การศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลแทนที่มวลรวมธรรมชาติด้วยอัตราส่วนผสมเดียวกัน

Comparative Study on Compressive Strength of Concrete Using the Recycled Aggregates as Coarse Aggregate Replacement of Stone Aggregates with same Mix Proportion

พนารัตน์ แสงปัญญา[1]

บทคัดย่อ

มวลรวม มีปริมาตร 70-80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมดของคอนกรีต มวลรวมถูกขนส่งมายังโรงงานผลิตคอนกรีต สร้างค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ มวลรวมจากการทุบทำลายอาคารเพื่อพัฒนาพื้นที่ซึ่งกำลังเกิดขึ้นในปัจจุบัน สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เป็นคอนกรีตได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของ Recycled aggregate คอนกรีต กับ หินธรรมชาติ โดย ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิล Class M ทดแทนที่หินธรรมชาติในอัตราส่วนผสมเดียวกัน โดยเตรียมตัวอย่างคอนกรีต 2 ส่วนผสม Mix Proportion A คือ 1 : 2 : 4 และ Mix Proportion B คือ 1 : 1.5 : 3 ในแต่ละส่วนผสม ใช้มวลรวม 2 ชุด คือ มวลรวมธรรมชาติ และมวลรวมหยาบรีไซเคิลเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน BS 1881-108:1983 บ่มในน้ำที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน แล้วทดสอบกำลังอัด ผลการศึกษาพบว่า กำลังของคอนกรีตที่ทดแทนมวลรวมหยาบธรรมชาติโดยมวลรวมหยาบรีไซเคิล Class M มีค่ากำลังใกล้เคียงคอนกรีตจากมวลธรรมชาติเมื่ออายุบ่มน้อย จากนั้นการพัฒนากำลังจะเกิดช้ากว่าเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น และมีค่ากำลังน้อยกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติในระยะยาว ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล มีค่าต่ำกว่าของคอนกรีตจากมวลธรรมชาติ ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น เมื่อจะนำมวลรวมหยาบรีไซเคิล ไปใช้งานกับคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล ควรเผื่อกำลังไว้อีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

ABSTRACT

Aggregates have a volume of 70-80% of the total amount of concrete mixture. The aggregates are transported to the concrete plants which create costs of environmental and economic. Aggregates from the destruction of buildings to develop areas can be reused as concrete. The objective of this study is to compare the compressive strength of recycled aggregate concrete with natural aggregate by using recycled coarse aggregates Class M to substitute natural aggregate at the same mixing proportion. The mix proportions for this study are Mix Proportion A (1: 2: 4) and Mix Proportion B (1: 1.5: 3) by volume.

คำสำคัญ: คอนกรีตนำกลับมาใช้ใหม่ กำลังคอนกรีต มวลรวมรีไซเคิล คอนกรีตรีไซเคิล

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

The natural aggregates and recycle coarse aggregates were used in mix proportion. The concrete samples were prepared according to BS 1881-108: 1983 and curing in water for age of 3, 7, 14 and 28 days before testing the compressive strength. The results showed that the strength of concrete from the Class M recycled aggregates had the approximate strength of concrete from natural aggregate at the beginning of curing age. Its strength develops slowly after 7 days curing and has the strength lower than concrete from natural aggregates at the age of 28 days about 10 percent. From the results, we can conclude that recycled aggregate Class M can be used as coarse aggregate for concrete by provide its strength about 10 percent more expected as natural concrete.

Keywords: concrete reused, concrete strength, recycled aggregate, recycled concrete

บทนำ

มวลรวมในคอนกรีตมีประมาณ 70% ของปริมาตร มวลรวมหินและทรายจึงถูกขนส่งมายังโรงงานผลิตคอนกรีต เป็นการสร้างค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ การใช้มวลรวมรีไซเคิลผลิตคอนกรีตเริ่มขึ้นตั้งแต่สิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่สอง เศษซากจากการรื้อผิวทางคอนกรีต ฐานรากอาคารและสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างน่าพอใจทั่วโลก (Olorunsogo and Padayachee, 2002) การใช้คอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตลดลงเมื่อเทียบกับการใช้มวลรวมธรรมชาติ (เทอดศักดิ์, 2559)(Kang and Weibin, 2018) อันเป็นผลมาจากค่าการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น และหน่วยน้ำหนักที่ลดลง (Nixon, 1997) คุณภาพความคงทนของคอนกรีตลดลงเมื่อปริมาณมวลรวมรีไซเคิลเพิ่มขึ้นในส่วนผสม อย่างไรก็พบว่าคุณภาพดีขึ้นตามอายุของการบ่ม (Olorunsogo and Padayachee, 2002)

จากการศึกษาข้างต้นพบว่ามวลรวมรีไซเคิลสามารถนำกลับมาใช้ใหม่เป็นคอนกรีตได้ โดยต้องทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมก่อน ในประเทศไทยยังไม่มีการจำแนกกลุ่มของมวลรวมรีไซเคิลไว้เป็นมาตรฐานเพื่อควบคุมการใช้ในงานก่อสร้างที่เหมาะสม สำหรับในประเทศญี่ปุ่น ได้จำแนกประเภทของมวลรวมรีไซเคิลสำหรับคอนกรีตไว้ 3 ระดับ คือ Class H (JIS A 5021), Class M (JIS A 5022) และ Class L (JIS A 5023) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลแทนที่มวลรวมธรรมชาติโดยใช้อัตราส่วนผสมเดียวกัน โดยใช้มวลรวมรีไซเคิล Class M อิงตามมาตรฐานข้างต้น เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ด้านกำลังอัดและหาค่าปรับแก้ในการออกแบบส่วนผสมในการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นคอนกรีตอีกครั้งของมวลรวมรีไซเคิล ด้วยการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตตามส่วนผสม 2 ส่วนผสม แต่ละส่วนผสมใช้มวลรวม 2 ชุด ชุดที่หนึ่งใช้มวลรวมธรรมชาติ (หินและทราย) ชุดที่สองแทนที่มวลรวมหยาบด้วยมวลรวมรีไซเคิล (มวลรวมหยาบรีไซเคิลและทราย) ทดสอบกำลังของตัวอย่างทั้ง 2 ชุด เปรียบเทียบกำลังของคอนกรีต และค่าความต่าง หาความสัมพันธ์และตัวแปรปรับแก้ การศึกษาในครั้งนี้น่าจะเป็นประโยชน์ต่อประเทศที่จะลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นการใช้วัสดุอย่างคุ้มค่า

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเพิ่มมูลค่าของคอนกรีตที่ทุบทำลาย
2. ศึกษากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติและจากมวลรวมหยาบรีไซเคิล Class M เมื่อใช้แทนที่ในอัตราส่วนผสมเดียวกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลแทนที่มวลรวมธรรมชาติด้วยอัตราส่วนผสมเดียวกัน นี้ ใช้มวลรวมหยาบจากการทุบทำลายของสิ่งก่อสร้างที่เป็นอาคารห้างสรรพสินค้า

ซึ่งเริ่มเปิดบริการตั้งแต่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2526 ปิดบริการเริ่มทุบทำลายในวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2561 (https://th.wikipedia.org/wiki/เดอะมอลล์, 2562) ช่วงเวลาที่นำมาศึกษาเป็นมวลรวมนำกลับมาใช้ใหม่นี้อยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 คิดเป็นอายุโดยประมาณของมวลรวมรีไซเคิล 35 ปี โดยใช้มวลรวมจากส่วนของคานและเสาของอาคาร จากนั้นทำการคัดเลือกมวลรวมหยาบที่มีคุณสมบัติตรงตาม Class M ที่อิงตามมาตรฐาน JIS A 5022:2018 Recycled aggregate concrete-Class M เพื่อนำมาใช้ศึกษา

1. มวลรวม

มวลรวมหรือวัสดุผสมคือวัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน ทราย กรวด มวลรวมมีปริมาตร 70-80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด จึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมาก สำหรับมวลรวมหยาบที่ศึกษา มี 2 ชนิด คือ

1) มวลรวมหยาบธรรมชาติ (Natural coarse aggregate, NA)
2) มวลรวมหยาบรีไซเคิล (Recycled coarse aggregate, RA) โดยจะใช้ทดแทน 100 เปอร์เซ็นต์

คุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมหยาบที่ใช้ศึกษา และค่าอ้างอิงตามมาตรฐาน JIS A 5022:2018 แสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 แสดงลักษณะของมวลรวมหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ใช้ศึกษา

ตารางที่ 1 Physical properties of aggregates

Test items	NA	RA	RA
		Class M	
		(JIS A 5022)	
Density in oven-dry condition, g/cm^3	2.68	2.3 min.	2.38
Water absorption, %	1.19	5.0 max.	4.22
Content of material finer than 75 μm sieve, %	0.23	2.0 max.	0.87

ก) มวลรวมหยาบธรรมชาติ ข) มวลรวมหยาบรีไซเคิล Class M

ภาพที่ 1 มวลรวมหยาบที่ใช้ศึกษา

2. อัตราส่วนผสมคอนกรีต

ปฏิภาคสัดส่วนผสมของคอนกรีตในแต่ละชุดที่ศึกษานี้ กำหนดให้คอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติและคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลทดแทนมีลักษณะเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้:

- ใช้ปริมาณซีเมนต์เท่ากัน
- ความสามารถเทได้ (workability) เท่ากัน
- ขนาดโตสุดของมวลรวม เท่ากัน (20 มิลลิเมตร)
- การกระจายขนาดของมวลรวมเดียวกัน
- ชนิดของมวลรวมละเอียดเดียวกัน

สัดส่วนผสมคอนกรีตแบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ สัดส่วนผสมโดยปริมาตร, Prescribed Mix,

Design Mix และสัดส่วนมาตรฐาน (Standard Mix) การศึกษานี้ใช้ สัดส่วนผสมโดยปริมาตร 2 ส่วนผสม คือ ปริมาตรของซีเมนต์ : ทราย : มวลรวมหยาบ ดังนี้

- 1 : 2 : 4 เรียกว่า Mix Proportion A
- 1 : 1.5 : 3 เรียกว่า Mix Proportion B

3. ตัวอย่าง อายุการบ่มและจำนวน

ตัวอย่างคอนกรีตลูกบาศก์ ถูกเตรียมโดยแบบหล่อและวิธีการตามมาตรฐาน BS 1881-108:1983 - Testing concrete. Method for making test cubes from fresh concrete. ขนาด 150x150x150mm ทาเคลือบผิวแบบหล่อด้วยน้ำมันบางๆ เพื่อป้องการแรงเสียดทานระหว่างหล่อตัวอย่างและถอดแบบ

หลังจากคอนกรีตเซตตัวในแบบหล่อ 24 ชั่วโมง ถอดแบบออกแล้วบ่มในน้ำที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

จำนวนตัวอย่างในแต่ละกรณีศึกษา 5 ตัวอย่างต่อกรณีศึกษา แสดงในตารางที่ 2

4. การคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีต

ตัวอย่างคอนกรีตข้างต้นจะถูกนำไปกดทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ในห้องปฏิบัติการคอนกรีต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง โดยเครื่องทดสอบได้รับการ Calibration ตามระยะเวลาบำรุงรักษาเครื่องแล้ว บันทึกค่ากำลังอัดประลัย

ตารางที่ 2 Schedule of Samples Per mix Proportion

Mix Proportion	จำนวนตัวอย่างในแต่ละอายุการบ่ม			
	3 Days	7 Days	14 Days	28 Days
A-NA	5	5	5	5
A-RA	5	5	5	5
B-NA	5	5	5	5
B-RA	5	5	5	5

ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตคำนวณโดยในแต่ละ 1 กรณีศึกษา ซึ่งมี 5 ตัวอย่าง ได้ผลค่ากำลังอัดประลัย 5 ค่า จะตัดค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ออกแล้วนำค่ากำลังที่เหลือ 3 ค่า ที่มีค่าตรงกลาง มาใช้หาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย

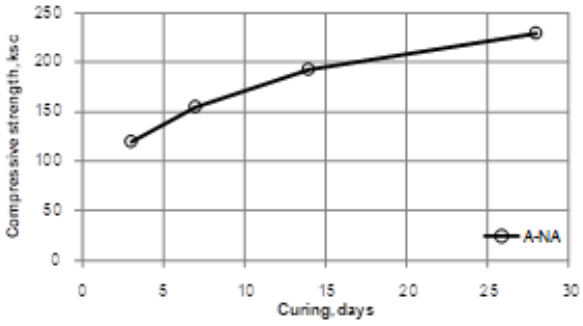
1. กำลังของคอนกรีตส่วนอัตราผสม A

กรณีการศึกษานี้ใช้ สัดส่วนผสมโดยปริมาตร ส่วนผสม คือ ปริมาตรของซีเมนต์ : ทราย : มวลรวมหยาบ 1 : 2 : 4 เรียกว่า Mix Proportion A ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ (A-NA) ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 2

ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติสัดส่วนผสม A มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น และมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่ที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 229 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

ตารางที่ 3 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ อัตราส่วนผสม A

อายุการบ่ม (Days)	Compressive strength (ksc)
3	119
7	155
14	193
28	229



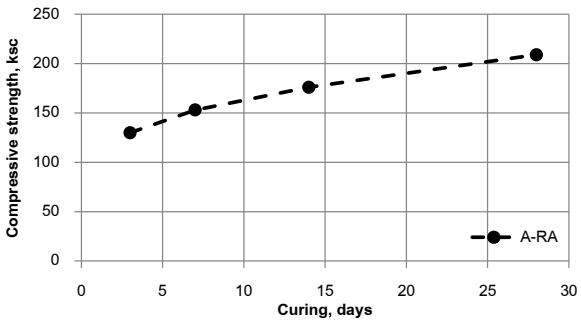
ภาพที่ 2 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ อัตราส่วนผสม A

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล (A-RA) ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 3 ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลทดแทนมวลรวมหยาบธรรมชาติ 100% โดยใช้สัดส่วนผสม A มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น และมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ209 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นการพัฒนากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล ที่อายุบ่ม 3 วัน มีค่ากำลังมากกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติที่อายุบ่มเท่ากัน ในภาพที่ 2 จากนั้นคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลมีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติเมื่ออายุบ่มมากขึ้น และมีลักษณะกำลังเริ่มคงที่เมื่ออายุ 28 วันเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล อัตราส่วนผสม A

อายุการบ่ม (Days)	Compressive strength (ksc)
3	130
7	153
14	176
28	209



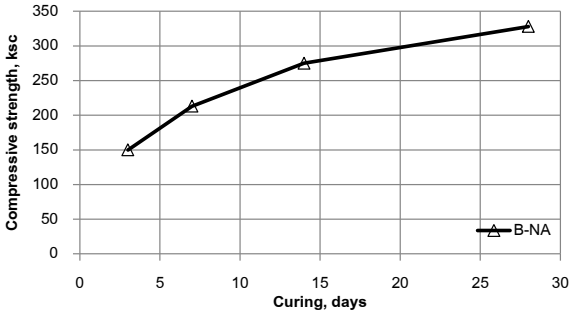
ภาพที่ 3 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ อัตราส่วนผสม A

2. กำลังของคอนกรีตส่วนอัตราผสม B

ส่วนผสม Mix Proportion B คือ ปริมาตรของซีเมนต์ : ทราย : มวลรวมหยาบ เท่ากับ 1 : 1.5 : 3 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ (B-NA) ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 4 ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติสัดส่วนผสม B มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นแบบถดถอย (ความชันกราฟลดลงเมื่ออายุมากขึ้น)

ตารางที่ 5 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ อัตราส่วนผสม B

อายุการบ่ม (Days)	Compressive strength (ksc)
3	150
7	213
14	275
28	328



ภาพที่ 4 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ อัตราส่วนผสม B

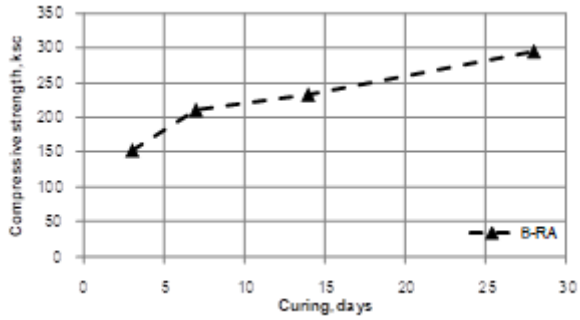
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล (B-RA) ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 6 และภาพที่ 5

ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลทดแทนมวลรวมหยาบธรรมชาติ 100% โดยใช้สัดส่วนผสม B มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้นเช่นกัน และมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 295 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

การพัฒนากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล ที่อายุบ่ม 3 วัน และ 7 วัน มีค่ากำลังมากกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติที่อายุบ่มเท่ากัน ในภาพที่ 4 และ 5 จากนั้น คอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลมีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติเมื่ออายุบ่มมากขึ้น ค่ากำลังเริ่มคงที่เมื่ออายุ 28 วัน และมีค่าต่ำกว่ากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ

ตารางที่ 6 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล อัตราส่วนผสม B

อายุการบ่ม (Days)	Compressive strength (ksc)
3	152
7	211
14	233
28	295



ภาพที่ 5 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ อัตราส่วนผสม B

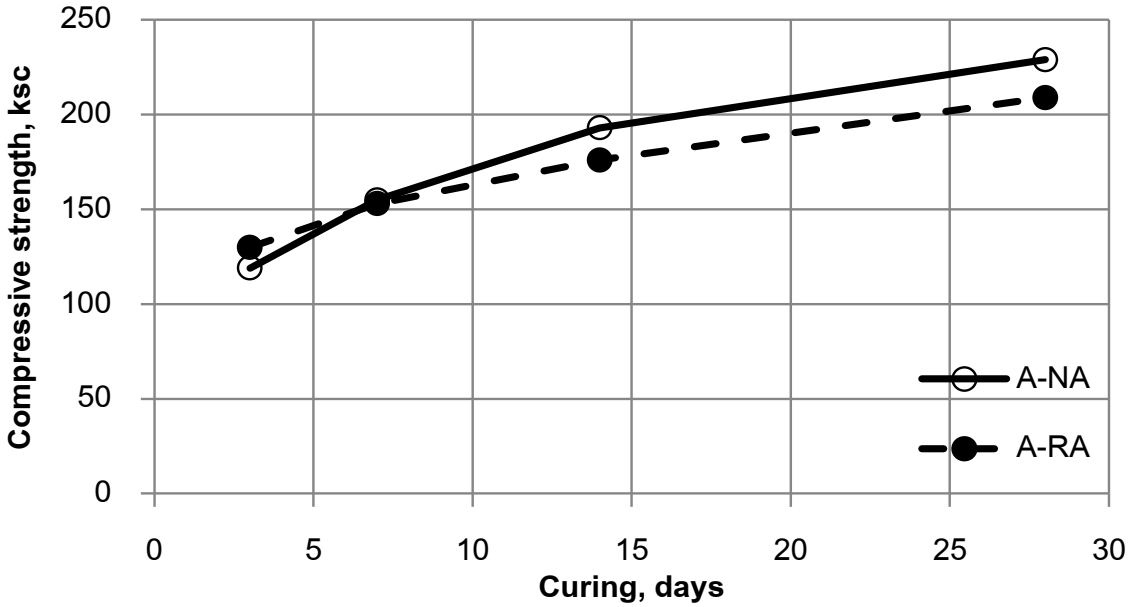
3. เปรียบเทียบกำลังของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติเทียบกับ กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลของอัตราส่วนผสม A คือ 1 : 2 : 4 แสดงในตารางที่ 6 พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลมีค่ามากกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติในช่วงอายุบ่ม 3 วัน จากนั้นมีค่ากำลังต่ำกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ ค่าความแตกต่างของกำลังมีค่า -11 ถึง +20 ksc ค่าลบหมายถึงกำลังคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติมีค่าต่ำว่าคอนกรีตจากมวลรวมหยาบรีไซเคิล ค่าบวกหมายถึงกำลังของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติสูงกว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังมีค่า -9 ถึง +9 เปอร์เซ็นต์ และกล่าวได้ว่าที่อัตราส่วนผสม A ค่ากำลังของคอนกรีตที่ทดแทนมวลรวมหยาบโดยมวลรวมหยาบรีไซเคิล Class M มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออายุบ่ม 28 วัน

ภาพที่ 6 แสดงกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติและจากมวลรวมรีไซเคิลอัตราส่วนผสม A จะเห็นว่ากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลจะมีค่ากำลังสูงกว่าคอนกรีตจากมวลธรรมชาติเมื่ออายุบ่มน้อย จากนั้นการพัฒนากำลังจะเกิดช้ากว่าเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่าค่ากำลังมีค่าใกล้เคียงกันมาก สำหรับสัดส่วนผสมนี้

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติและจากมวลรวมรีไซเคิลอัตราส่วนผสม A

อายุการบ่ม (Days	Compressive strength (ksc)		ค่ากำลังที่ต่างกัน (ksc)	% แตกต่าง
	A-NA	A-RA		
3	119	130	-11	-9.2%
7	155	153	2	1.3%
14	193	176	17	8.8%
28	229	209	20	8.7%

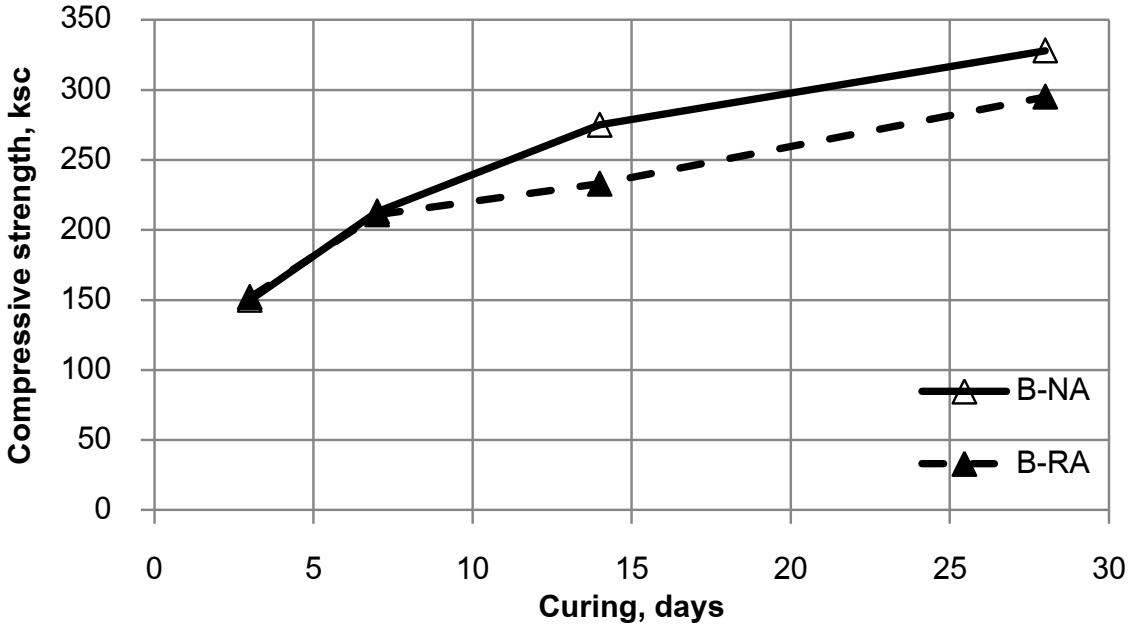


ภาพที่ 6 กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติและจากมวลรวมรีไซเคิลอัตราส่วนผสม A

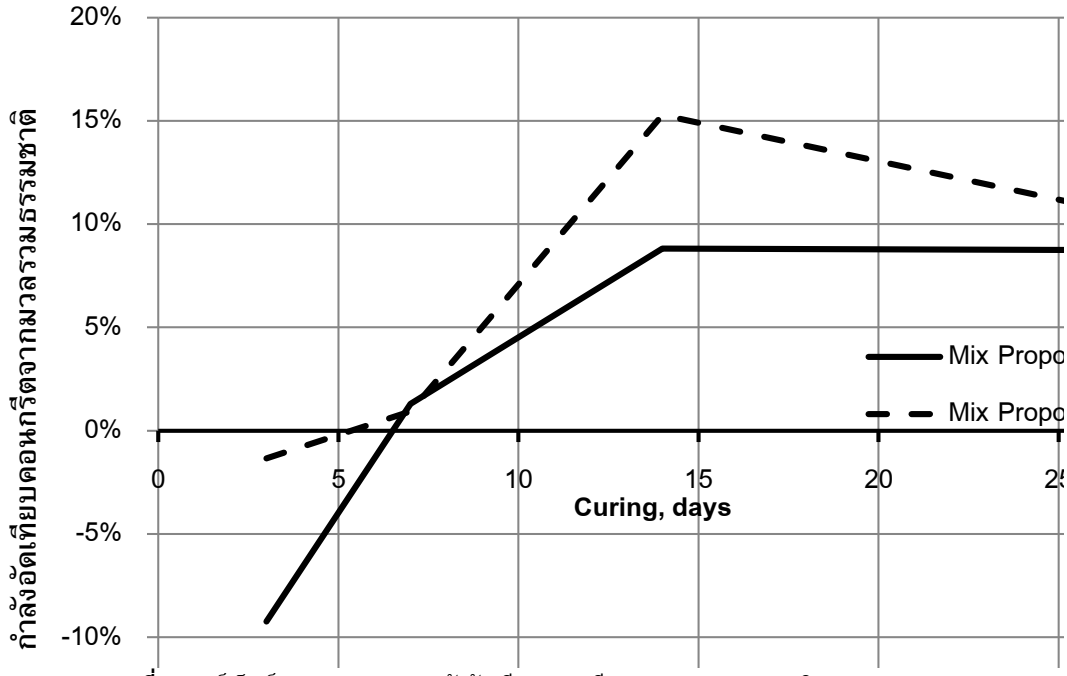
กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติเทียบกับ กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลของอัตราส่วนผสม B คือ 1 : 1.5 : 3 แสดงในตารางที่ 7 พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลมีค่ามากกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติในช่วงอายุบ่ม 3 วัน และ 7 วัน จากนั้นมีค่ากำลังต่ำกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ ค่าความแตกต่างของกำลังมีค่า -2 ถึง +33 ksc ค่าลบหมายถึงกำลังคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติมีค่าต่ำว่าคอนกรีตจากมวลรวมหยาบรีไซเคิล ค่าบวกหมายถึงกำลังของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติสูงกว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลัง มีค่า -1.3 ถึง +10.1 เปอร์เซ็นต์ และกล่าวได้ว่าที่อัตราส่วนผสม B ค่ากำลังของคอนกรีตที่ทดแทนมวลรวมหยาบโดยมวลรวมหยาบรีไซเคิล Class M มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออายุบ่ม 28 วัน เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติและจากมวลรวมรีไซเคิลอัตราส่วนผสม B

อายุการบ่ม (Days	Compressive strength (ksc)		ค่ากำลังที่ต่างกัน (ksc)	% แตกต่าง
	B-NA	B-RA		
3	150	152	-2	-1.3%
7	213	211	2	0.9%
14	275	233	42	15.3%
28	328	295	33	10.1%



ภาพที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติและจากมวลรวมรีไซเคิลอัตราส่วนผสม B



ภาพที่ 8 เปอร์เซ็นต์ความต่างของค่ากำลังอัดเทียบคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ

ภาพที่ 7 แสดงกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติและจากมวลรวมรีไซเคิลอัตราส่วนผสม B จะเห็นว่ากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลจะมีค่ากำลังใกล้เคียงคอนกรีตจากมวลธรรมชาติเมื่ออายุบ่มน้อย จากนั้นการพัฒนากำลังจะเกิดช้ากว่าเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น และมีค่ากำลังน้อยกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติในระยะยาว

ภาพที่ 8 แสดงให้เห็นเปอร์เซ็นต์ความต่างของค่ากำลังอัดจากแต่ละสัดส่วนผสม เทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ โดยสัดส่วนผสม B

ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าสัดส่วนผสม A ค่ากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติของส่วนผสม B (1 : 1.5 : 3) มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 328 ksc เมื่ออายุ 28 วัน และส่วนผสม A (1 : 2 : 4) มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 229 ksc จากกราฟจะเห็นว่า กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลมีค่าน้อยกว่า น้อยมากที่สุด คือ 15 เปอร์เซ็นต์ สำหรับที่อายุ 28 วัน ซึ่งเป็นที่ทราบว่ากำลังของคอนกรีตปกติจะคงที่จากอายุนี้ไป จึงกล่าวได้ว่ามีค่ากำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตจากมวลธรรมชาติ ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น เมื่อจะนำมวลรวมรีไซเคิล ไปใช้งานกับคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล ควรเผื่อกำลังไว้อีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ นั่นเอง

สรุปและวิจารณ์ผล

สามารถเพิ่มมูลค่าของคอนกรีตที่ทุบทำลายจากอาคาร ได้ โดยนำกลับมาใช้ใหม่เป็นมวลรวมรีไซเคิลสำหรับคอนกรีต

กำลังของคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติและจากมวลรวมหยาบรีไซเคิล Class M เมื่อใช้แทนที่ในอัตราส่วนผสมเดียวกัน พบว่า จะเห็นว่ากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลจะมีค่ากำลังใกล้เคียงคอนกรีตจากมวลธรรมชาติเมื่ออายุบ่มน้อย จากนั้นการพัฒนากำลังจะเกิดช้ากว่าเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น และมีค่ากำลังน้อยกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติในระยะยาว ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล มีค่าต่ำกว่าของคอนกรีตจากมวลธรรมชาติประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น เมื่อจะนำมวลรวมรีไซเคิล ไปใช้งานกับคอนกรีตจากมวลรีไซเคิล ควรเผื่อกำลังไว้อีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

การรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์และจรรยาบรรณทางวิชาการ

ผู้วิจัยได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัย จากคณะอนุกรรมการจริยธรรมการวิจัยประจำสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ รหัสโครงการ RU-HS-RESC 0114/62 และในการตรวจสอบการคัดลอก พบดัชนีความเหมือน (Similarity Index) ร้อยละ 0.00

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนรวมถึงการใช้ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณบริษัทเซโซน แห่งประเทศญี่ปุ่น ที่สนับสนุนเครื่องจักรในการคัดแยกคุณภาพของมวลรวมจากการทุบทำลายอาคาร ขอบพระคุณคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยมหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ให้ความรู้ความเข้าใจรวมถึงผลักดันให้เกิดบทความวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

เทอดศักดิ์ สายสุทธิ์. 2559. RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต RCA การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.125-134.

British Standard Institution, 1970. BS 1881: Part 5, Determination of changes in length on drying and wetting.

Japanese Industrial Standard, 2018. JIS A 5022:2018 Recycled aggregate concrete-Class M.

Kang, M. and Weibin, L., 2018. Effect of the Aggregate Size on Strength Properties of Recycled Aggregate Concrete, Advances in Materials Science and Engineering Journal, Volume 2018, Article ID 2428576, 8 pages.

Nixon, P.J., 1997. Recycled concrete as an aggregate for concrete—a review. First state-of-the-art report RILEM TC-37-DRC. Materials and Structures (RILEM), no. 65, pp. 371–378.

Olorunsogo, F.T. and Padayachee, N., 2002. Performance of recycled aggregate concrete monitoring by durability indexes, Cement and Concrete Research 32(2), 179-185.

https://th.wikipedia.org/wiki/เดอะมอลล์, 2562