การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการนำเศษอิฐมอญมาใช้เป็นวัสดุทดแทนมวลรวมละเอียดและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในงานคอนกรีต

Preliminary Feasibility of Utilizing Clay Brick Debris as Partial Replacement for Fine Aggregate and Portland Cement in Concrete Works

ทรงสุดา วิจารณ์[1,*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จ.กรุงเทพ
**Corresponding author; E-mail address: songsudavichan@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการนำเศษอิฐมอญมาใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุทดแทนมวลรวมละเอียดและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วน เศษอิฐมอญบดที่มีขนาดคละใกล้เคียงกับมวลรวมละเอียด ถูกนำมาใช้แทนที่ทรายบางส่วน ในขณะที่เศษอิฐมอญบดขนาดละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 จะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานทดแทน การแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณร้อยละ 25 ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมตั้งแต่อายุบ่มที่ 7 วันขึ้นไป ส่วนการศึกษาการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษอิฐมอญบดในปริมาณร้อยละ 20 สามารถเร่งการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ให้เทียบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุมอายุบ่ม 28 วัน ในสภาพการบ่มปกติได้ภายใน 24 ชั่วโมงด้วยการบ่มแบบอบไอน้ำ ทั้งนี้น่าจะเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างซิลิกาที่มีโครงสร้างเป็นผลึกในเศษอิฐมอญกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซิเมนต์ ภายใต้แรงดันที่สูงของไอน้ำ ซึ่งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: เศษอิฐมอญ, กำลังรับแรงอัด, คอนกรีต, ปอซโซลาน, การอบไอน้ำ

Abstract

The purpose of paper is to consider the preliminary feasibility of utilizing clay brick debris as partial substitution of fine aggregate and portland cement. The ground clay brick debris which almost same size distribution as that of sand used as partial fine aggregate. Meanwhile, fine ground clay brick which pass through sieve no.325 is subject to be a partial substituted cementitious material. It was found the 25 percent of sand substitution yielded the higher compressive strength of concrete than that of the control samples since 7 days curing period. The investigation in partial replacement for cement show that 20 percent of ground clay brick substitution speeded up compressive strength equivalent to that of 28 days of the control mortar within 24 hrs. of autoclave conditions. This is probably due to the chemical reaction between crystalline silica of ground clay brick and calcium hydroxide generated from cement hydration under high pressure steam curing leading to increasing in cementitious products.

Keywords: clay brick debris, compressive strength, concrete, pozzolan, autoclave

1. บทนำ

ในประเทศไทยมีโรงผลิตอิฐมอญหลายแห่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ และมีอิฐมอญที่ไม่ได้คุณภาพจากขั้นตอนการผลิต หรือการขึ้นรูปที่ไม่ได้มาตรฐาน ถูกเทกองทิ้งเป็นเศษอิฐที่ทับถมกันในบ่อ หรือกองทิ้งบนผิวดินเป็นจำนวนมาก และไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สมบัติของอิฐมอญที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ขึ้นกับสมบัติของดินที่ใช้ในขบวนการผลิต หากดินที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญมีปริมาณทรายมากเกินไป จะทำให้อิฐมอญมีความเปราะแตกหักได้ง่าย หากดินที่ใช้ในการผลิตมีธาตุดินเหนียวมากเกินไปจะทำให้ก้อนดินเกิดการหดตัว แตกร้าวได้ง่ายซึ่งจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการนำดินไปตากแดดให้แห้งก่อนขั้นตอนการนำไปเผาในเตาเผาอิฐ ในการผลิตอิฐมอญจากดินเหนียว จะผสมดินเหนียวกับเถ้าแกลบ ซึ่งเถ้าแกลบจะทำหน้าที่ช่วยกระจายความร้อนให้การเผาไหม้ของดินเหนียวเกิดได้อย่างทั่วถึง ดินเหนียวจะถูกเผาในเตาเผาอิฐที่อุณหภูมิสูงประมาณ 750 ถึง 800 ^{o}C เป็นระยะเวลา 7-15 วัน ดังนั้นในเศษอิฐมอญจึงมีสารประกอบของ ซิลิก้า และอลูมินา เป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งอาจมีสมบัติที่จะใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CCR) เป็นของเสียจากขบวนการผลิตก๊าซอะเซทีลีน ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมการเชื่อมโลหะ การตัดโลหะ และใช้บ่มผลไม้ ในปี พ.ศ. 2556 พบว่ามีปริมาณการทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์สะสมทั่วประเทศสูงถึงร้อยละ 21,500 ตัน/ปี [1] กากแคลเซียมคาร์ไบด์เหล่านี้

ถูกกองทิ้งสะสมบนพื้นดิน เมื่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ละลายน้ำ จะเกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งมีความเป็นด่างสูง การเทกองกากแคลเซียมคาร์ไบด์บนพื้นดิน หรือบ่อดินโดยไม่มีการปูพื้นด้วยวัสดุกันซึมส่งผลให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพดินและแหล่งน้ำได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น ในการนำเศษอิฐมอญ (CB) มาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต ทั้งทางด้านการนำเศษอิฐมอญมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดแทนที่ทรายบางส่วน เพื่อช่วยในการลดปริมาณการใช้ทรายในงานก่อสร้าง ยังศึกษาถึงการนำเศษอิฐมอญมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยนำเศษอิฐมอญมาผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CCR) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังนั้นหากเศษอิฐมอญสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เชื่อมประสาน จะทำให้เกิดการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตได้เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้เบื้องต้นของการนำเศษอิฐมอญมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ในสภาวะการบ่มด้วยไอน้ำ เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นภายใน 24 ชั่วโมง

การหาแนวทางในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งไม่มีคุณค่า เช่นเศษอิฐมอญและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ มาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต นับว่าเป็นการสร้างประโยชน์ได้หลายประการ ได้แก่การเพิ่มมูลค่าของเศษอิฐมอญ การลดปริมาณการใช้ทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด การลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีต การลดปัญหาและค่าใช้จ่ายในการกำจัดเศษอิฐมอญ และเป็นการบรรเทาปัญหามลพิษต่อคุณภาพดินและน้ำเนื่องจากการกองทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์บนพื้นดินด้วย

2. การออกแบบการทดลองและวิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุและการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นปูนซีเมนต์ที่มีการผลิตและใช้งานสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป หินย่อยและทรายที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ได้ถูกนำมาทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 136-96a พบว่ามีค่าขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของหินและทรายอยู่เกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมในการใช้งานก่อสร้างทั่วไป

เศษอิฐมอญ (CB) เป็นเศษที่เหลือจากการเผาอิฐที่ไม่ได้รูปทรงมาตรฐาน จากโรงอิฐทรัพย์บุญส่ง จำกัด ต.พระขาว อ.บางบาล จ.พระนครศรีอยุธยา เศษอิฐมอญถูกนำไปบดให้มีขนาดเล็กลง ด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion เศษอิฐมอญที่ใช้ในการแทนที่ทรายในงานคอนกรีต จะถูกเตรียมให้มีขนาดคละใกล้เคียงกับทรายให้มากที่สุด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 136-96a เศษอิฐมอญที่ได้ขนาดคละใกล้เคียงกับทรายนี้มีค่าความละเอียดมากกว่าทรายเล็กน้อย เนื่องจากค่าโมดูลัสความละเอียดของเศษอิฐมอญเท่ากับ 2.70 ผลของค่าร้อยละปริมาณที่ค้างสะสมบนตะแกรงขนาดต่างๆและค่าโมดูลัสของเศษอิฐมอญ ทราย และหินย่อยที่ใช้ในการศึกษาแสดงผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าร้อยละปริมาณที่ค้างสะสมบนตะแกรงของวัสดุทดสอบ

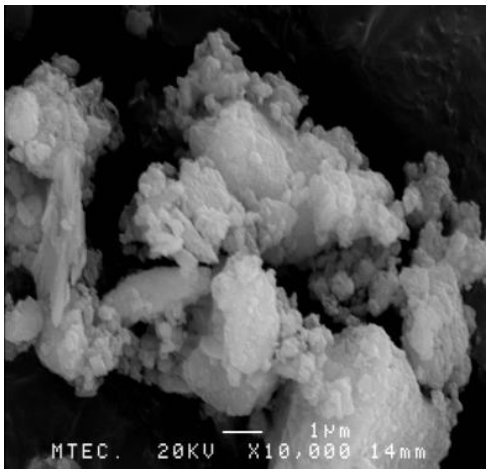
ตะแกรงเบอร์	ปริมาณร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง(%)		
	ทราย	เศษอิฐมอญ	หินย่อย
1 ½" (37.5 mm)	0	0	0
3/4" (19.0 mm.)	0	0	38.24
3/8" (9.5 mm.)	0	0	88.01
4	0.89	0.89	99.94
8	6.76	5.14	99.94
16	26.73	22.92	99.94
30	59.48	57.11	99.94
50	87.91	87.16	99.94
100	97.20	97.20	99.94
โมดูลัสความละเอียด	2.79	2.70	7.26

เศษอิฐมอญที่ใช้ในการศึกษาการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อเป็นวัสดุประสาน หลังจากนำไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion แล้ว เศษอิฐมอญจะถูกนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยเศษอิฐมอญที่มีขนาดเล็กผ่านตะแกรงเบอร์ 325 จะถูกนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้งาน ลักษณะทั่วไปของเศษอิฐมอญบดแสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ลักษณะของเศษอิฐมอญบด (CB)

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CCR) ได้จากลานทิ้งกากของเสียของโรงงาน บริษัท สาย 5 ผลิตก๊าซ จำกัด อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม เป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีน กากแคลเซียมคาร์ไบด์ มีลักษณะเป็นผลึกของแข็ง สีขาวอมเทา กากแคลเซียมคาร์ไบด์จะถูกนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ได้จะมีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก นำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion แล้วร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 พบว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เมื่อนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 ไปละลายน้ำในอัตราส่วนโดยปริมาตรของแข็งต่อปริมาตรของเหลว (S:L) เท่ากับ 1:2 พบว่ามีฤทธิ์เป็นด่างแก่ วัดค่า pH ได้เท่ากับ 12.6 ที่อุณหภูมิ

20^{o}C กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 325 จะถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูปผลึกหกเหลี่ยมเกาะกลุ่มและซ้อนทับกันเป็นแผ่นหรือเป็นชั้นๆ ทึบแน่น มีโพรงน้อย แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพ SEM ลักษณะอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CCR) กำลังขยาย 10,000 เท่า

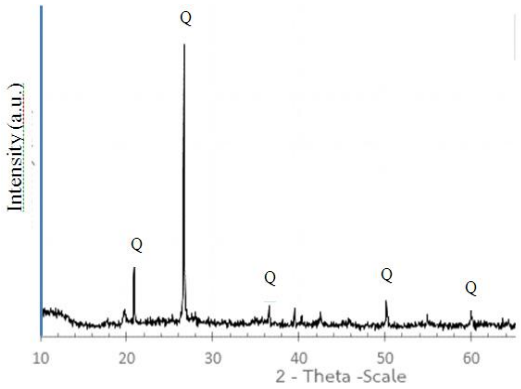
การหาร้อยละของปริมาณธาตุโลหะออกไซด์โดยน้ำหนักด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF) ของเศษอิฐมอญและกากแคลเซียมคาร์ไบด์แสดงผลดังตารางที่ 2 พบว่าในเศษอิฐมอญมีซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) เป็นธาตุองค์ประกอบในปริมาณที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอื่นๆ ปริมาณซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์(Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ทั้งสามชนิดในเศษอิฐมอญรวมกันมีปริมาณมากถึงร้อยละ 91 โดยประมาณ ซึ่งมากกว่าเกณฑ์กำหนดทางเคมีของวัสดุปอซโซลานตาม ASTM C618 (ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70) ปริมาณของซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_3) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ที่พบในเศษอิฐมอญน้อยมาก ต่ำกว่าค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน ASTM C618 ต้องพบในปริมาณไม่เกินร้อยละ 4, 5 และ 1.5 ตามลำดับ แม้ว่าเศษอิฐมอญจะมีปริมาณ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในปริมาณที่มาก แต่มีปริมาณสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เพียงร้อยละ 1.25 จึงไม่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประสานที่สามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานโดยลำพังได้เมื่อสัมผัสกับน้ำเหมือนปูนซีเมนต์

ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบโลหะออกไซด์ในกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีองค์ประกอบหลักคือ สารประกอบ CaO มีปริมาณมากถึงร้อยละ 80.1 และพบว่ามีปริมาณ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 อยู่ในประมาณร้อยละ 5.71, 2.61 และ 0.72 ตามลำดับ ที่เหลือจะเป็นธาตุอื่น ๆ รวมกันประมาณร้อยละ 0.3 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบโลหะออกไซด์ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ กับปูนขาวทั่วไป (hydrated lime) กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีปริมาณ CaO สูงกว่าปริมาณที่พบในปูนขาวทั่วไป(ร้อยละ 71) และมีปริมาณสารประกอบ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 สูงกว่าปูนขาวทั่วไปในปริมาณเล็กน้อย[2]

ตารางที่ 2 ร้อยละโดยน้ำหนักของโลหะออกไซด์วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

ชนิดสารประกอบ	ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก	
	เศษอิฐแดง	กากแคลเซียมคาร์ไบด์
SiO_2	59.02	5.46
Al_2O_3	19.27	2.48
Fe2O3	12.56	0.69
CaO	1.25	80.1
K_2O	3.62	0.08
Na_2O	-	0.047
MgO	0.88	0.75
SO_3	0.21	0.88
LOI	<1.0	8.6

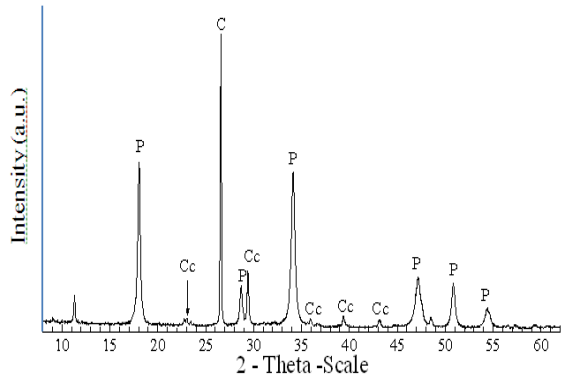
ในการศึกษาชนิดและความเป็นผลึกของสารประกอบในเศษอิฐมอญด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) พบว่าโครงสร้างของเศษอิฐมอญมีความเป็นผลึกสูง และพบผลึกของ SIO_2 ในรูป Quartz เป็นหลัก (รูปที่ 3) เมื่อพิจารณาโครงสร้างความเป็นผลึกของเศษอิฐมอญเปรียบเทียบกับวัสดุปอซโซลานประเภทเถ้าลอยถ่านหินและเถ้าลอยชีวมวล พบว่าเศษอิฐมอญไม่มีโครงสร้างอสัณฐานที่ 2theta ตั้งแต่ 22-26^{o}เหมือนกับที่พบในเถ้าลอยถ่านหินและเถ้าลอยชีวมวล แต่พบโครงสร้างผลึกของควอทซ์ที่เด่นชัดที่ 2theta 26.5^{o} [3-5]



รูปที่ 3 ชนิดผลึกที่พบในเศษอิฐมอญที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD (Q=Quartz)

ผลการวิเคราะห์ชนิดและความเป็นผลึกของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค XRD แสดงผลดังรูปที่ 4 พบว่าในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ประกอบด้วยผลึกของ CaO ในรูปพอร์ตแลนไดต์ (Portlandite) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต หรือแคลไซต์ (Calcite ซึ่งการพบผลึกของ Calcite แสดงว่าเกิดขบวนการคาร์บอเนชั่นระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

ในช่วงที่มีการกองทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในที่โล่ง เช่นลานทิ้งตะกอนภายในโรงงาน



รูปที่ 4 ชนิดผลึกที่พบในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD (P=Portlandite และ Cc=Calcite)

2.2 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดสอบ

การศึกษาการนำเศษอิฐมอญมาใช้ในงานคอนกรีต ได้แบ่งแนวทางการศึกษาออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่ 1) การศึกษาการนำเศษอิฐมอญมาใช้แทนที่มวลรวมละเอียดทราย โดยศึกษาผลของปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญที่มีขนาดคละใกล้เคียงกับทรายต่อการเปลี่ยนแปลง ค่าความถ่วงจำเพาะ อัตราการดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสม และค่ากำลังรับแรงอัด และในส่วนที่ 2) การศึกษาการนำเศษอิฐมอญมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เศษอิฐมอญที่มีขนาดความละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ถูกนำมาผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างเศษอิฐมอญต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CB:CCR) ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะบ่มต่าง ๆ ในสภาพการบ่มในน้ำที่อุณหภูมิปกติ และการนำเศษอิฐมอญขนาดความละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 325 มาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ศึกษาการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ ที่บ่มภายใต้อุณหภูมิและความดันที่สูงด้วยการอบไอน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังนี้

2.2.1 การศึกษาผลของการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญ

ในการศึกษาผลของการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญต่อค่าความถ่วงจำเพาะ อัตราการดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสมเศษอิฐมอญ เศษอิฐมอญที่มีขนาดคละใกล้เคียงกับทรายถูกนำมาแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 0, 25 และ 50 โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะ และอัตราการดูดซึมน้ำ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 128-93 สำหรับการศึกษาผลการแทนที่ทรายต่อการเปลี่ยนแปลงค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสม ได้กำหนดสัดส่วนของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบโดยน้ำหนัก 6 อัตราส่วนคือ 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29/C29M-91

2.2.2 การศึกษาผลการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต

การศึกษาผลการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณร้อยละ 0, 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมของวัสดุทดสอบ ปูนซีเมนต์ ทราย เศษอิฐมอญ หิน และค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.40 และ 0.70 รายละเอียดปริมาณส่วนผสมของวัสดุแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 3 รวมทั้งสิ้น 6 ชุดทดลอง แต่ละส่วนผสมจะถูกนำไปเทใส่แบบลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. ชุดละ 5 ก้อน เพื่อศึกษาการพัฒนาค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ระยะบ่ม 7, 14 และ 28 วัน รวมทั้งสิ้น 90 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของคอนกรีตและค่าอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ (W/C)

ชุดที่	ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต (กก./ ลบ.ม.)				ค่า W/C	ระยะบ่ม
	ปูนซีเมนต์	ทราย	เศษอิฐมอญ	หิน		
1	323	907	0	951	0.40	7, 14 และ 28 วัน
2	323	680	227	951		
3	323	453.5	453.5	951		
4	323	907	0	951	0.70	
5	323	680	227	951		
6	323	453.5	453.5	951		

2.2.3 การศึกษาค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษอิฐมอญต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อกำลังอัดมอร์ตาร์

การศึกษาค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษอิฐมอญต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CB:CCR) ทำการศึกษาทั้งหมด 5 อัตราส่วน คือ 90:10, 70:30, 50:50, 30:70 และ 10:90 ปริมาณวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก (%B) เท่ากับ 10 และ 20 กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายขนาดคละมาตรฐานเท่ากับ 1:2.75 ทำการทดสอบการไหลแผ่เพื่อให้ได้ค่า W/C ที่เหมาะสม (ค่าร้อยละการไหลแผ่ 110± 5) แล้วเทส่วนผสมลงในแบบหล่อตัวอย่างรูปลูกบาศก์ ขนาด 50 มม. x 50 มม. x 50 มม. หลังจากถอดแบบ ทำการบ่มน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 และ 28 วัน รวมทั้งสิ้น 120 ตัวอย่าง ทำการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C 109/C 109M – 95

2.2.4 การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะบ่มต่าง ๆ

จากการศึกษาในหัวข้อ 2.1.3 ทำให้ทราบถึงอัตราส่วน CB:CCR ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะเป็นอัตราส่วนที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดของมอร์ตาร์ที่ระยะบ่ม 14 - 28 วัน ในการศึกษาตอนนี้จะศึกษาถึงผลของระยะบ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ที่มีต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ที่เตรียมจากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุประสาน CB:CCR ในปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก (%B) เท่ากับ 0, 10 และ 20 และศึกษาการพัฒนากำลังอัดที่ระยะเวลาบ่ม 5 ค่า คือ 7, 14, 28, 45 และ 60 วัน และเปรียบเทียบผลกับมอร์ตาร์ควบคุมที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ล้วน (OPC) รวมทั้งสิ้น 90 ตัวอย่าง ทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109/C 109M – 95

2.2.5 การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ผสมเศษอิฐมอญด้วยการอบไอน้ำ

การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ในระหว่างการบ่มด้วยการอบไอน้ำ คณะผู้การศึกษาได้นำวัสดุประสานเศษอิฐมอญบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก (%B) เท่ากับ 20, 30 และ 40 ทำการทดสอบการไหลแผ่เพื่อให้ได้ค่า W/B ที่เหมาะสม แล้วเทส่วนผสมลงในแบบหล่อตัวอย่างรูปลูกบาศก์ หลังจาก 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วตัวอย่างจะถูกนำไปบ่มในน้ำ 16 ชั่วโมง แล้วทำการอบไอน้ำ ด้วยเครื่อง Autoclave ซึ่งในเวลา 45 – 75 นาที สามารถให้ความดันไอน้ำได้ถึง 2 Mpa หลังจากนั้นจะให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 210^{o}C และความดัน 2 ± 0.07 Mpa เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิมอร์ตาร์ลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง จะทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C 109/C 109M – 95 เปรียบเทียบผลการศึกษากับมอร์ตาร์ชุดควบคุมที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ล้วน (OPC) ที่บ่มในน้ำที่อุณหภูมิปกติ ระยะบ่ม 24 ชั่วโมง และ 28 วัน

3. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลการศึกษา

3.1 การแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญต่อค่าความถ่วงจำเพาะ อัตราการดูดซึมน้ำ และหน่วยน้ำหนัก

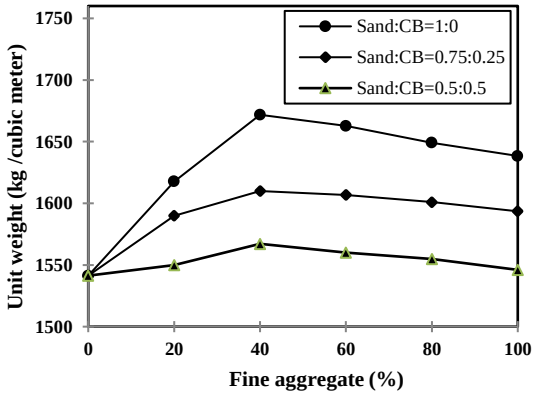
การนำเศษอิฐมอญมาแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 0, 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ส่งผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะ(ถพ.) ของมวลรวมละเอียดผสมในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ปรากฏ และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ เมื่อแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญร้อยละ 0, 25 และ 50 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญ ต่อค่าถพ.และค่าการดูดซึมน้ำ

ชนิดมวลรวมละเอียด	ค่าความถ่วงจำเพาะ (ถพ.)			ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (%)
	แห้งด้วยเตาอบ	อิ่มตัวผิวแห้ง	แบบปรากฏ	
ทรายล้วน	2.59	2.61	2.62	0.40
ทราย:เศษอิฐมอญ เท่ากับ 0.25:0.75	2.51	2.53	2.55	0.60
ทราย:เศษอิฐมอญ เท่ากับ 0.5:0.5	2.44	2.46	2.49	0.81
เศษอิฐมอญ	2.31	2.34	2.37	1.01

ค่าถพ.ของตัวอย่างทรายล้วนทั้งแบบในสภาวะแบบแห้งด้วยเตาอบ แบบอิ่มตัวผิวแห้ง และแบบปรากฏ จะมีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าถพ.ของมวลรวมละเอียดทรายที่ถูกแทนที่ด้วยเศษอิฐมอญบางส่วนในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก และค่าถพ.ของเศษอิฐมอญล้วน ค่าถพ.แบบอิ่มตัวผิวแห้งของตัวอย่างทรายล้วน มีค่าเท่ากับ 2.61 การแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าถพ.อิ่มตัวผิวแห้งมีค่าลดลง แต่ยังอยู่ในช่วงของทรายที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปมาตรฐาน ASTM C 128-93 คือมีค่าเท่ากับ 2.40 – 2.90 ส่วนค่าถพ.อิ่มตัวผิวแห้งของเศษอิฐมอญมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานทรายก่อสร้างทั่วไปเล็กน้อย เมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณที่มากขึ้น พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเศษอิฐมอญล้วนมีค่าสูงสุด เนื่องจากเศษอิฐมีคุณสมบัติความเป็นรูพรุนสูง จึงสามารถดูดซึมน้ำได้ดีกว่าทราย

ในการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสม ที่ค่าอัตราส่วนของทรายต่อหินเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100:0 และค่าการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญในอัตราส่วนร้อยละ 25 และ 50 แสดงผลดังรูปที่ 5



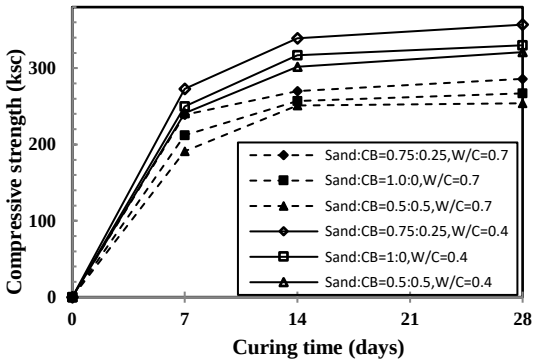
รูปที่ 5 ผลของการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญต่อค่าหน่วยน้ำหนัก

จากรูปที่ 5 หน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสมของหินและทราย จะมีค่าสูงสุดเมื่อปริมาณทรายมีปริมาณร้อยละ 40 ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานมวลรวมผสมงานก่อสร้างทั่วไปคือในช่วงร้อยละ 34 - 40 โดยน้ำหนัก เมื่อแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก พบว่าการแทนที่มวลรวมละเอียดผสมระหว่างทรายและเศษอิฐมอญรวมกันในปริมาณร้อยละ 40 และมวลรวมหยาบร้อยละ 60 ยังคงเป็นสัดส่วนที่ให้ค่าหน่วยน้ำหนักสูงสุด แต่มีค่าหน่วยน้ำหนักลดลงตามปริมาณการแทนที่ด้วยเศษอิฐมอญ เป็นเพราะเศษอิฐมอญมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าทราย เนื่องจากเศษอิฐมอญที่ใช้ในการศึกษาถูกทำให้มีขนาดเล็กด้วยการเข้าเครื่อง Los Angeles Abrasion เป็นเวลาประมาณ 3.5 ชั่วโมง เศษอิฐมอญที่ถูกบด จึงมีลักษณะรูปร่าง ไม่กลมมน แต่มีความเป็นเหลี่ยมมุมมากกว่าทรายก่อสร้างซึ่งเป็นทรายธรรมชาติ เมื่อถูกบดอัดจึงมีช่องว่างระหว่างอนุภาคมากกว่าทรายก่อสร้าง ความสามารถในการอัดแน่นจึงน้อยกว่าทรายที่มีรูปร่างกลมมนกว่า แต่อย่างไรก็ตามการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณไม่เกินร้อยละ 50 ให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสมอยู่ในเกณฑ์สำหรับใช้งานคอนกรีตปกติ (normal weight concrete) คืออยู่ในช่วง 1,520 -1,680 kg/m^3

3.2 ผลของการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต

ในการศึกษาการใช้เศษอิฐมอญขนาดคละแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 แสดงผลดังรูปที่ 6 พบว่าการเพิ่มระยะบ่มจาก 7, 14 และ 28 วัน ทำให้เกิดการพัฒนากำลังอัดที่มากขึ้นของทั้งลูกบาศก์คอนกรีตที่เตรียมจากทรายล้วนและลูกบาศก์ที่เตรียมจากทรายผสมด้วยเศษอิฐมอญ

บางส่วนที่ร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก การพัฒนาค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่เตรียมจากมวลรวมละเอียดทรายล้วนและทรายผสมเศษอิฐมอญในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ที่ค่า W/C เท่ากับ 0.4 และ 0.7 มีแนวโน้มที่เหมือนกัน พบว่าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญขนาดคละใกล้เคียงกับทรายในปริมาณร้อยละ 25 ให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตสูงกว่าการใช้ทรายล้วนเป็นมวลรวมละเอียดในทุกระยะบ่ม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ทรายเป็นร้อยละ 50 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตลดลงอย่างเห็นได้ชัด

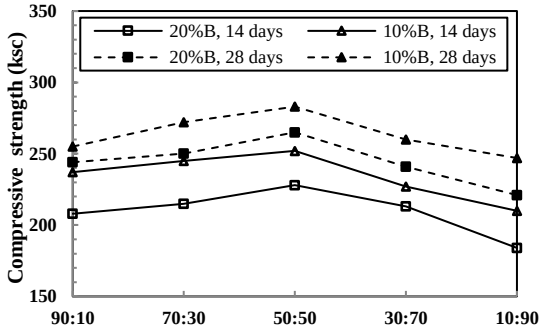


รูปที่ 6 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่เตรียมจากมวลรวมละเอียดทรายล้วนและทรายผสมด้วยเศษอิฐมอญที่ระยะบ่มต่างๆ

การนำเศษอิฐมอญที่มีขนาดคละใกล้เคียงกับทรายมาใช้แทนที่ทรายในปริมาณที่ร้อยละ 25 ช่วยให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น เนื่องจากเศษอิฐมอญมีรูปร่างที่กลมมนน้อยกว่าทราย การยึดเกาะเกี่ยวกันระหว่างอนุภาคที่มีเหลี่ยมมุม จึงมีมากกว่าอนุภาคที่ผิวเรียบและกลมมน และความละเอียดที่มากกว่า จึงช่วยเติมเต็มช่องว่างต่าง ๆ ระหว่างมวลรวมหยาบภายในคอนกรีตได้ดีกว่า แต่เมื่อนำเศษอิฐมอญมาใช้แทนที่ทรายในปริมาณที่มากเกินไป กลับทำให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตลดลง เป็นผลเนื่องจากวัสดุที่มีความเป็นเหลี่ยมมุม ไม่กลมมน และมีความละเอียดสูงกว่า จึงมีค่าสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงกว่าวัสดุกลมมน เรียบ และไม่ขรุขระ ดังนั้นการแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณที่มากเกินไป เศษอิฐมอญจะไม่ได้ทำหน้าที่เป็นวัสดุช่วยเติมเต็มโพรงช่องว่างภายในคอนกรีต แต่ทำให้พื้นที่ผิวภายในคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น และทำให้ปริมาณความต้องการปูนซีเมนต์ในซีเมนต์เพสท์มากขึ้นเพื่อที่จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าเท่ากับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดเป็นทรายล้วน[6-7]

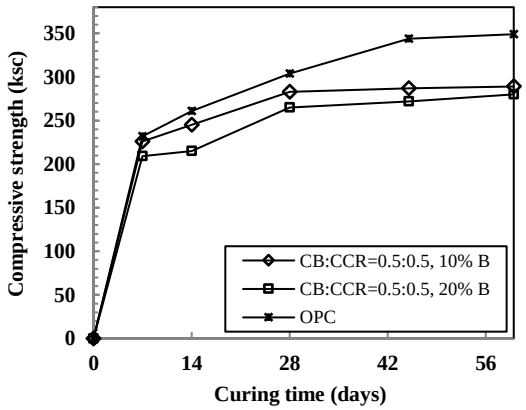
3.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างเศษอิฐมอญต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และระยะบ่มต่อการพัฒนากำลังอัดมอร์ตาร์

ในการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเศษอิฐมอญต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ที่ให้ค่ากำลังอัดมอร์ตาร์มากที่สุด โดยทำการทดสอบส่วนผสม ที่ 5 อัตราส่วน ที่ร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 10 และ 20 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน แสดงผลดังรูปที่ 7 มอร์ตาร์ที่เตรียมจากอัตราส่วนผสมระหว่าง CB:CCR เท่ากับ 50:50 ที่ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก เป็นค่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดซึ่งสามารถให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ๆ และการเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์จากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่ากำลังอัดที่ระยะบ่มทั้ง 14 และ 28 วันลดลง เนื่องจากการลดปริมาณวัสดุประสานปูนซีเมนต์ด้วยการแทนที่ด้วยเศษอิฐมอญผสมกากคาร์ไบด์ ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ลดลง นอกจากนี้หากเศษอิฐมอญสามารถทำปฏิกิริยากับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้ และเกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานได้ จะเป็นปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งเกิดได้ช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะส่งผลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุบ่มตั้งแต่ 28 วันขึ้นไป



รูปที่ 7 ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษอิฐมอญต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CB:CCR) ต่อค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะบ่ม 14 และ 28 วัน

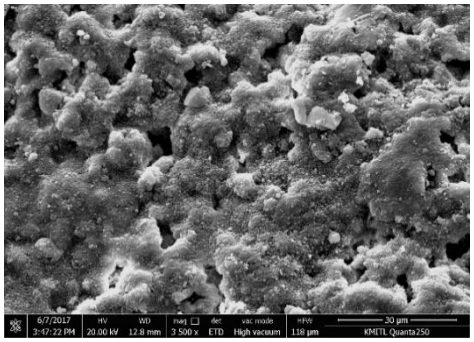
เมื่อทำการศึกษาการพัฒนากำลังอัดมอร์ตาร์ที่อัตราส่วนผสมระหว่าง CB:CCR เท่ากับ 50:50 ที่ระยะบ่มนานกว่า 28 วัน เพื่อทราบถึงการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ ซึ่งเป็นผลเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลาน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ทั้งที่ร้อยละ 10 และ 20 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะบ่มมากขึ้นแสดงรูปที่ 8



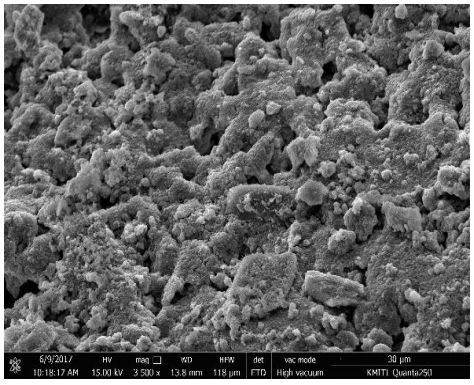
รูปที่ 8 การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเศษอิฐมอญผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ระยะบ่มต่าง ๆ

ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกด้วยกล้อง SEM ของมอร์ตาร์ที่เป็นผลจากการนำเศษอิฐมอญและกากแคลเซียมคาร์ไบด์มาแทนที่ปูนซีเมนต์ ที่อัตราส่วน CB:CCR เท่ากับ 50:50 ปริมาณวัสดุประสานแทนที่

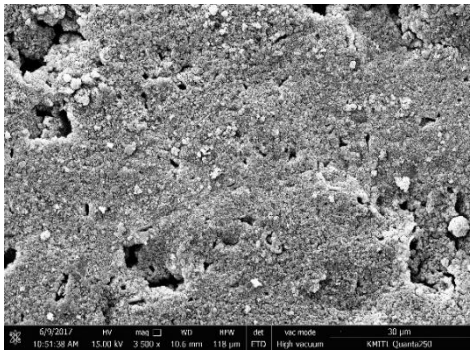
ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาบ่ม 7, 45 และ 60 วัน แสดงดังรูปที่ 9 ภาพSEM ของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 7 วัน (รูปที่ 9 (ก)) แสดงโครงสร้างที่เป็นโพรงกระจายทั่วไปในเนื้อมอร์ตาร์ แต่เมื่อระยะบ่มเพิ่มมากขึ้นเป็น 45 และ 60 วัน เห็นได้ว่าโครงสร้างของตัวอย่างมอร์ตาร์มีการกระจายของโพรงน้อยลงมีความทึบแน่นมากขึ้น ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 60 วันจะมีโครงสร้างทึบแน่นมากที่สุด (รูปที่ 9 (ค)) เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 45 วัน (รูปที่ 9 (ข)) เป็นผลเนื่องจากเกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะบ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในรูปที่ 8



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 9 ภาพ SEM ที่กำลังขยาย 3,500 เท่าของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์แทนที่เศษอิฐมอญผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อายุบ่ม (ก) 7 วัน (ข) 45 วัน และ (ค) 60 วัน

จากผลการศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเศษอิฐมอญผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อัตราส่วน CB:CCR เท่ากับ 50:50 ที่ระยะบ่มตั้งแต่ 7, 14 และ 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์มีค่ากำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่เตรียมจากปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว และการเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซิเมนต์จากปริมาณร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง แสดงว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ในระยะแรกคือในช่วง 28 วัน มาจากผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เป็นหลัก

เมื่อศึกษากำลังอัดมอร์ตาร์ที่อายุบ่มตั้งแต่ 28 ขึ้นไปจนถึง 60 วัน พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่เตรียมจากเศษอิฐมอญผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และแตกต่างจากค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ควบคุมอย่างชัดเจน การลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงร้อยละ 10 และ 20 ด้วยการแทนที่ด้วยเศษอิฐมอญผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ทำให้ผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานจากปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดได้น้อยลง ไม่สามารถทดแทนการลดปริมาณปูนซีเมนต์ได้ จากผลการวิเคราะห์ XRD ของเศษอิฐมอญซึ่งแสดงถึงโครงสร้างผลึกของซิลิกาอย่างชัดเจน แตกต่างจากวัสดุปอซโซลานประเภทเถ้าลอยถ่านหิน และเถ้าลอยชีวมวล ที่มีโครงสร้างซิลิก้าแบบอสัณฐาน ซึ่งลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐานของซิลิกาจะว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ดีกว่า แม้ว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่า pH สูงถึง 12.6 แต่ไม่สามารถสลายโครงสร้างผลึก และทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับเศษอิฐมอญได้ดีเท่าที่ควร ในสภาวะการบ่มที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติได้ จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานได้น้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม

3.4 ผลการศึกษาการพัฒนากำลังอัดมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ผสมเศษอิฐมอญบ่มด้วยไอน้ำ

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาการพัฒนากำลังอัดมอร์ตาร์ด้วยการอบไอน้ำ ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของชุดมอร์ตาร์ที่เตรียมจากการใช้เศษอิฐมอญบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มในน้ำ 16 ชั่วโมงและอบไอน้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม (OPC) ที่บ่มในน้ำที่อุณหภูมิปกติ แสดงผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าร้อยละการไหลแผ่และค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์

ชุดทดสอบ	สภาวะการบ่ม	ค่า W/B	ค่าร้อยละการไหลแผ่	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (ksc.)
OPC	บ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน	0.58	106	205
OPC	บ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 28 วัน	0.58	106	310
OPC80%+CB20%	บ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 16 ชม. แล้วอบไอน้ำ 5 ชม.	0.64	106	321
OPC70%+CB30%		0.66	108	298
OPC60%+CB40%		0.68	108	249

จากผลการศึกษาพบว่าการนำเศษอิฐมอญบดละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 ไปแทนที่ปูนซีเมนต์ในมอร์ตาร์ที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และการบ่มด้วยไอน้ำสามารถเร่งกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุบ่มภายใน 24 ชั่วโมง ให้มีค่ากำลังอัดเทียบเท่ากับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ล้วนที่อายุบ่ม 28 วัน

ในสภาวะการบ่มชื้นที่อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศปกติ เนื่องจากการเติมวัสดุที่มีความละเอียดและมีองค์ประกอบเป็นซิลิกาในปริมาณมาก สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานกลุ่ม C-S-H โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานชนิด tobermerite ($C_6S_6H_5$) สามารถแทรกไปในโพรงช่องว่างต่างๆ ทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มมากขึ้นและการซึมผ่านของน้ำลดลง [8] นอกจากนี้ซิลิกาที่มีโครงสร้างเป็นผลึกสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสภาวะการบ่มด้วยไอน้ำได้ดีกว่าซิลิกาที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน [8 -10]

เมื่อกำหนดค่าการไหลแผ่ให้อยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 110±5 พบว่ามอร์ตาร์ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ผสมเศษอิฐมอญมีความต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามอร์ตาร์ชุดควบคุม และการเพิ่มปริมาณเศษอิฐมอญจากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ยิ่งทำให้ค่า W/B สูงขึ้นตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเศษอิฐมอญ จึงส่งผลทำให้ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลง เป็นเพราะเศษอิฐมอญมีความเป็นรูพรุนและรูปร่างไม่กลมมน มีช่องว่างระหว่างอนุภาคมากกว่า จึงมีความต้องการน้ำมากกว่าในการทำให้คอนกรีตข้นเหลวหรือการเทได้[11]

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การนำเศษอิฐมอญมาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต สามารถสรุปผลการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นได้ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ชนิดโลหะออกไซด์ในเศษอิฐมอญด้วยเทคนิค XRF เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดทางเคมีของความเป็นวัสดุปอซโซลาน ตามมาตรฐาน ASTM C 618 พบว่าเศษอิฐมอญมีชนิด และปริมาณของโลหะออกไซด์เป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าว และจากผล XRD พบว่าเศษอิฐมอญมีโครงสร้างที่มีความเป็นผลึกควอทซ์ ไม่พบโครงสร้างอสัณฐานของซิลิกา ที่ 2 theta ตั้งแต่ 22-26^{O}เหมือนกับที่พบในวัสดุปอซโซลานประเภทเถ้าลอยถ่านหินและเถ้าลอยชีวมวล

2) เศษอิฐมอญที่มีขนาดคละใกล้เคียงกับทราย เมื่อนำไปใช้แทนที่ทรายในปริมาณ ร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก พบว่าให้ค่าสัดส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบที่ให้ค่าหน่วยน้ำหนักมวลรวมผสมสูงสุดเท่ากับ 40:60 ซึ่งเป็นสัดส่วนเดียวกับการใช้ทรายล้วนเป็นมวลรวมละเอียด หน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสมที่ใช้ทรายผสมเศษอิฐมอญมีค่าลดลง แต่ยังอยู่ในเกณฑ์การใช้งานสำหรับคอนกรีตปกติ

3) เศษอิฐมอญที่มีขนาดคละใกล้เคียงกับทรายสามารถนำไปใช้แทนที่ทรายได้ในปริมาณที่เหมาะสม (ไม่เกินร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก) จะให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตควบคุม เนื่องจากเศษอิฐมอญมีความกลมมนน้อยกว่าทราย การยึดเกี่ยวระหว่างอนุภาคที่มีเหลี่ยมมุม เศษอิฐมอญขนาดคละจึงทำหน้าที่เป็นวัสดุช่วยเติมเต็มช่องว่างต่างๆ ในคอนกรีตได้ดี

4) การนำเศษอิฐมอญขนาดละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 มาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์นั้น พบว่าโครงสร้างของซิลิกาที่เป็นองค์ประกอบหลักของเศษอิฐมอญมีความเป็นผลึกที่แข็งแรง สลายโครงสร้างได้ยากจึงไม่สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับสารละลายด่าง เช่นกากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้ดี ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ

5) การนำเศษอิฐมอญขนาดละเอียดผสมกับปูนซิเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสม (ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก) และทำการบ่มด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง สามารถเร่งกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุบ่มไม่เกิน 24 ชั่วโมง ให้มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ล้วนที่อายุบ่ม 28 วันได้

จากผลการศึกษาเบื้องต้นของการนำเศษอิฐมอญที่เป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีตนั้น พบว่าเศษอิฐมอญที่มีขนาดและปริมาณที่เหมาะสมมีประโยชน์ในด้านการเป็นมวลรวมละเอียดทดแทนทรายได้บางส่วน และเป็นวัสดุประสานทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในงานคอนกรีตอบไอน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ควรที่จะศึกษาถึงผลของการแทนที่ด้วยเศษอิฐมอญ ต่อสมบัติทางวิศวกรรมด้านอื่นๆ นอกจากการศึกษาผลต่อค่ากำลังอัด เช่น ความสามารถในการเทของคอนกรีตสด กำลังรับแรงดึงแยก กำลังรับแรงดัด การหดตัวแบบแห้ง การทนต่อสารละลายซัลเฟต นอกจากนี้ควรทำการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค ได้แก่ SEM ร่วมกับ EDX, XRD, DTA และ TGA เพื่อเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางโครงสร้างภายใน ชนิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการปฏิกิริยาเคมีเนื่องจากการบ่มด้วยไอน้ำ

เอกสารอ้างอิง

[1] Tanalapsakul, A. (1998). Document from M Thai industrial company limited, May. *M Thai industrial company limited*. Samutsakorn, Thailand.

[2] Cardoso, F.A., Fernandes, H. C., Pileggi, R.G., Cincotto, M.A., and John, V.M. (2009). Carbide lime and industrial lime characterization. *Powder Technology,* 195, pp.143-149.

[3] Anderson D., Roy A., Seals R.K., Carledge F.K., Akhter H. and Jones S.C. (2000). A preliminary assessment of the use of an amorphous silica residual as a supplementary cementing material. *Cement Concrete Res*earch, 30**,** 437-445.

[4] Davarz M. and Gunduz L. (2005) Engineering properties of amorphous silica as a new natural pozzolan for use in concrete. *Cement Concrete Research*, 35**,** pp. 1251-1261.

[5] Vichan S., Rachan R. and Horpibulsuk, S. (2013). Strength and Microstructure Development in Bangkok clay stabilized with Calcium carbide residue and Biomass ash. *Science Asia*, 39, pp. 186-193.

[6] Singh, S., Tiwari, A., Nagar, R. and Agrawal V. (2016). Feasibility as potential substitute for natural sand: A comparative study between granite cutting waste and

marble slurry. *Procedia Environmental Sciences,* 35, pp. 571-582.

[7] Balasubramanian, J., Gopal, E. and Periakaruppan, P. (2016). Strength and microstructure of motar with sand substitutes. *Gradevinar*. 68(1), pp. 41-49.

[8] Jupe, A.C., Wilkinson, A. P., Luke, k. and Funkhouser, G.P. (2008). Class H cement hydration at 180^{o}C and high pressure in the presence of added silica. *Cement and Concrete Research*, 38(5), pp. 660-666.

[9] Luke, K. (2004). Phase studies of pozzolanic stabilized calcium silicate hydrates at 180^{o}C. *Cement and Concrete Research*, 34(9), pp. 1725–1732.

[10] Alawad, O.M., Alhozaimy, A., Jaafar, M.S., Aziz, F. N. A. and Al-Negheimish, A. (2015). Effect of autoclave curing on the microstructure of blended cement mixture incorporating ground dune sand and ground granulated blast furnace slag. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 9(3), pp. 381-390.

[11] Polat, R., Yadollahi, M. M., Aagsoz, A. E. and Arasan., S.(2013). The correlation between aggregate shape and compressive strength of concrete: Digital image processing approach. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research* 2(3), pp. 62–80.