Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Vol. 5, No. 1, January - June, 2014

การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย

รัฐพล สมนา[1] ชุติพงศ์ เอื้อฐิตาภรณ์[2] และ สุขสันติ์ หอพิบูลสุข[3*]

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้เศษอิฐมวลรวมเบาในการผลิตคอนกรีต ตัวอย่างคอนกรีตทดสอบที่ใช้มวลรวมละเอียดทั้งสองประเภท เตรียมที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.40 0.50 และ 0.60 และการยุบตัวในช่วง 5 ถึง 10 ซม. ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตทดสอบที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าการลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายแปรผันตามการเพิ่มขึ้นของ W/C โดยแปรผันตามอายุบ่มน้อยมาก การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตส่งผลต่อการลดลงของกำลังอัดน้อยกว่าการใช้เศษอิฐมวลเบาแทนทรายในส่วนผสมคอนกรีต โดยที่ W/C เดียวกัน พบว่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ลดลงถึงร้อยละ 55 สำหรับ W/C เท่ากับ 0.40 ร้อยละ 62 สำหรับ W/C เท่ากับ 0.50 และร้อยละ 80 สำหรับ W/C เท่ากับ 0.60 หรือกำลังอัดมีค่าเท่ากับ 151 120 และ 60 กก/ซม^2 สำหรับการประยุกต์ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายในส่วนผสมคอนกรีต อาจต้องพิจารณาถึงปริมาณที่จะใช้แทนทราย และปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กำลังอัดตามต้องการและเหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้

คำสำคัญ: คอนกรีต, กำลังอัด, อิฐมวลเบา, รีไซเคิล

[1] อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2] นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[3] ศาสตราจารย์ หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร. 0-4422-4322, อีเมล: suksun@g.sut.ac.th

A Study of Compressive Strength of Concrete Using Recycled Lightweight Brick to Fully Replace Sand

Rattapon Somna[1] Chutipong Euathitaporn[2] and Suksun Horpibulsuk[3*]

Abstract

This research studied on compressive strength of concrete using recycled lightweight brick to fully replace sand in order to investigate the possibility of usage of recycled lightweight brick for manufacturing concrete. Both concrete samples were prepared at water to cement ratios (W/C) of 0.40, 0.50, and 0.60 with slump in the range of 5 to 10 cm. The compressive strength of concrete samples was measured at 7, 14, and 28 days. The results revealed that strength reduction of concrete using recycled lightweight brick is mainly dependent upon W/C ratio, regardless of curing time. Use of recycled lightweight brick in concretes affected the reduction of compressive strength more than the increase of W/C ratio. At 28 days, the compressive strength of concrete using recycled lightweight brick with W/C ratios of 0.40, 0.50, and 0.60 decreased from the compressive strength of concrete using river sand with the same W/C ratio about 55, 62, and 80%, respectively or having the compressive strength of 151, 120, and 60 ksc, respectively. Use of recycled lightweight brick as fine aggregate in concrete should consider the quantity of recycled lightweight brick and the W/C ratio in order to obtain the required compressive strength and be suitable for the application.

Keywords: Concrete, Compressive Strength, Lightweight Brick, Recycle

[1] Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan

[2] M.Eng Scholar, Construction and Infrastructure Management Program, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

[3] Professor, Construction and Infrastructure Management Program, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

* Corresponding Author Tel. 0-4422-4322, E-mail: suksun@g.sut.ac.th

1. บทนำ

การใช้วัสดุรีไซเคิลกำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากการใช้วัสดุรีไซเคิลเป็นการลดการทำลายธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รวมถึงเป็นการนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์แทนที่จะทิ้งให้กลายเป็นขยะจำนวนมาก เศษคอนกรีตจัดเป็นขยะจากอุตสาหกรรมก่อสร้างประเภทหนึ่งที่มีศึกษาและวิจัยเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปของมวลรวมหยาบในการผลิตคอนกรีต งานวิจัยส่วนใหญ่พบว่ามวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตมีความแข็งแกร่งที่ต่ำกว่าและมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่ามวลรวมหยาบธรรมชาติ [1-3] การใช้เศษคอนกรีตในการผลิตคอนกรีต ในปริมาณไม่เกินร้อยละ 20 ถึง 30 โดยน้ำหนัก ส่งผลกระทบด้านกำลังอัดของคอนกรีตน้อยมาก [4-6]

งานวิจัยในอดีตแสดงให้เห็นว่าการใช้เศษคอนกรีตส่งผลกระทบอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ยกตัวอย่างเช่น ทำให้คอนกรีตต้องการปริมาณน้ำในการผสมเพิ่มขึ้นและทำให้คอนกรีตสูญเสียค่าการยุบตัวเร็ว [7] เนื่องจากมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูง นอกจากนี้ยังทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงอย่างมาก เนื่องจากมวลรวมละเอียดมีมอร์ต้าร์และฝุ่นปะปนอยู่จำนวนมาก [8]

นอกจากการใช้เศษคอนกรีตแล้ว ยังมีงานวิจัยที่นำเศษอิฐดินเหนียวเผามาเป็นมวลละเอียด [6] การนำเศษโฟม ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต เพื่อเป็นแนวทางในการนำเศษโฟมมาใช้ให้เกิดประโยชน์และยังเป็นการลดปริมาณปัญหาขยะอีกด้วย [9] อิฐมวลเบาเป็นอีกวัสดุหนึ่งที่มีแนวโน้มว่าจะกลายเป็นเศษขยะจากการรื้อถอนอาคารในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาถึงผลกระทบของการใช้เศษอิฐมวลเบาที่ผ่านการย่อยเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายต่อกำลังอัดของคอนกรีต อันนำมาซึ่งความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดในการผลิตคอนกรีต เพื่อประโยชน์ในเชิงวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม

2. วัสดุและวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุ วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- ทรายแม่น้ำ (S) เป็นทรายจากบ่อทรายในจังหวัดนครราชสีมา แสดงดังรูปที่ 1
- มวลรวมละเอียดจากการย่อยเศษอิฐมวลเบา (RS) ซึ่งมีขนาดโตสุดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 และค้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 ดังแสดงในรูปที่ 2
- หินปูนย่อย (C) ที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 19 มม.

รูปที่ 1 ทรายแม่น้ำ

รูปที่ 2 มวลรวมละเอียดจากการย่อยเศษอิฐมวลเบา

2.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างและทดสอบ

งานวิจัยนี้ใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน ประมาณ 1 : 3 : 5 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีต 3 ค่า คือ 0.40 0.50 และ 0.60 กำหนดการยุบตัวของคอนกรีตสดให้อยู่ในช่วง 5 ถึง 10 ซม. ส่วนผสมคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 1 คอนกรีตในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือคอนกรีตที่ใช้หินปูน

ธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบและทรายแม่น้ำ (ใช้สัญลักษณ์ CS) และคอนกรีตที่ใช้หินปูนธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจากการย่อยเศษอิฐมวลเบา (ใช้สัญลักษณ์ CRS)

ตัวอย่างคอนกรีตทดสอบเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 ซม. ตัวอย่างคอนกรีตจะถูกบ่มในน้ำหลังจากถอดแบบ และเมื่อได้อายุบ่มครบ 7 14 และ 28 วัน จะถูกนำได้ทดสอบกำลังอัด

ตารางที่ 1 ส่วนผสมคอนกรีต

Mix	Mix Proportion of Concretes (kg/m^3)				W/C
	Cement	C	S	RS	
0.4_CS	283	1265	666	-	0.40
0.5_CS	275	1230	647	-	0.50
0.6_CS	268	1197	630	-	0.60
0.4_CRS	311	1391	-	525	0.40
0.5_CRS	302	1349	-	510	0.50
0.6_CRS	293	1310	-	495	0.60

3. ผลทดสอบและการวิเคราะห์ผล

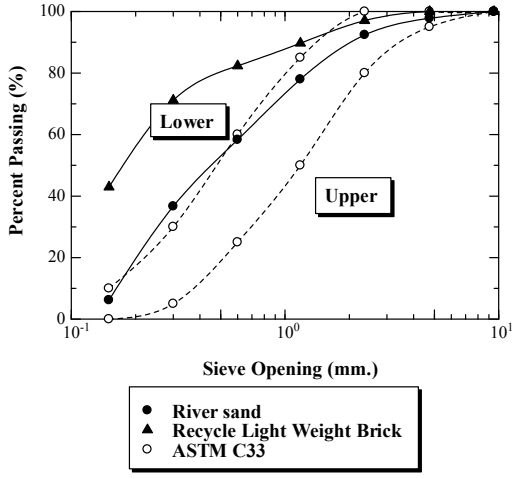
3.1 คุณสมบัติจำเพาะของมวลรวม

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ของทราย (S) และเศษอิฐมวลเบา (RS) มีค่าเท่ากับ 2.30 และ 1.16 ตามลำดับ มวลรวม RS มีความละเอียดสูงกว่าทรายประมาณ 2 เท่า การกระจายขนาดอนุภาคของมวลรวมละเอียดทั้งสองแสดงในรูปที่ 3 ความถ่วงจำเพาะของทรายและมวลรวม RS มีค่าเท่ากับ 2.60 และ 2.05 ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำของมวลรวม RS ส่งผลให้หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ของมวลรวม RS ต่ำตามไปด้วย หน่วยน้ำหนักของมวลรวม RS มีค่าเท่ากับ 825 กก/ม^3 ในขณะที่ หน่วยน้ำหนักของทรายมีค่าเท่ากับ 1647 กก/ม^3 มวลรวม RS มีค่าการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูง โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 42.96 ซึ่งมีค่าสูงกว่าทรายประมาณ 29 เท่า

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของมวลรวมที่ใช้ในการวิจัย

Properties	S	RS	C
Fineness Modulus	2.30	1.16	6.45
Specific Gravity (SSD)	2.60	2.05	2.68
Absorption (%)	1.48	42.96	1.44
Unit Weight (kg/m^3)	1647	825	1564

โมดูลัสความละเอียดของมวลรวม RS มีค่าที่ต่ำเนื่องจากทรายที่ใช้ในการผลิตอิฐมวลเบาเป็นทรายเม็ดละเอียด ซึ่งกระบวนการบดย่อยเศษอิฐมวลเบาทำให้ได้อนุภาคของทรายละเอียดมีขนาดเล็กลง ซีเมนต์เพสต์ (ความพรุนสูง) ที่เกาะบนผิวของมวลรวม RS ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวม RS ต่ำและมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง



รูปที่ 3 การกระจายตัวของมวลรวมละเอียดเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C 33

หินปูนย่อยมีค่าโมดูลัสความละเอียดและค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 6.45 และ 2.68 ตามลำดับ มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 1.44 และมีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1564 กก/ม^3

3.2 กำลังอัดของคอนกรีต

เมื่อพิจารณาผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 พบว่าคอนกรีตที่ใช้หินปูนย่อยและทราย และใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40 (คอนกรีต 0.40_CS) มีค่ากำลังอัดสูงที่สุด โดยกำลังอัด

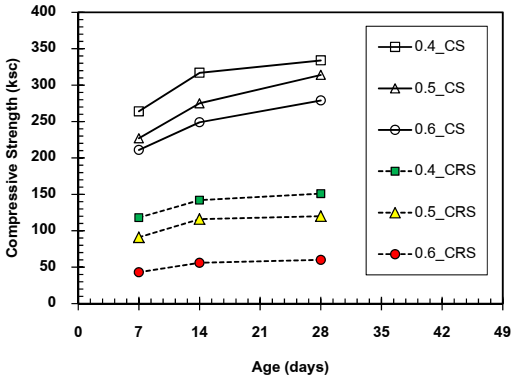
มีค่าเท่ากับ 264 317 และ 333 กก/ซม^2 ที่อายุบ่ม 7 14 และ 28 วัน ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.50 และ 0.60 กำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วัน ของคอนกรีต 0.5_CS และ 0.6_CS มีค่าเท่ากับ 314 และ 279 กก/ซม^2 ตามลำดับ กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อแทนที่ทรายด้วยเศษอิฐมวลเบา ดังจะเห็นได้จากผลทดสอบในรูปที่ 4 คอนกรีตกลุ่ม CRS มีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเช่นเดียวกันกับคอนกรีตกลุ่ม CS กำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีต 0.4_CRS 0.5_CRS และ 0.6_CRS มีค่าเท่ากับ 151 120 และ 60 กก/ซม^2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีต

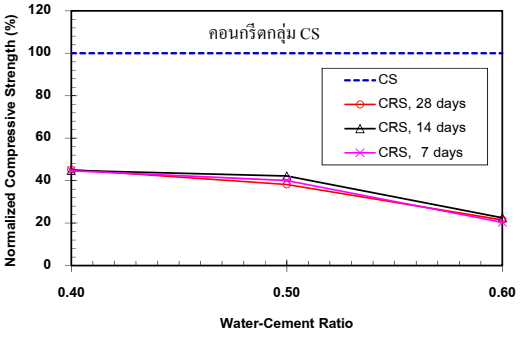
Concrete	Compressive Strength (ksc)		
	7 days	14 days	28 days
0.4_CS	264	317	333
0.4_CRS	118	142	151
0.5_CS	227	275	314
0.5_CRS	91	116	120
0.6_CS	211	249	279
0.6_CRS	43	56	60

3.2.1 ผลกระทบจากการใช้มวลรวมละเอียดจากการย่อยเศษอิฐมวลเบาแทนทรายต่อกำลังอัดของคอนกรีต

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละกำลังอัด (ได้จากการเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตกลุ่ม CRS กับคอนกรีตกลุ่ม CS ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เดียวกัน) และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีต เพื่อศึกษาผลกระทบจากการใช้มวลรวม RS ต่อกำลังอัดของคอนกรีต การใช้มวลรวม RS ในส่วนผสมคอนกรีต มีผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะในคอนกรีตที่ใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมที่สูง (W/C = 0.60) ร้อยละกำลังอัดมีค่าแปรผันตาม W/C และแทบไม่แปรผันตามอายุบ่ม ร้อยละกำลังอัดมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่า W/C กำลังอัดของคอนกรีต 0.4_CRS มีค่าต่ำกว่าคอนกรีต 0.4_CS ประมาณร้อยละ 55 คอนกรีต 0.5_CRS มีค่าต่ำกว่าคอนกรีต 0.5_CS ประมาณร้อยละ 58 ถึง 62 และคอนกรีต 0.6_CRS มีค่าต่ำกว่าคอนกรีต 0.6_CS ประมาณร้อยละ 77 ถึง 80



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุของคอนกรีต

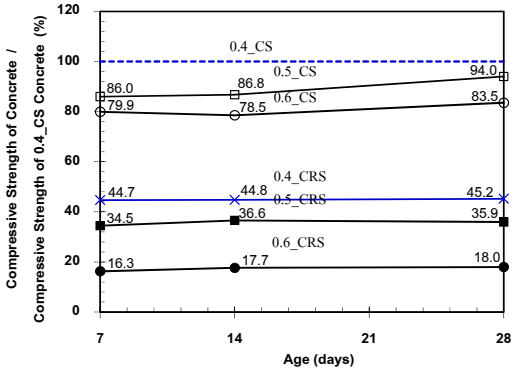


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีต

3.2.2 ผลกระทบจากการใช้มวลรวมละเอียดจากการย่อยเศษอิฐมวลเบาและการเพิ่มขึ้นของ W/C

รูปที่ 6 แสดงค่าร้อยละกำลังอัดของคอนกรีตเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีต 0.4_CS ที่อายุเดียวกัน เพื่อแสดงถึงผลกระทบของการใช้มวลรวม RS และปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมร่วมกันต่อกำลังอัดของคอนกรีต การเพิ่มปริมาณน้ำในการผสมจาก W/C เท่ากับ 0.45 เป็น 0.55 และ 0.65 ลดลงกำลังอัดของคอนกรีตลงประมาณ

ร้อยละ 6 ถึงร้อยละ 14 และประมาณร้อยละ 16 ถึงร้อยละ 21 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ร้อยละกำลังอัดของคอนกรีตเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีต 0.4_CS ที่อายุเดียวกัน

อิทธิพลของการแทนที่เศษอิฐมวลเบาต่อกำลังอัดของคอนกรีตแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนจากอัตราส่วนกำลังอัด กำลังอัดของคอนกรีต CRS ที่ใช้ W/C เท่ากับ 0.40 มีค่าเหลือประมาณร้อยละ 45 ของคอนกรีต 0.4_CS ที่อายุเดียวกัน คอนกรีต CRS ที่ใช้ W/C เท่ากับ 0.50 มีค่ากำลังอัดเหลือประมาณร้อยละ 34 ถึงร้อยละ 37 ของคอนกรีต 0.4_CS ที่อายุเดียวกัน และคอนกรีต CRS ที่ใช้ W/C เท่ากับ 0.60 มีค่ากำลังอัดเหลือประมาณร้อยละ 16 ถึงร้อยละ 18 ของคอนกรีต 0.4_CS ที่อายุเดียวกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจาก W/C เท่ากับ 0.40 เป็น 0.50 และ 0.60 มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดน้อยกว่าการใช้มวลรวม RS อย่างชัดเจน

การลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำเป็นไปตามกฎของ Abram [10] ที่กล่าวว่ากำลังอัดลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณน้ำเป็นการเพิ่มปริมาณช่องว่างในเนื้อคอนกรีต ทำให้ปริมาณน้ำส่วนเกินไปแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีต ที่รู้จักในชื่อว่าโพรงคาพิลลารี่ ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตที่มากจะส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียด RS มีค่าลดลง เนื่องจากมวลรวม RS มีความแข็งแกร่งต่ำกว่าทราย และเศษมอร์ต้าที่ติดบนเศษอิฐมวลเบามีความพรุนสูง ความพรุนที่สูงเกิดจากฟองอากาศที่เติมเข้าไปในขบวนการผลิตอิฐมวลเบา แม้เศษอิฐมวลเบาจะถูกย่อยจนมีขนาดลงแล้วก็ตาม ฟองอากาศยังคงปนอยู่ในอนุภาคของมวลรวม RS ดังจะสังเกตได้จากค่าความถ่วงจำเพาะที่มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับทราย

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดสอบ สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 การลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายแปรผันตามการเพิ่มขึ้นของ W/C โดยแปรผันตามอายุบ่มน้อยมาก

4.2 ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมคอนกรีตมีผลกระทบต่อการลดลงของค่ากำลังอัดน้อยกว่าการใช้มวลรวมละเอียดจากเศษอิฐมวลเบาแทนทราย

4.3 การใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงอย่างมาก ที่ W/C เดียวกัน พบว่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ลดลงถึงร้อยละ 55 สำหรับ W/C เท่ากับ 0.40 ร้อยละ 62 สำหรับ W/C เท่ากับ 0.50 และร้อยละ 80 สำหรับ W/C เท่ากับ 0.60 หรือกำลังอัดมีค่าเท่ากับ 151 120 และ 60 กก/ซม^2

4.4 การประยุกต์ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายอาจต้องพิจารณาถึงปริมาณที่จะใช้แทนทราย และปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กำลังอัดตามต้องการและเหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ประพันธ์ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานและสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดนครราชสีมา สำหรับความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์และเครื่องทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] C.S. Poon, S.C. Kou and L. Lam, “Use of Recycled Aggregates in Molded Concrete Bricks and Blocks”, Construction and Building Materials 16, 2002, pp. 281-289.

[2] A. Shayan and A. Xu, "Performance and Properties of Structural Concrete Made with Recycled Concrete Aggregate", ACI Materials Journal 100(5), 2003, pp.371-380.

[3] R. Somna, C. Jaturapitakkul and A.M. Amde, "Effect of Ground Fly Ash and Ground Bagasse Ash on The Durability of Recycled Aggregate Concrete", Cement and Concrete Composites 34, 2012, pp. 848-854.

[4] M. Etxeberria, A.R. Mari and E. Vazquez, "Recycled Aggregate Concrete as Structural Material", Materials and Structures 40(5), 2007, pp. 529-541.

[5] M.C. Limbachiya, T. Leelawat and R.K. Dhir, "Use of Recycled Aggregate Concrete Aggregate in High-Strength Concrete", Materials and Structures 33, 2000, pp. 574-580.

[6] S.M. Levy and P. Helene, "Durability of Recycled Aggregates Concrete A Safe Way to Sustainable Development", Cement and Concrete Research 34, 2004, pp.1975-1980.

[7] W. Tangchirapat, R. Buranasing, C. Jaturapitakkul and P. Chindaprasirt, "Influence of Rice Husk-Bark Ash on Mechanical Properties of Concrete Containing High Amount of Recycled Aggregates, Construction and Building Materials 22(8), 2008, pp. 1812-1819.

[8] V.M. Malhotra, "The Use of Recycled Concrete as A New Aggregate", Proceedings of Symposium, Energy and Resource Conservation in The Cement and Concrete Industry, Canmet, Ottawa, 1976.

[9] สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ, "การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต", วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 2 ฉบับที่ 4, กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม 2549, หน้า 65 – 69.

[10] D.A. Abrams, "Design of Concrete Mixture", Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicogo, Revised Edition, 1918.