612/2566) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการ ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Ye F, Feng Q, Qiao H, Zhu X, Su L, Xue C, et al. Study on multi-objective matching ratio optimization and strength development law of basalt stone powder composite cementitious materials. *Constr Build Mater.* 2024;417:135088.
2. Becerra-Duitama JA, Rojas-Avellaneda D. Pozzolans: A review. *Eng Appl Sci Res.* 2022;49(4):495–504.
3. Chindaprasit P, Sujumongtokul P, Posi P. Durability and mechanical properties of pavement concrete containing bagasse ash. *Mater Today Proc.* 2019;17:1612–26.
4. Chindaprasit P, Kasemsiri P, Poomsrisa S, Posi P. Fluidized bed coalbark fly ash geopolymers with additives cured at ambient temperature. *Int J GEOMATE.* 2019;16(54):29–35.
5. Posi P, Kasemsiri P, Lertnimoolchai P, Chindaprasit P. Effect of fly ash fineness on compressive, flexural and shear strengths of high strength-high volume fly ash jointing mortar. *Int J GEOMATE.* 2019;16(54):36–41.
6. Hassan KE, Cabrera JG, Maliehe RS. The effect of mineral admixtures on the properties of high-performance concrete. *Cem Concr Compos.* 2000;22:267–71.
7. Neville AM. *Properties of concrete.* 4th and final ed. Malaysia: Longman Group Limited; 1995.
8. 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.dvim.go.th/stat/production.php?product=%25&pdcode=%25&pdyear1=2020&pdyear2=2022>
9. Saudi HA, Anber MFA, Mabrouk AM, Algendy S. A framework for studying the possibility of using basalt cement as a cladding material for indoor spaces. *Inf Sci Lett.* 2024;13(2):377–86.
10. Rashad AM, Mohamed RA, Zeedan SR, El-Gamal AA. Basalt powder as a promising candidate material for improving the properties of fly ash geopolymer cement. *Constr Build Mater.* 2024;435:136805.
11. Abo Hashem A, Gaber GA, Ahmed ASI. Assessment of blended cement containing waste basalt powder: Physicomechanical and electrochemical impedance spectroscopy investigations. *Discov Appl Sci.* 2024;6:380.
12. Çelikten S, Baran B. A comprehensive assessment of mechanical and environmental properties of waste basalt powder-modified high strength mortars exposed to high temperature. *Next Mater.* 2024;5:100273.

13. El-Didamony H, Helmy IM, Osman RM, Habboud AM. Basalt as pozzolana and filler in ordinary Portland cement. *Am J Eng Appl Sci.* 2015;8(2):263–74.
14. ASTM C33. Standard specification for concrete aggregates. *Annu Book ASTM Stand.* 2005;04.02:10–20.
15. ASTM C136. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. *Annu Book ASTM Stand.* 2005;04.02:88–92.
16. ASTM C230. Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement. *Annu Book ASTM Stand.* 2005;04.01:206–11.
17. ASTM C109. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or [50 mm] cube specimens). *Annu Book ASTM Stand.* 2005;04.01:76–81.
18. ASTM C1202. Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration. *Annu Book ASTM Stand.* 2005;04.02:651–6.
19. ASTM C39. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. *Annu Book ASTM Stand.* 2005;04.02:21–7.
20. Rukzon S, Chindapasirt 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 J Sci.* 2018;5(4):1863–74.
21. Chindapasirt P, Rukzon S. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blended Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Constr Build Mater.* 2008;22(8):1601–6.
22. Pachideh G, Gholhaki M, Ketabdari H. Effect of pozzolanic wastes on mechanical properties, durability and microstructure of the cementitious mortars. *J Build Eng.* 2020;29:101178.
23. Pekmezci BY, Akyüz S. Optimum usage of a natural pozzolan for the maximum compressive strength of concrete. *Cem Concr Res.* 2004;34(12):2175–9.
24. Rukzon S, Chindapasirt P. Strength and carbonation model of rice husk ash cement mortar with different fineness. *J Mater Civ Eng.* 2010;22(3):253–9.
25. Rukzon S, Chindapasirt P, Mahachai R. Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash. *Int J Miner Metall Mater.* 2009;16(2):242–7.
26. Chand G. Microstructural study of sustainable cements produced from industrial by-products, natural minerals and agricultural wastes: A critical review on engineering properties. *Clean Eng Technol.* 2021;4:100224.