

## การใช้ประโยชน์เศษอิฐมอญกองทิ้งในงานคอนกรีต

### Utilization of Disposed Waste Brick in Concrete Work

สถาพร สระจุม (Sathaporn Srajoom)\* ดร.สำเร็จ รักซ้อน (Dr.Sumrerng Rukzon)<sup>1\*\*</sup>

(Received: October 14, 2022; Revised: February 5, 2023; Accepted: February 3, 2023)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาเศษอิฐมอญบดเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับผลิตคอนกรีต มวลรวมละเอียดปกติ แทนที่ด้วยมวลรวมละเอียดเศษอิฐมอญบด (Brick) ในปริมาณร้อยละ 0-100 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดปกติ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (CT) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) คงที่เท่ากับ 0.48 โดยส่วนผสมของคอนกรีต ใช้สารลดน้ำพิเศษ (SP) เพื่อควบคุมการทำงานได้ของส่วนผสมคอนกรีต ศึกษากำลังอัด ความพรุน และการต้านการกัดกร่อนของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า การใช้มวลรวมเศษอิฐมอญบดในปริมาณร้อยละ 25-100 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดปกติ ส่งผลให้กำลังอัดลดลงและความพรุนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้มวลรวมเศษอิฐมอญบดในปริมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดปกติ สามารถต้านทานการกัดกร่อนดีขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษอิฐมอญบดในปริมาณร้อยละ 0, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดปกติ

#### ABSTRACT

This research presents the development ground waste brick as a fine aggregate for producing concrete. Normal fine aggregate was partially replaced with ground waste brick at the dosage levels of 0% - 100% by weight of normal fine aggregate. Ordinary Portland Cement Type I (CT) was used. Water to cement ratio (W/C) with constant of 0.48 was used. Superplasticizer (SP) was used to control the workability of concrete mixes. Compressive strength, porosity and resistance to the corrosion of concrete were investigated. Test results were found that the use of ground waste brick at the dosage levels of 25%-100% by weight of normal fine aggregate decreased compressive strength and increased porosity of concrete. However, the use of ground waste brick at the dosage levels of 25% by weight of normal fine aggregate improved resistance to the corrosion of concrete in comparison with that of ground waste brick at the dosage levels of 0% , 50% , 75% and 100% by weight of normal fine aggregate.

**คำสำคัญ:** การกัดกร่อน คอนกรีต เศษอิฐมอญกองทิ้ง

**Keywords:** Corrosion, Concrete, Disposed waste brick

<sup>1</sup>Corresponding author: sumrerng.ruk@rmutr.ac.th

\*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
Student, Master of Engineering Program in Civil Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala, University of Technology Rattanakosin

\*\*รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Associate Professor, Civil Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Rattanakosin

## บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาสิ่งก่อสร้างพื้นฐานอย่างรวดเร็ว คอนกรีตเป็นโครงสร้างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย รวมไปถึงวัสดุก่อสร้างประกอบอื่นๆ เช่น อิฐมวลเบาสำหรับการก่อผนังอาคาร ซึ่งพบว่า มีโรงงานผลิตอิฐมวลเบาหลายแห่งกระจายอยู่ทั่วประเทศไทย และมีอิฐมวลเบาที่ไม่ได้คุณภาพจากขั้นตอนการผลิต แตกหัก หรือการขึ้นรูปที่ไม่ได้มาตรฐานกองทิ้งเป็นเศษอิฐมวลเบาเป็นจำนวนมาก ต่อมาได้มีการนำเศษอิฐมวลเบาเหลือทิ้งดังกล่าวไปเป็นวัสดุถมพื้นที่ทั่วไป เมื่องานโครงการก่อสร้างต้องการใช้อิฐมวลเบาในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เศษอิฐมวลเบาจำนวนมากขึ้นด้วย จึงอาจทำให้เกิดมลพิษทางอากาศด้านฝุ่นละอองในการกองและยกต่อการกำจัดทิ้ง โดยเศษอิฐมวลเบากองทิ้งดังกล่าวไม่มีมูลค่าและไม่ได้ใช้ประโยชน์ใดๆ ดังนั้น จึงควรศึกษาพัฒนาในการนำไปใช้ประโยชน์ให้ได้มากขึ้น

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยบางชิ้นนำเศษอิฐมวลเบาไปใช้เป็นวัสดุปูขอโซลานร่วมกับปูนซีเมนต์ [1-2] ซึ่งพบว่าเศษอิฐมวลเบาสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ในปริมาณร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน [1] แต่ยังมีอยู่ไม่มากสำหรับการนำเศษอิฐมวลเบาทดแทนวัสดุมวลรวมละเอียด (ทราย) เพื่อใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมคอนกรีต โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษอิฐมวลเบาเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในส่วนผสมของคอนกรีต ที่ผ่านมา มีงานบางชิ้น ศึกษาวัสดุเหลือทิ้งแทนที่มวลรวมในส่วนผสมคอนกรีต เช่น การนำเถ้าถ่านหิน และตะกอนเหล็ก เป็นวัสดุมวลรวม [3-11] ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้ต้องการใช้ประโยชน์ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่มีคุณค่า คือ เศษอิฐมวลเบา มาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต ทั้งนี้ เป็นการสร้างประโยชน์ได้หลายประการ ได้แก่ การเพิ่มมูลค่าของเศษอิฐมวลเบา การลดปริมาณการใช้ทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด การลดปัญหาและค่าใช้จ่ายในการกำจัดเศษอิฐมวลเบา เป็นการลดปัญหามลพิษทางอากาศคือฝุ่นละอองที่ยากต่อการกำจัดทิ้ง สามารถพัฒนาความรู้ เสริมทักษะความรู้ด้านวัสดุคอนกรีต คอนกรีตได้กำลังอัดตามที่ต้องการ เพิ่มฐานข้อมูลสำหรับการศึกษาและวิจัยด้านคอนกรีต งานวิจัยนี้ศึกษาด้านกำลังอัด ความพรุน และการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตที่ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด

## วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนที่ทราย สำหรับผลิตเป็นคอนกรีต ศึกษากำลังอัด ความพรุน และการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีต

## วิธีการวิจัย

### 1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14 ใช้ทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด มีขนาดโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.80 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบ มีโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 7.0 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.71 งานวิจัยนี้ต้องการให้ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตทั่วไปทำงานได้ง่าย จึงใช้ขนาดโตสุดของหินเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร โดยนำเศษอิฐมวลเบาบดย่อยให้มีขนาดให้เล็กกลง โดยให้มีขนาดเท่ากับมวลรวมละเอียดปกติ มีขนาดโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.75 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 10.5 และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.31 งานศึกษานี้ใช้หินเป็นมวลรวมหยาบปกติ กำหนดให้มวลรวมหยาบและละเอียดมีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 และ C136 [12-13] ภาพที่ 1 แสดงการกองทิ้งเศษอิฐมวลเบา ในภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างมวลรวมละเอียดจากเศษอิฐมวลเบาบด และภาพที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษอิฐมวลเบาบดด้วย

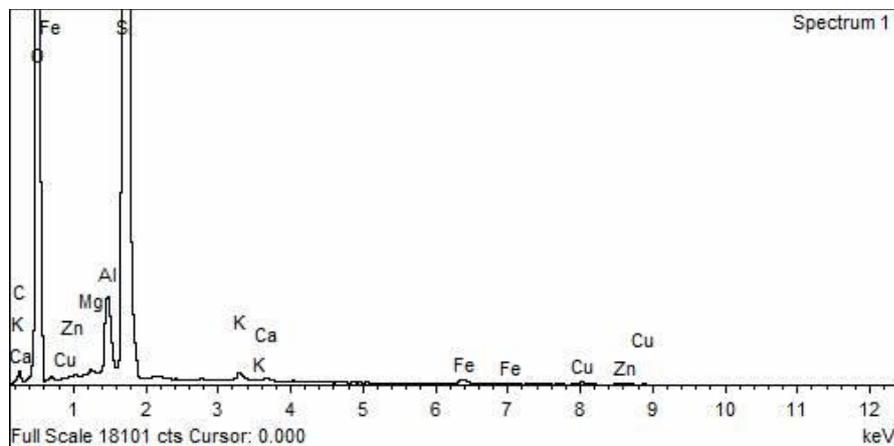
เครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ซึ่งมีองค์ประกอบซิลิกาเป็นหลัก (S) ในภาพที่ 4 แสดงขนาดคละของมวลรวมละเอียด เศษฝุ่นหรืออนุภาคที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 100 ที่เหลือจากการบดอิฐมอญ ไม่ได้นำไปใช้ได้ในส่วนผสม และควรนำไปศึกษาด้วยการใช้เป็นวัสดุเติมเต็มในช่องว่างของมอร์ต้าต่อไป ส่วนในภาพที่ 5 แสดงภาพถ่ายกำลังสูง (Scanning Electron Microscope) ของเศษอิฐมอญบด



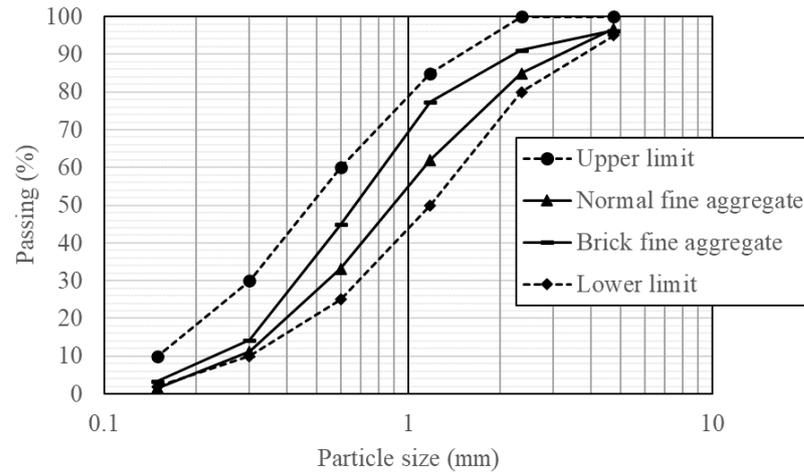
ภาพที่ 1 เศษอิฐมอญ (Disposed waste brick)



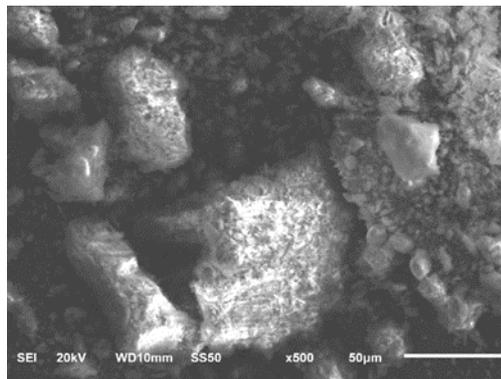
ภาพที่ 2 ตัวอย่างมวลรวมละเอียดเศษอิฐมอญ (Brick)



ภาพที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษอิฐมอญบดด้วย X-Ray Diffraction (XRD)



ภาพที่ 4 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด



ภาพที่ 5 ภาพถ่าย Scanning electron microscope (SEM) ของเศษอิฐมอญบด

## 2. ส่วนผสมของคอนกรีตและการบ่มตัวอย่างทดสอบ

ส่วนผสมคอนกรีตใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.48 ใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 (CT) คงที่เท่ากับ 450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนผสมทุกส่วนผสมใช้สารลดน้ำพิเศษ เพื่อปรับความสามารถการเทได้ของคอนกรีต ควบคุมค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้ได้เท่ากับ 50-100 มิลลิเมตร ส่วนวัสดุมวลรวมใช้ในปริมาณคงที่ในทุกส่วนผสมเพื่อผลของการวิเคราะห์ข้อมูล และเก็บข้อมูล ในการเปรียบเทียบ มวลรวมละเอียดปกติแทนที่ด้วยมวลรวมละเอียดเศษอิฐมอญ ในปริมาณร้อยละ 0, 25, 50, 75, และ 100 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดปกติ

ใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C39 [14] และประยุกต์ใช้ตัวอย่างคอนกรีตขนาดเท่ากับ 100×100×100 ลูกบาศก์มิลลิเมตร สำหรับทดสอบความทานของคอนกรีต ภายหลังหล่อคอนกรีตในแบบหล่อคอนกรีต ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง  $25 \pm 3$  °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ถอดแบบและนำตัวอย่างคอนกรีตบ่มในน้ำสะอาดจนครบอายุการทดสอบที่ 7 และ 28 วัน เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต ส่วนผสมของคอนกรีตแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของคอนกรีต

Mix	W/C	Cement (CT)	Coarse aggregate	Fine aggregate		Water	SP	Slump (mm)
				Normal aggregate	Brick aggregate			
				CT	0.48			
25Brick	0.48	450	890	600	200	216	1.60	82
50Brick	0.48	450	890	400	400	216	1.70	83
75Brick	0.48	450	890	200	600	216	1.76	94
100Brick	0.48	450	890	0	800	216	1.80	97

**สัญลักษณ์:** CT คือ คอนกรีตใช้มวลรวมละเอียดปกติ, Mix ของ xxBrick โดยที่ xx คือปริมาณเศษอิฐร้อยละ 25, 50, 75, และ 100 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดปกติ และ SP คือ สารลดน้ำพิเศษชนิด FF

### 3. การทดสอบกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีต

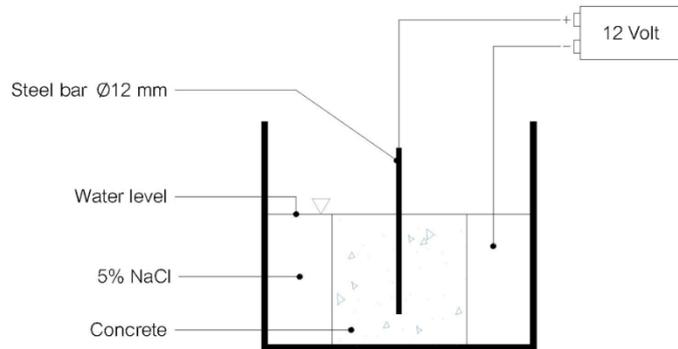
การทดสอบกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีตใช้การเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐานของ ASTM C39 [14] กล่าวคือ ใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ในการทดสอบความพรุนและการดูดซึมน้ำของคอนกรีต ประยุกต์ใช้ตามมาตรฐานของ ASTM C642 [15] และงานวิจัยที่ผ่านมา [3,16-17] การคำนวณหาค่าความพรุนได้ให้ไว้ในสมการที่ (1) ใช้ค่าเฉลี่ยตัวอย่างทดสอบจำนวน 6 ตัวอย่าง

$$P = [(C - A) / (C - D)] \times 100 \quad (1)$$

ในสมการที่ (1) เมื่อกำหนดให้  $P$  คือ ความพรุนรวม (%)  $A$  คือ น้ำหนักอบแห้ง  $C$  คือ น้ำหนักแช่ในน้ำด้วยน้ำ และ  $D$  คือ น้ำหนักชั่งในน้ำ

### 4. การทดสอบการกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์

ใช้ตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาดเท่ากับ 100×100×100 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ในงานนี้ใช้วิธีการทดสอบแบบแรง [3,16-17] โดยทดสอบแรงด้วยแรงดันไฟฟ้า 12 VDC โดยนำเหล็กเสริมคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ใช้เป็นขั้วบวก เสียบเข้าไปในบริเวณกึ่งกลางด้านบนของตัวอย่างคอนกรีตโดยให้เหล็กเสียบเหนือขึ้นไปบนคอนกรีต พิจารณาระยะหุ้มคอนกรีตให้มวลรวมสามารถเทได้ ซึ่งวัดจากผิวล่างคอนกรีตถึงปลายล่างเหล็กเสริมเท่ากับประมาณ 2.5-3 เซนติเมตร หลังถอดแบบตัวอย่าง 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 7 และ 28 วัน จากนั้นนำมาทดสอบหาความต้านทานการกัดกร่อนจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นขั้วลบ บันทึกผลการทดสอบด้วยการหาคร่าระยะเวลาที่ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าซึ่งบันทึกค่าหน่วยเป็นชั่วโมง (Time of first crack, hrs) การติดตั้งการทดสอบการกัดกร่อนแบบแรงแสดงไว้ในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การติดตั้งการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนแบบแรง

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 1. ผลการทดสอบกำลังอัดและปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษของคอนกรีต

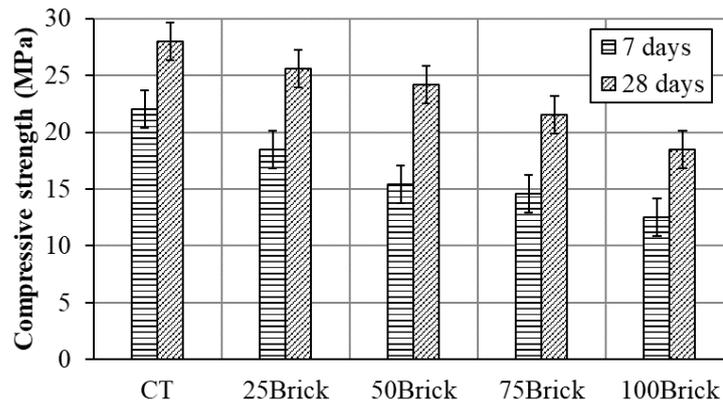
ผลการทดสอบกำลังอัดแสดงไว้ในภาพที่ 7 ปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า การใช้เศษอิฐมอญเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดแทนที่ในมวลรวมปกติ มีแนวโน้มต้องการสารลดน้ำพิเศษเพิ่มเติม เนื่องจาก เศษอิฐมอญแม้ว่าจะผ่านการบดขนาดลดลง แต่ยังคงมีความพรุนในตัวของอิฐมอญอยู่ดังแสดงในภาพที่ 5 จึงต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น [3,16,18-19] อีกทั้งการยึดเกาะระหว่างวัสดุประสานในคอนกรีตอาจลดลงเมื่อใช้เศษอิฐมอญเป็นมวลรวม [19]

พิจารณาภาพที่ 7 ที่อายุ 7 วัน พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง เมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดปกติด้วยมวลรวมเศษอิฐมอญบด กล่าวคือ กำลังอัดมีค่าเท่ากับ 12.5-18.5 เมกะปาสกาล (MPa) ยกตัวอย่างเช่น คอนกรีต 25Brick, 50Brick, 75Brick และ 100Brick มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 18.5, 15.4, 14.6 และ 12.5 เมกะปาสกาล (MPa) ขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตควบคุม (CT) มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 22.0 เมกะปาสกาล (MPa) ในการแทนที่มวลรวมละเอียดปกติด้วยมวลรวมเศษอิฐมอญบด พบว่ากำลังอัดลดลง เนื่องจาก เศษอิฐมอญยังมีความพรุนในตัวของอิฐมอญอยู่ดังแสดงในภาพที่ 5 [3,16-19] ส่งผลให้ความตึงเครียดลดลงเมื่อใช้เศษอิฐเป็นมวลรวม [19] อีกทั้งขนาดอนุภาคของเศษอิฐมอญบดมีขนาดใหญ่อาจไม่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำในระบบโพรงเพสต์ [20]

ส่วนที่อายุการทดสอบ 28 วัน พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 7) เมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดปกติด้วยมวลรวมเศษอิฐมอญบด เช่นเดียวกับที่อายุ 7 วัน ยกตัวอย่างเช่น คอนกรีต 25Brick, 50Brick, 75Brick และ 100Brick มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 25.6, 24.2, 21.5 และ 18.5 เมกะปาสกาล (MPa) ขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตควบคุม CT มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 28.0 เมกะปาสกาล (MPa)

การทดสอบครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมปกติด้วยมวลรวมเศษอิฐมอญส่งผลให้กำลังอัดลดลงตามปริมาณการแทนที่ ความสามารถดูดซึมน้ำที่สูงของอิฐบดส่งผลให้ซีเมนต์เจลลดลง ดังนั้นเนื้อเพสต์จึงมีกำลังลดลง อย่างไรก็ตาม กำลังอัดของคอนกรีตมีการพัฒนาขึ้นเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ [3,16,18-20]

การใช้ปริมาณมวลรวมเศษอิฐมอญแทนที่มวลรวมละเอียดปกติในปริมาณร้อยละ 25 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียดปกติ มีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษอิฐมอญชนิดอื่นๆ เนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการคละกักับมวลรวมละเอียดปกติ อีกทั้งเป็นการเกี่ยวพันกันของวัสดุทั้งสองในปริมาณที่เหมาะสม [16] การใช้สารลดน้ำพิเศษในส่วนผสมอาจส่งผลให้คอนกรีตมีความทึบแน่นขึ้น หรือคอนกรีตเกิดความแน่นขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยมวลรวมละเอียดเศษอิฐมอญ กำลังอัดมีแนวโน้มลดลงในทุกส่วนผสม ดังนั้น จึงส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างวัสดุประสานในคอนกรีตลงกำลังอัดจึงลดลง

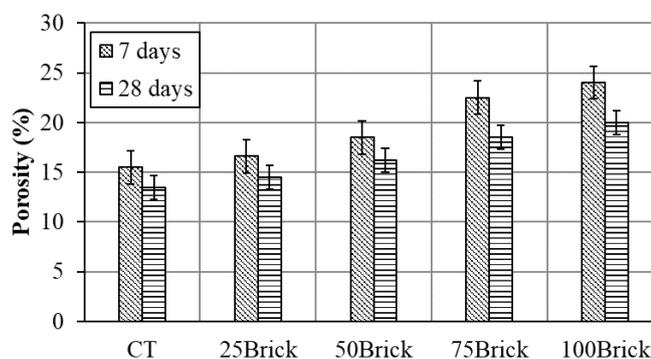


ภาพที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

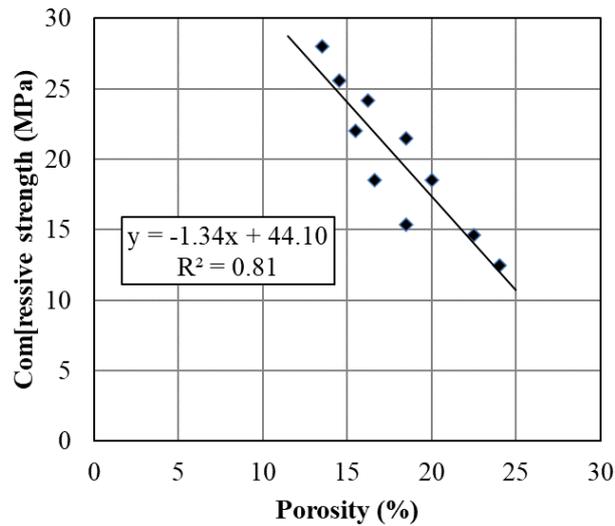
## 2. ผลการทดสอบความพรุนของคอนกรีต

ในภาพที่ 8 แสดงผลการทดสอบค่าร้อยละความพรุน ที่อายุ 7 วัน พบว่า เมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดปกติด้วยมวลรวมเศษอิฐมอญบดส่งผลให้ความพรุนของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกส่วนผสม เนื่องจากผลของอนุภาคของเศษอิฐมอญที่มีความพรุนในตัวเอง [3,16,21] ส่วนที่อายุการทดสอบ 28 วัน พบว่า ค่าร้อยละความพรุนของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดปกติด้วยมวลรวมเศษอิฐมอญบด

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอายุการทดสอบ ส่งผลให้ความพรุนลดลง ในภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความพรุนของคอนกรีต พบว่า เมื่อความพรุนลดลงส่งผลให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น [3,16,21] เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความพรุนของคอนกรีต จึงสามารถแนะนำได้ว่า การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตต้องพิจารณาถึงผลของความพรุนของคอนกรีตเป็นสำคัญด้วย [21-22]



ภาพที่ 8 ร้อยละความพรุนของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

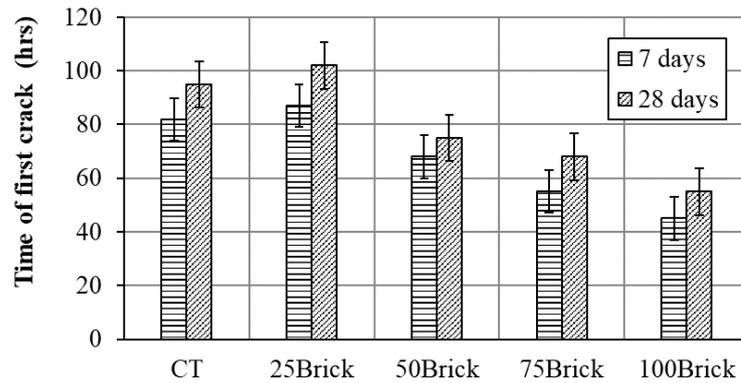


ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

### 3. ผลการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีต

ในภาพที่ 10 แสดงผลการวัดค่าการแตกร้าวของคอนกรีตเมื่อทดสอบแบบแรงปฏิบัติการกัดกร่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า หน่วยวัดเป็นชั่วโมง โดยพิจารณาจากการแตกร้าว (First of crack) ผลการทดสอบพบว่า การใช้เศษอิฐมอญทดแทนที่มวลรวมละเอียดปกติในปริมาณร้อยละ 25 สามารถลดค่าการแตกร้าวได้โดยเพิ่มค่า First of crack เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ ส่งผลให้ค่า First of crack ลดลง

การทดสอบการกัดกร่อนของคอนกรีตมีข้อสังเกตและน่าสนใจเมื่อเทียบกับการทดสอบกำลังอัดและความพรุน กล่าวคือ จากการทดสอบ พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง และค่าร้อยละความพรุนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดปกติด้วยมวลรวมละเอียดอิฐมอญทดแทน นอกจากนั้น การแทนที่มวลรวมละเอียดปกติด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณร้อยละ 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดปกติการต้านทานการกัดกร่อนลดลง อย่างไรก็ตาม ในส่วนของการต้านทานการกัดกร่อนนี้ พบว่า การแทนที่มวลรวมละเอียดปกติด้วยเศษอิฐมอญในปริมาณร้อยละ 25 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียดปกติสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดีเมื่อเทียบกับส่วนผสมคอนกรีตอื่น อาจเป็นผลเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาที่บรรจุอยู่ในเศษอิฐมอญในปริมาณที่เหมาะสมส่วนหนึ่ง สามารถยับยั้งอิออนของคลอไรด์ได้ [16-18] อย่างไรก็ตาม การการนำเศษอิฐมอญมาแทนที่ได้ร้อยละ 25 ต้องผ่านกระบวนการบดหรือย่อย ซึ่งอาจต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการบด ดังนั้น จะได้ศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้ทรายล้วนถึงต้นทุนการผลิตต่อไป



ภาพที่ 10 ระยะเวลาการแตกของคอนกรีตแบบเร่งการทดสอบการกักกร่อน (Time of first crack)

## สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อพัฒนาเศษอิฐมอญบด สำหรับใช้แทนที่มวลรวมละเอียดปกติเพื่อผลิตคอนกรีต พบว่าการแทนที่มวลรวมละเอียดปกติ ด้วยเศษอิฐมอญบด ส่งผลให้กำลังอัดลดลงและความพรุนเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ อย่างไรก็ตาม การใช้เศษอิฐมอญบดแทนที่มวลรวมละเอียดปกติในปริมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดปกติ สามารถต้านทานการกักกร่อนได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับคอนกรีตอื่น

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมแผนปฏิบัติการด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน. 66 FRB6612/2566) ที่สนับสนุนทุนวิจัย ศูนย์วิจัยโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น และภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้คำแนะนำด้านวัสดุและเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. Kae-Long L, Bor-Yann C, Chyow-San C, Cheng An. Waste brick's potential for use as a pozzolan in blended Portland cement. *Waste management & research*. 2010; 28(7): 647-652.
2. Kae-Long L, Hsiu-Hsien W, Je-Lueng S, Chao-Lung H, Cheng An. Recycling waste brick from construction and demolition of buildings as pozzolanic materials. *Waste management & research*. 2010; 28(7): 653-659.
3. Chaisakulkiet U, MakaratAt N, Rukzon S. Development of aggregate from bottom ash in environmentally friendly concrete. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 2022; 32(2): 101-108.
4. Kasemchaisiri R, Tangtermsirikul S. Properties of self-compacting concrete incorporating bottom ash as a partial replacement of fine aggregate. *ScienceAsia*. 2008; 34: 87-95.
5. Yuksel I, Turhan B, Ozkan O. Durability of concrete incorporating non-ground blast furnace slag and bottom ash as fine aggregate. *Building and Environment*. 2007; 42(7): 2651-2659.



6. Andrade L, Rocha J, Cheriaf M. Influence of coal bottom ash as fine aggregate on fresh properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 2009; 23(2): 609-614.
7. Abhishek S, Khurana G. Strength evaluation of cement concrete using bottom ash as a partial replacement of fine aggregates. *International Journal of Science Engineering and Technology*. 2015; 3(6): 189-194.
8. Sanjith J, Kiran B, Chethan G, Mohan Kumar K. A study on mechanical properties of latex modified high strength concrete using bottom ash as a replacement for fine aggregate. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*. 2015; 3(6): 114-121.
9. Rafieizonooz M, Mirza J, Salim M, Hussin M, Khankhaje E. Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement. *Construction and Building Materials*. 2016; 116: 15-24.
10. Navdeep S, Mithulraj M, Shubham A. Influence of coal bottom ash as fine aggregates replacement on various properties of concretes: A review. *Resources, Conservation and Recycling*. 2018; 138: 2018; 257-271.
11. Kim H, Lee H. Use of power plant bottom ash as fine and coarse aggregates in high-strength concrete. *Construction and Building Materials*. 2011; 25: 1115-1122.
12. ASTM C33. Standard Specification Concrete Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards*. 2005; 04.02: 10-20.
13. ASTM C136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards*. 2005; 04.02: 88-92.
14. ASTM C39. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *Annual Book of ASTM Standards*. 2005; 04.02: 21-27.
15. ASTM C642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*. 2005; 04.02: 338-340.
16. 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 Journal Science*. 2018; 5(4): 1863-1874.
17. Chindapasirt P, Chottitanorm C, Rukzon S. Use of palm oil fuel ash to improve chloride and corrosion resistance of high-strength and high-workability concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2011; 23(4): 499-503.
18. Chindapasirt P, Rukzon S. Strength and chloride penetration of Portland cement mortar containing rice husk ash and ground river sand. *Materials and Structures*. 2015; 48(11): 3771-3777.
19. Chaisarn S, Rukzon S, Chindapasirt P. Properties of Concrete Containing High Impact Polystyrene Plastics Coarse Aggregate. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*. 2021; 21(4): 110-119.



20. Neville AM. Properties of concrete. 4th and Final Edition, Malaysia: Longman Group Limited. 1995.
21. Rukzon S, Chindapasirt 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): 242-247.
22. MakaratAt N, Rukzon S, Chindapasirt P. Effects of delay time and curing temperature on compressive strength and porosity of ground bottom ash geopolymer mortar. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 2021; 31(3): 134-142.