

กำลังอัดและการนำความร้อนของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าก้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน

Compressive strength and thermal conductivity of mortar containing partial replacement of fine aggregate by bottom ash

ธัญญรัตน์ ดุซซี่¹ ชนาภานต์ อุ้นแก้ว² อัญญา กิจงานนท์³ ลีน่า ปรัก⁴ ทวีชัย สำราญวานิช^{5*}

^{1, 2, 3, 5} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี

*Corresponding author; E-mail address: twc@buu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งศึกษาผลกระทบของเถ้าก้นเตาและเถ้าลอยต่อกำลังอัดและการนำความร้อนของมอร์ตาร์ พร้อมทั้งตรวจสอบความพรุนและความหนาแน่นของมอร์ตาร์ด้วย โดยใช้เถ้าก้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 10 และ 30 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด ใช้เถ้าลอยแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 30 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และใช้อัตรา น้ำต่อวัสดุประสานคงที่ 0.40 จากผลการทดลองพบว่า มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าก้นเตาและมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยมีกำลังอัดและการนำความร้อนต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยมีความพรุนสูงขึ้นและความหนาแน่นลดลง เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการบ่ม 56 วันพบว่า มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ 10 และเถ้าลอยร้อยละ 30 มีกำลังอัดสูงสุดและความพรุนน้อยที่สุด ส่วนมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ 30 และเถ้าลอยร้อยละ 50 มีการนำความร้อนต่ำที่สุด

คำสำคัญ: เถ้าก้นเตา, เถ้าลอย, กำลังอัด, การนำความร้อน, ความพรุน, ความหนาแน่น

Abstract

This paper aims to study the effect of bottom ash and fly ash on the compressive strength and thermal conductivity of mortar. The porosity and density of mortar were also investigated. The replacement of fine aggregate by bottom ash was at 10 and 30% by volume of fine aggregate. The replacement of binder with fly ash was at 30 and 50% by weight of the binder. The water to binder ratio was kept at 0.40. From the experimental results, it was noted that mortar with bottom ash and mortar with fly ash had lower thermal conductivity than controlled mortar and had higher porosity and lower density. By considering at 56 days of curing time, it was found that mortar containing 10% replacement of fine aggregate by bottom ash and 30% replacement of binder by fly ash had the highest

compressive strength and the lowest porosity, while mortar containing 30% replacement of fine aggregate by bottom ash and 50% replacement of binder by fly ash had the lowest thermal conductivity.

Keywords: bottom ash, fly ash, compressive strength, thermal conductivity, porosity, density

1. บทนำ

ปัจจุบันถ่านหินยังคงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้า โดยในปี พ.ศ.2564 ประเทศไทยได้มีการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน จำนวน 1539.94 ล้าน กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 9.24 จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ [1] การเผาไหม้ถ่านหินในกระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าถ่านหินทำให้เกิดกากของเสีย (Waste) จำนวนมาก เช่น เถ้าลอย (Fly ash) และเถ้าก้นเตา (Bottom ash) เป็นต้น ซึ่งภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างได้มีการเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคุณสมบัติปอซโซลานของเถ้าลอยช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น สำหรับเถ้าก้นเตาก็พบว่ามีศักยภาพในการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่าเช่นกัน [2] เช่น มีการนำเถ้าก้นเตาเป็นส่วนผสมของอิฐบล็อก [3, 4] มีการนำเถ้าก้นเตาไปผสมกับดินเพื่อถมดิน [5] และมีการนำไปใช้เถ้าก้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน [6, 7] เป็นต้น เถ้าก้นเตามีคุณสมบัติการบ่มภายใน (Internal curing) เนื่องจากการเก็บกักน้ำไว้ในอนุภาคเถ้าก้นเตาช่วยให้การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์และปฏิกิริยาของสารปอซโซลานในคอนกรีตเกิดได้ต่อเนื่องและสมบูรณ์ขึ้น นอกจากนี้ขนาดอนุภาคเถ้าก้นเตามีขนาดใกล้เคียงกับขนาดอนุภาคของทรายแต่มีความพรุนสูงกว่าทราย และอาจมีอนุภาคเถ้าลอยขนาดเล็กแทรกตัวอยู่ภายในโพรงอนุภาคเถ้าก้นเตาอยู่ด้วย ความพรุนของเถ้าก้นเตาจึงส่งผลต่อความพรุนของคอนกรีตที่มีเถ้าก้นเตาให้สูงขึ้น ซึ่งสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนของคอนกรีตได้

ดังนั้น บทความนี้จึงมุ่งศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าก้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนและเถ้าลอยแทนที่วัสดุประสานบางส่วนต่อคุณสมบัติเชิงกล

ด้านกำลังอัดและคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนด้านการนำความร้อนของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกประเภท GU เป็นวัสดุประสานหลัก

2. วิธีการศึกษา

2.2.1 วัสดุที่ใช้

ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกประเภท GU ตามมาตรฐาน มอก.2594-2556 เป็นวัสดุประสานหลัก ใช้เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C ตามมาตรฐาน ASTM C618-19 [8] ในการแทนที่วัสดุประสานบางส่วน ใช้เถ้าก้นเตาที่มีความสามารถเก็บกักน้ำร้อยละ 26.32 แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนที่ร้อยละ 10 และ 30 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด โดยอ้างอิงตามงานวิจัย [6, 7] ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย มวลรวมละเอียด (ทราย) และเถ้าก้นเตา และตารางที่ 3 แสดงส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ใช้ โดยคิดต่อปริมาตรมอร์ตาร์หนึ่งลูกบาศก์เมตร

2.2 การทดสอบ

2.2.1 กำลังอัด

ทำการหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ 5x5x5 เซนติเมตร³ บ่มตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7, 28 และ 56 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M [9]

2.2.2 การนำความร้อน

ทำการหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ 10x10x10 เซนติเมตร³ บ่มตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 56 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาตัดให้มีขนาดหน้า 3 ซม. แล้วทดสอบการนำความร้อนด้วยเครื่อง Hot Disk TPS 2500 S

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	เถ้าลอย
SiO ₂	13.63	28.42
Al ₂ O ₃	2.67	13.03
Fe ₂ O ₃	3.31	14.88
CaO	66.20	27.11
MgO	1.12	1.90
SO ₃	1.90	6.11
Na ₂ O	0.31	1.50
K ₂ O	0.35	2.53
LOI	6.78	3.18

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้

วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	Absorption or water retainability (%)
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	3.14	-
เถ้าลอยแม่เมาะ	2.56	-
ทราย	2.60	0.32
เถ้าก้นเตา	1.78	26.32

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้

Mix id.	Mix proportion (kg/m ³)				
	Cement	Fly ash, FA	Sand (SSD)	Bottom ash, BA	Water
NC	563.0	-	1543.3	-	225.2
NCBA10	548.0	-	1356.2	150.7	219.2
FA30	275.9	166.9	1529.6	-	222.5
FA50	275.9	275.9	1517.5	-	220.7
FA30BA10	379.1	162.5	1340.3	148.9	216.6
FA30BA30	360.1	154.3	990.2	424.2	205.8
FA50BA10	268.7	268.7	1330.0	147.8	214.9
FA50BA30	255.3	255.3	982.9	421.3	204.2

หมายเหตุ: NC คือ มอร์ตาร์ควบคุม

NCBA10 คือ มอร์ตาร์ที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตาร้อยละ 10

FAxx คือ มอร์ตาร์ที่แทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยร้อยละ xx

FAxxBAyy คือ มอร์ตาร์ที่แทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยร้อยละ xx และแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตาร้อยละ yy

2.2.3 ความพรุนและความหนาแน่น

ทำการหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ 10x10x10 เซนติเมตร³ บ่มตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 28 และ 56 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบหาความพรุนและความหนาแน่นของมอร์ตาร์โดยวิธีการทดสอบสำหรับคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C642 [10]

3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 กำลังอัด

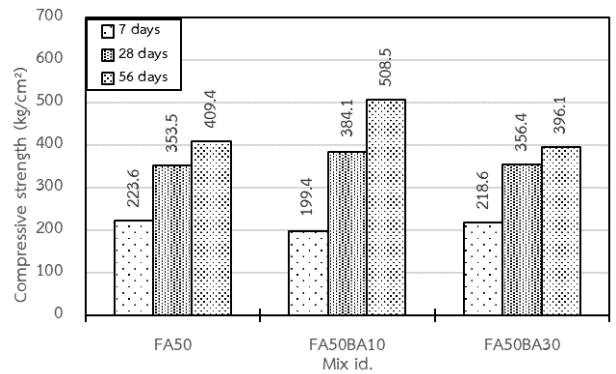
จากรูปที่ 1 แสดงผลกระทบของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตาพบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตาทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมในช่วงอายุการบ่มที่ 7 และ 28 วัน เนื่องจากความไม่แข็งแรงของอนุภาคเถ้าก้นเตาและปริมาณรูพรุนที่สูงขึ้นและมีโพรงภายใน [11]

จากรูปที่ 2 แสดงผลกระทบของปริมาณการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยพบว่า เมื่อมีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยมากขึ้นทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากการใช้เถ้าลอยในปริมาณที่มากขึ้น ก็จะทำให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลง C-S-H และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันก็ลดลงเช่นกัน เมื่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลงก็อาจจะไม่เพียงพอที่เถ้าลอยจะนำไปเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกต่อไป จึงส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลง

จากรูปที่ 3 แสดงผลกระทบของปริมาณเถ้าก้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 พบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตาในปริมาณร้อยละ 10 กำลังอัดของมอร์ตาร์น้อยมากในช่วง 7 วันเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มน้ำเพิ่มขึ้น กำลังอัดก็เพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าก้นเตามีความพรุนและมีโพรงภายในซึ่งมีคุณสมบัติการกักเก็บน้ำได้ดีทำให้เกิดการบ่มภายในและเมื่อมีเถ้าลอยแทรกตัวอยู่ในโพรงของเถ้าก้นเตาซึ่งเถ้าลอยส่วนนี้อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำให้ช่วยเพิ่มการยึดประสานในคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมี

ความตึบหน้า ทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ในระยะยาวสูงขึ้น [6] นอกจากนี้ เมื่อปริมาณเถ้ากั้นเตาร้อยละ 30 กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงเนื่องจากมีเถ้ากั้นเตามากเกินไป ส่งผลให้มอร์ตาร์มีช่องว่างภายในมากเกินไป

จากรูปที่ 4 แสดงผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 พบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาในปริมาณร้อยละ 10 กำลังอัดของมอร์ตาร์น้อยมากในช่วง 7-28 วันเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มน้ำเพิ่มขึ้น กำลังอัดของมอร์ตาร์ก็เพิ่มขึ้นเนื่องจากเถ้ากั้นเตามีความพรุนและมีโพรงภายในซึ่งมีคุณสมบัติการกักเก็บน้ำได้ดี ทำให้เกิดการบ่มภายใน ช่วยเพิ่มการยึดประสานในคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีความตึบหน้า ทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ในระยะยาวสูงขึ้น [6] นอกจากนี้ เมื่อมีการแทนที่เถ้ากั้นเตาเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลง เนื่องจากมีเถ้ากั้นเตามากเกินไป ส่งผลให้มอร์ตาร์มีช่องว่างภายในมากเกินไป



รูปที่ 4 ผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 ต่อกำลังอัด

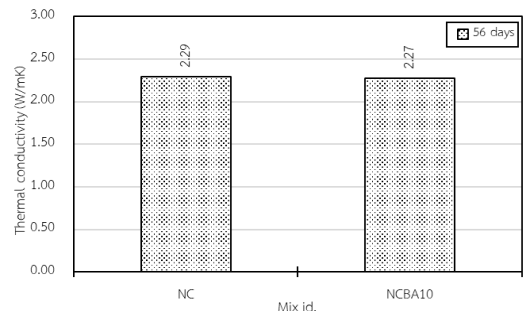
3.2 การนำความร้อน

จากรูปที่ 5 แสดงผลกระทบของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาพบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตา ทำให้ค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับกำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยเมื่อกำลังอัดลดลงเนื่องจากรูพรุนในมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น ทำให้การนำความร้อนลดลง เนื่องจากอากาศในรูพรุนเป็นฉนวน [12]

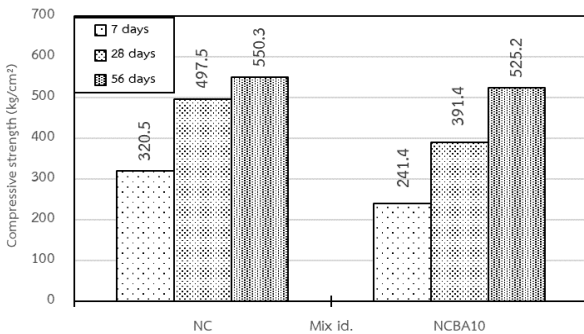
จากรูปที่ 6 แสดงผลกระทบของปริมาณการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยพบว่า เมื่อมีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยทำให้มีค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม อาจเกิดจากรูพรุนขนาดเล็กไม่ต่อเนื่องในมอร์ตาร์ ทำให้การนำความร้อนต่ำลง แม้ว่าความพรุนมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุมก็ตาม [12]

จากรูปที่ 7 แสดงผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 พบว่า เมื่อปริมาณแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาส่งขึ้นทำให้มอร์ตาร์มีการนำความร้อนสูงขึ้น เนื่องจากรูพรุนในมอร์ตาร์ลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมที่ผสมเถ้าลอย ทำให้การนำความร้อนเพิ่มขึ้น

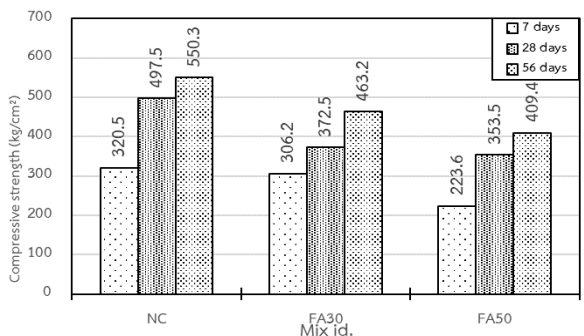
จากรูปที่ 8 แสดงผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 พบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาส่งขึ้นกลับทำให้มอร์ตาร์มีการนำความร้อนลดลง เนื่องจากความพรุนของเถ้ากั้นเตาเมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยในปริมาณที่สูงแล้วทำให้ความพรุนของมอร์ตาร์สูงขึ้น การนำความร้อนจึงลดลง [13] โดยมอร์ตาร์ที่มีเถ้ากั้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 30 และเถ้าลอยแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 50 มีการนำความร้อนต่ำที่สุด



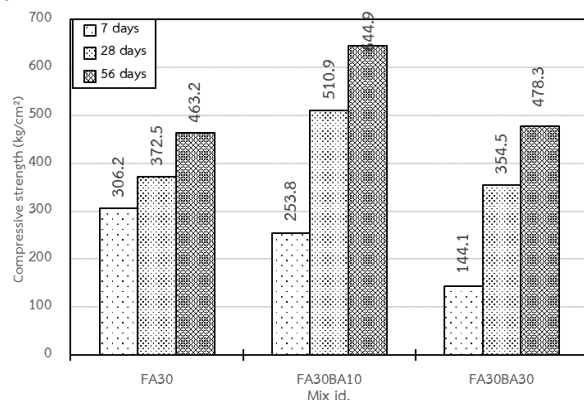
รูปที่ 5 ผลกระทบของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาต่อการนำความร้อน



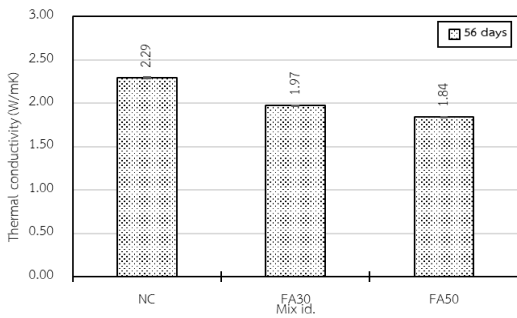
รูปที่ 1 ผลกระทบของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาต่อกำลังอัด



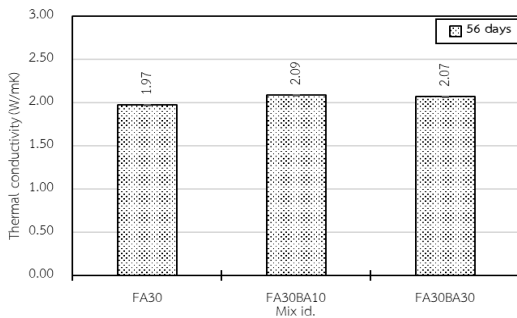
รูปที่ 2 ผลกระทบของปริมาณการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยต่อกำลังอัด



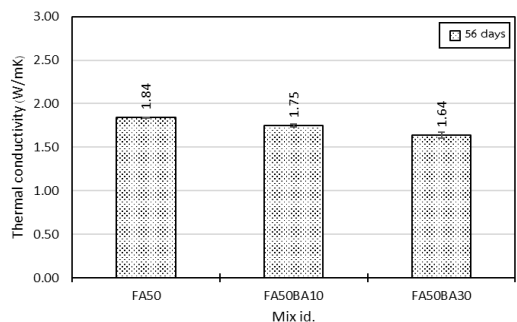
รูปที่ 3 ผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 ต่อกำลังอัด



รูปที่ 6 ผลกระทบของปริมาณการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยต่อการนำความร้อน



รูปที่ 7 ผลกระทบของปริมาณเถ้าก้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 ต่อการนำความร้อน



รูปที่ 8 ผลกระทบของปริมาณเถ้าก้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 ต่อการนำความร้อน

3.3 ความพรุน

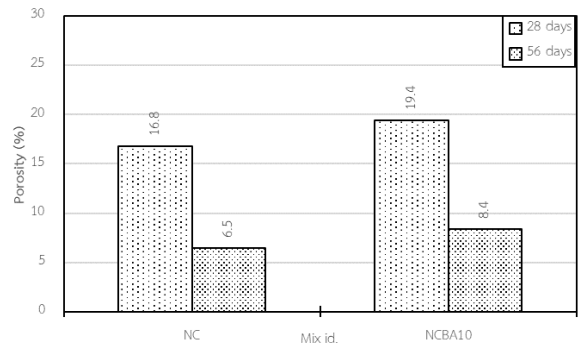
จากรูปที่ 9 แสดงผลกระทบของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตาพบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตา ทำให้มอร์ตาร์มีความพรุนสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม และความพรุนลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าก้นเตาก็มีกำลังอัดต่ำลงและมีกำลังอัดสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่มน้ำเช่นกัน

จากรูปที่ 10 แสดงผลกระทบของปริมาณการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยพบว่า เมื่อมีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ทำให้มอร์ตาร์มีความพรุนมากขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

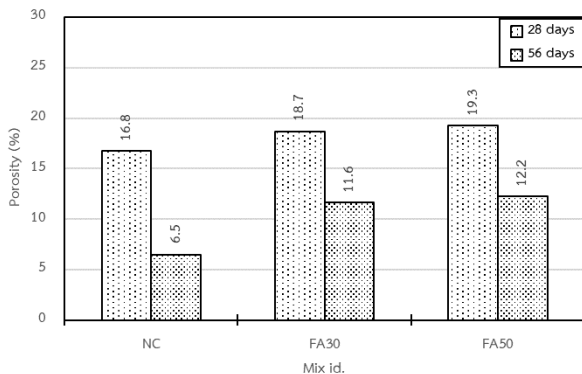
จากรูปที่ 11 แสดงผลกระทบของปริมาณเถ้าก้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 พบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตาร้อยละ 10

ทำให้มีความพรุนต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่แทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยเพียงอย่างเดียวและมอร์ตาร์ที่แทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 30 อาจเนื่องจากผลจากปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าลอยและการบ่มภายในของเถ้าก้นเตาที่เหมาะสมทำให้ความพรุนของมอร์ตาร์น้อยลง

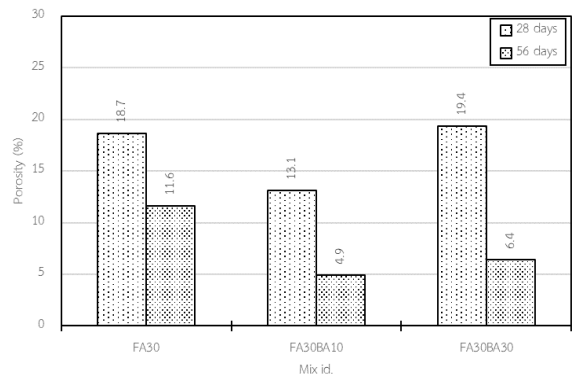
จากรูปที่ 12 แสดงผลกระทบของปริมาณเถ้าก้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 พบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตามากขึ้นทำให้มอร์ตาร์มีความพรุนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่แทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยร้อยละ 50 เพียงอย่างเดียว เนื่องจากการใช้เถ้าก้นเตาในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้มอร์ตาร์มีปริมาณโพรงช่องว่างมากขึ้น



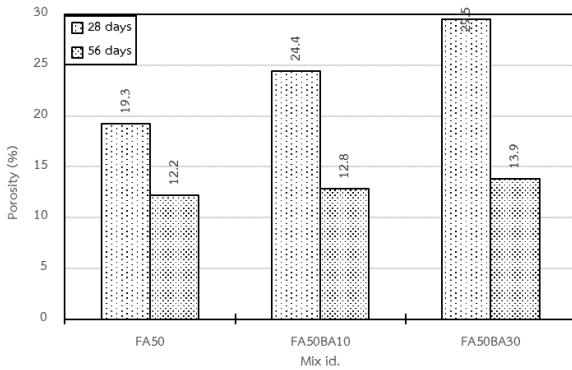
รูปที่ 9 ผลกระทบของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าก้นเตาต่อความพรุน



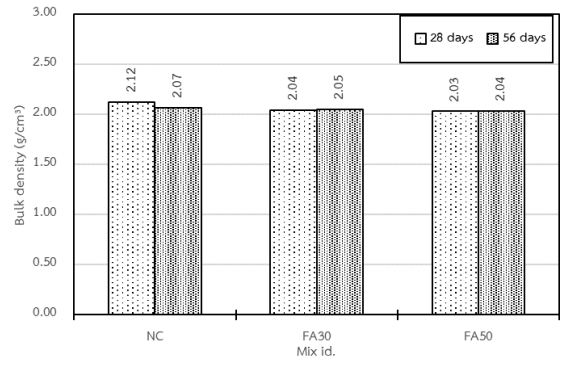
รูปที่ 10 ผลกระทบของปริมาณการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยต่อความพรุน



รูปที่ 11 ผลกระทบของปริมาณเถ้าก้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 ต่อความพรุน



รูปที่ 12 ผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 ต่อความพรุน



รูปที่ 14 ผลกระทบของปริมาณการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยต่อความหนาแน่น

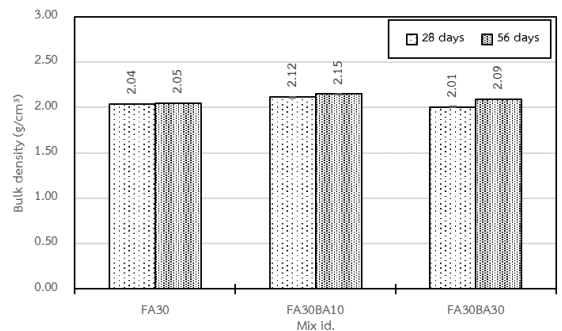
3.4 ความหนาแน่น

จากรูปที่ 13 แสดงผลกระทบของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาพบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาทำให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม และเมื่อระยะเวลาการบ่มน้ำเพิ่มขึ้นความหนาแน่นลดลง

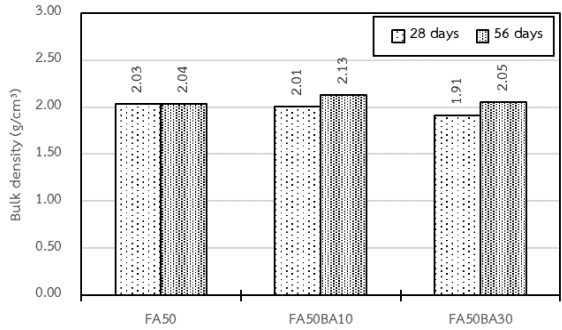
จากรูปที่ 14 แสดงผลกระทบของปริมาณการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอยพบว่า เมื่อมีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย แนวโน้มของความหนาแน่นของมอร์ตาร์มีค่าลดลงเล็กน้อย

จากรูปที่ 15 แสดงผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 พบว่า เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาร้อยละ 10 และเถ้าลอยร้อยละ 30 มีความหนาแน่นมากกว่ามอร์ตาร์ส่วนผสมอื่นเล็กน้อย

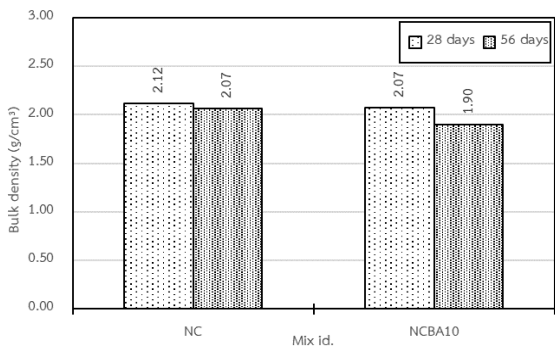
จากรูปที่ 16 แสดงผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 พบว่า ที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 28 วัน เมื่อมีการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาทำให้มีความหนาแน่นมอร์ตาร์น้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 เพียงอย่างเดียว แต่ที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 56 วัน กลับมีความหนาแน่นของมอร์ตาร์มากกว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 15 ผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 ต่อความหนาแน่น



รูปที่ 16 ผลกระทบของปริมาณเถ้ากั้นเตาของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 50 ต่อความหนาแน่น



รูปที่ 13 ผลกระทบของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้ากั้นเตาต่อความหนาแน่น

4. สรุปผล

จากผลการศึกษากำลังอัดและการนำความร้อนของมอร์ตาร์ที่มีการใช้เถ้ากั้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนและเถ้าลอยแทนที่วัสดุประสานบางส่วนสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้ากั้นเตาและมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมซีเมนต์ไฮดรอลิกล้วน ทั้งนี้มอร์ตาร์ที่มีเถ้ากั้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 10 และเถ้าลอยแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 30 มีกำลังอัดมากที่สุด
2. มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้ากั้นเตาและมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยมีการนำความร้อนน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมซีเมนต์ไฮดรอลิกล้วน ทั้งนี้มอร์ตาร์ที่มีเถ้ากั้นเตา

แทนที่มีมวลรวมละเอียดร้อยละ 30 และแก้าลอยแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 30 มีการนำความร้อนน้อยที่สุด

3. มอร์ตาร์ที่มีแก้ากันเตาแทนที่มีมวลรวมละเอียดร้อยละ 10 และแก้าลอยแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 30 มีความพรุนน้อยที่สุด ขณะที่มอร์ตาร์ที่มีแก้ากันเตาแทนที่มีมวลรวมละเอียดร้อยละ 30 และแก้าลอยแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 50 มีความพรุนมากที่สุด
4. มอร์ตาร์ที่ผสมแก้ากันเตาและมอร์ตาร์ที่ผสมแก้าลอยมีความหนาแน่นน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมซีเมนต์ไฮดรอลิกล้วน
5. การประยุกต์ใช้แก้ากันเตาแทนที่ทรายบางส่วนในส่วนผสมมอร์ตาร์สามารถช่วยลดการนำความร้อนของมอร์ตาร์ลงได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยบูรพา “ผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ พ.ศ.2565 งบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.)” เลขที่สัญญา ววน 27/2565 และขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษาบูรพา (BCONTEC) และศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและการจัดการจราจร (CONTRA) มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2562). รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2562. <https://drive.google.com/file/d/1I76wJc 0jQL CfOX-wtU8Gvh38VdOaeacd/view>
- [2] Zhou, H., Bhattarai, R., Li, Y., Si, B., Dong, X., Wang, T., Yao, Z. (2022). Towards sustainable coal industry: Turning coal bottom ash into wealth. *Science of the Total Environment*, 804, 149985.
- [3] Sutcu, M., Erdogmus, E., Gencel, O., Gholampour, A., Atan, E., Ozbakkaloglu, T. (2019). Recycling of bottom ash and fly ash wastes in eco-friendly clay brick production. *Journal of Cleaner Production*, 233, 753-764.
- [4] Lawane, A., Minane, J.R., Vinai, R., Pantet, A. (2019). Mechanical and physical properties of stabilised compressed coal bottom ash blocks with inclusion of lateritic soils in Niger. *Scientific African*, 6, e00198.
- [5] Kim, G.W., Khan, M.I., Kim, P.J., Gwon, H.S. (2020). Unexpectedly higher soil organic carbon accumulation in the evapotranspiration cover of a coal bottom ash mixed landfill. *Journal of Environmental Management*, 268, 110659.
- [6] ศิริระ อาทมาท และทวีชัย ส้าราญวานิช. (2562). กำลังอัดและความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ผสมแก้าลอยและผงหินปูน

และใช้แก้ากันเตาแทนที่บางส่วนของมวลรวมละเอียด. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี, 17(2), 113-125.

- [7] ศิริระ อาทมาท และทวีชัย ส้าราญวานิช. (2565). ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดวิกฤต ระยะเวลาการเริ่มเกิดสนิมของเหล็กเสริมและกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมแก้าลอยและใช้แก้ากันเตาแทนที่บางส่วนของมวลรวมละเอียด. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 32(2), 366-374.
- [8] ASTM C618- 19, Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete.
- [9] ASTM C109/ C109M, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube specimens).
- [10] ASTM C642, Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete.
- [11] Rodríguez-Álvaro, R., González-Fontebona, B., Seara-Paz, S. & Rey-Bouzón, E.J. (2021). Masonry mortars, precast concrete and masonry units using coal bottom ash as a partial replacement for conventional aggregates. *Construction and Building Materials*, 283, 122737.
- [12] Ghosh, A., Ghosh, A. & Neogi, S. (2018). Reuse of fly ash and bottom ash in mortars with improved thermal conductivity performance for buildings. *Heliyon*, 4(11), e00934
- [13] Muthusamy, K., Rasid, M.H., Jokhio, G.A., Budiea, A.M.A., Hussin, M.W. & Mirza, J. (2019). Coal bottom ash as sand replacement in concrete: a review. *Construction and Building Materials*, 236, 117507.