SWU Engineering Journal (2016) 11(2), 125-132 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2559

กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้วัสดุรีไซเคิลจากขยะผิวทางเป็นมวลรวมหยาบ

Compressive and Splitting Tensile Strengths of Concrete Using Recycled Pavement Waste as Coarse Aggregate

จิระยุทธ สืบสุข* คมกร ไชยเดชาธร ภาณุพงศ์ พันพิพัฒน์ ธนากร ภูเงินขำ
ศูนย์วิจัยเพื่อความก้าวหน้าด้านวิศวกรรมโยธาและวัสดุก่อสร้าง สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง
จังหวัดนครราชสีมา 30000
*Corresponding author: E-mail: jirayut.su@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล (Recycled asphalt pavement, RAP) คือขยะของแข็งจากผิวทางซึ่งได้จากกระบวนการรื้อซ่อมผิวถนน วัสดุ RAP มักนิยมนำมาใช้ในกระบวนการรีไซเคิลทำชั้นทาง แต่วัสดุที่ยังคงเหลือจากการใช้ทำชั้นทางรีไซเคิลสามารถนำมาใช้งานอื่นได้ เช่น ใช้เป็นวัสดุมวลรวมทดแทนในงานปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตได้ งานวิจัยนี้ศึกษากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกในห้องปฏิบัติการของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตที่ใช้ RAP เป็นมวลรวมหยาบ ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ RAP แทนที่มวลรวมหยาบโดยน้ำหนักที่ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ตามลำดับ กำลังของคอนกรีตที่ใช้ RAP เป็นมวลรวมหยาบถูกนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้ RAP เป็นมวลรวมหยาบขึ้นกับปริมาณการแทนที่ RAP ในส่วนผสมมวลรวมทั้งหมด ปริมาณ RAP เพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีแนวโน้มลดลงถึงร้อยละ 50 และ 40 ตามลำดับ เมื่อใช้ RAP แทนที่มวลรวมทั้งหมด

คำสำคัญ: กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงผ่าซีก ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล มวลรวมหยาบ

ABSTRACT

Recycled asphalt pavement (RAP) is defined as pavement solid waste, which have been removed and/or reprocessed. Most RAP is recycled back into pavement structures but some of them are still more than needed, which these can be used in other possible applications such as Portland cement concrete aggregates. In this research, the compressive and splitting tensile strengths of Portland cement concrete, which uses RAP replaced coarse aggregate, were investigated in the laboratory. The mix proportions of concrete, which use RAP replaced coarse aggregate at 25, 50, 75 and 100% were performed. The strengths of concretes using RAP as aggregate were compared with those of similar concretes using natural aggregate. Based on the test result, it is seen that the compressive and splitting strengths of concrete using RAP is dependent on the RAP replacement in the mix proportions. As the

100% RAP content replaced the natural aggregates, 50% the compressive and 40 % splitting tensile strengths tend to be decreased.

Keyword: Compressive strength, Splitting tensile strength, Recycled asphalt pavement, Coarse aggregate

1. บทนำ

ปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) กรมทางหลวงเป็นหน่วยงานที่รับรับผิดชอบทางหลวงสายหลักของประเทศโดยมีถนนอยู่ในความรับผิดชอบเป็นระยะทางกว่า 66,800 กิโลเมตร กว่าร้อยละ 90 ของระยะทางทั้งหมดเป็นถนนผิวทางลาดยาง [1] จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าถนนผิวทางลาดยางเป็นถนนที่มีการสร้างและใช้งานอย่างกว้างขวางมากกว่าถนนผิวทางคอนกรีตเนื่องจากต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างต่ำกว่ามาก ทำให้ได้ระยะทางก่อสร้างมากกว่าที่ค่าก่อสร้างเท่ากัน เมื่อผิวถนนมีการใช้งานผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งมักเกิดการเสื่อมสภาพและจำเป็นต้องบูรณะซ่อมแซมตามอายุการใช้งาน การซ่อมหรือทำผิวทางใหม่เมื่อถนนชำรุดหรือหมดอายุการใช้งานต้องรื้อผิวทางเดิมจนลึกถึงชั้นพื้นทางออก ก่อนทำชั้นพื้นทางและผิวทางใหม่ ผิวทางแอสฟัลต์ (Asphalt pavement) เดิมมักถูกไปกองไว้ในที่ต่าง ๆ เป็นขยะของเสียที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ในแต่ละปีถ้าระยะทางถนนลาดยางที่มีการซ่อมแซมโดยรื้อผิวทางแอสฟัลต์ทิ้งหลายร้อยกิโลเมตร ซึ่งจะมีปริมาณขยะผิวทางแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปีเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของอย่างมาก [2, 3]

ขยะผิวทางแอสฟัลต์ที่ใช้แล้วนี้สามารถนำมารีไซเคิลใช้เป็นมวลรวมสำหรับงานคอนกรีตได้ โดยเรียกว่า “ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล (Recycled asphalt pavement, RAP)” การนำวัสดุนี้ไปใช้ผสมในคอนกรีตอาจทำได้โดยปรับเปลี่ยนส่วนผสมแทนที่วัสดุมวลรวมเดิมบางส่วนหรือแทนที่ทั้งหมด [4-9] ผลการศึกษาในอดีตแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่ใช้ RAP เป็นส่วนผสมในมวลรวมส่งผลต่อกำลังอัดที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลวิจัยใดแสดงกลไกการพัฒนากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้ RAP เป็นมวลรวม การใช้งานตามภูมิปัญญาท้องถิ่นอาจทำได้โดยการหาสัดส่วนผสมตามกำลังอัดที่ต้องการโดยการลองผิดลองถูกแล้วบันทึกสัดส่วนผสมไว้ การทดสอบลองผิดลองถูกมักเน้นหาสัดส่วนที่การใช้ปริมาณ RAP ให้มากที่สุดเพื่อประหยัดต้นทุนแต่ต้องการได้คอนกรีตที่ยังคงมีสมบัติทางกลตามเกณฑ์ที่ต้องการตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนากำลังของคอนกรีตตามสัดส่วนผสมและอายุต่างๆ เมื่อนำ RAP มาใช้แทนวัสดุมวลรวมธรรมชาติเป็นสิ่งที่จำเป็นในการออกแบบและยังไม่มีงานวิจัยใดสรุปไว้อย่างชัดเจน

ด้วยปัญหาความเข้าใจในกลไกของคอนกรีตที่มี RAP เป็นส่วนผสมบทความนี้นำเสนอการศึกษากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีตที่มี RAP เป็นมวลรวมหยาบทดแทนมวลรวมจากธรรมชาติเพื่อให้เกิดความเข้าใจในกลไกการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงของกำลังของคอนกรีตจากวัสดุรีไซเคิลที่ปริมาณทดสอบวัสดุธรรมชาติต่างๆ ซึ่งสามารถนำองค์ความรู้นี้ไปใช้ในการพัฒนาต่อยอดเพื่อพัฒนาวิธีการออกแบบสำหรับผลิตคอนกรีตเขียวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการลดขยะและปริมาณวัสดุมวลรวมจากธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุที่นำมาศึกษา

RAP ที่นำมาใช้ได้จากการรื้อซ่อมแซมผิวทางหลวงในเขต จ.นครราชสีมา โดยผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องจักรแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว และค้างตะแกรงเบอร์ 4 สมบัติพื้นฐานของ RAP จากการทดสอบตามมาตรฐานแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวม

คุณสมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	RAP	หิน	ทราย
โมดูลัสความละเอียด	ASTM C33 [11]	5,8	6.2	2.51
ความถ่วงจำเพาะ (รวม)	ASTM C127 [12] ASTM C128 [13]	2.59	2.71	2.49
หน่วยน้ำหนักแห้ง (กก./ลบ.ม.)	ASTM C33 [11]	1,372	1,490	1,442
ดูดซึมน้ำ (%)	ASTM C127 [12] ASTM C128 [13]	1.5	0.7	1.5
สึกกร่อน (%)	ASTM C131 [14]	25.2	18.3	-

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมสำหรับคอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัดเป้าหมายต่าง ๆ

ส่วนผสม\สัญลักษณ์	C150	C200	C260	C330
กำลังอัดเป้าหมาย (กก/ซม^2)	150	200	260	330
น้ำ (ล.)	180	180	180	180
ซีเมนต์ (กก.)	255	295	350	415
มวลรวมหยาบ (กก.)	1,190	1,190	1190	1,190
มวลรวมละเอียด (กก.)	800	765	720	665

โดยมีปริมาณยางแอสฟัลต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของ RAP แห้ง

มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำ (River sand) และมวลรวมหยาบจากวัสดุธรรมชาติเป็นหินปูน (Limestone) สมบัติพื้นฐานของหินและทรายจากการทดสอบตามมาตรฐานแสดงตามตารางที่ 1 การศึกษานี้ทำการออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 211 [10] ที่กำลังอัดเป้าหมายระหว่าง 150 ถึง 330 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สัดส่วนผสมที่แต่ละกำลังอัดแสดงตามตารางที่ 2 จากนั้นทำการแทนที่มวลรวมหยาบด้วย RAP โดยน้ำหนักที่ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ตามลำดับ ซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมเป็นปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะ 3.15 ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 [15]

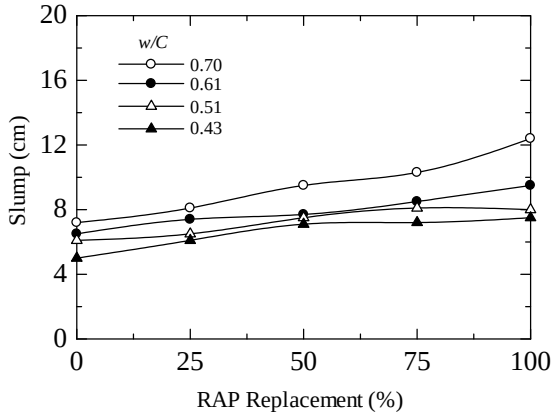
2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

การเตรียมคอนกรีตทำตามมาตรฐาน ASTM C39 [16] และ ASTM C496 [17] เมื่อผสมเสร็จตรวจสอบค่าการยุบตัว (Slump test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 [18] จากนั้นนำคอนกรีตไปเทลงในแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บ่มด้วยการแช่น้ำ เมื่อครบตามอายุแล้วมาวัดขนาด ชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปทดสอบหากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C39 [16] และกำลังรับแรงดึงผ่าซีกตามมาตรฐาน ASTM C496 [17]

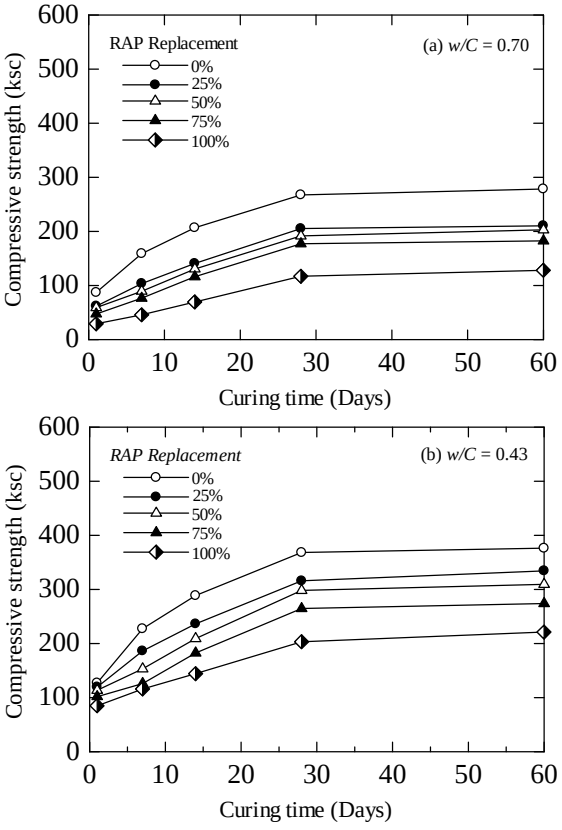
3. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

3.1 คุณสมบัติในการทำงานได้

รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีตสดที่มีส่วนผสมของ RAP แทนที่มวลรวมหยาบที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณ RAP ในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นค่ายุบตัวมีค่าสูงขึ้นสำหรับคอนกรีตสดทุกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (*w/C*) โดยปริมาณ RAP แทนที่มวลรวมหยาบที่ร้อยละ 100 จะมีค่ายุบตัวสูงที่สุด ค่ายุบตัวของคอนกรีตสดที่มี *w/C* ต่ำจะมีค่ายุบตัวต่ำกว่าคอนกรีตสดที่มี *w/C* สูงกว่าสำหรับทุกปริมาณ RAP แต่อย่างไรก็ดีเมื่อปริมาณ RAP สูงขึ้นความแตกต่างของค่ายุบตัวที่ *w/C* ต่างๆ มีค่าแตกต่างกันมากขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีค่าแตกต่างกันถึงร้อยละ 39 ผลการทดสอบค่ายุบตัวนี้สามารถอธิบายได้จากสภาพทางกายภาพของ RAP ซึ่งมีฟิลม์แอสฟัลต์หุ้มอยู่ แอสฟัสต์นี้ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานแต่ฟิลม์แอสฟัสต์หุ้มหินคลุกซึ่งเป็นวัสดุประกอบหลักของ RAP แม้ว่า RAP สามารถดูดน้ำได้สูงกว่ามวลรวมธรรมชาติแต่ในการผสมใช้งานคอนกรีตไม่ได้เตรียมมวลรวมที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้ง แต่ใช้การชดเชยน้ำในส่วนผสมแทน ดังนั้นน้ำที่ชดเชยไม่สามารถซึมเข้าสู่ RAP ได้รวดเร็วเท่ากับมวลรวมธรรมชาติเนื่องจากฟิลม์แอสฟัลต์จึงส่งผลต่อค่ายุบตัวหรือความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสดสูงตามไปด้วย [4, 5]



รูปที่ 1 ค่ายุบตัวของคอนกรีตสดที่ปริมาณ RAP ต่างๆ



รูปที่ 2 ผลของการแทนที่มวลรวมหยาบด้วย RAP ต่อการพัฒนากำลังอัด

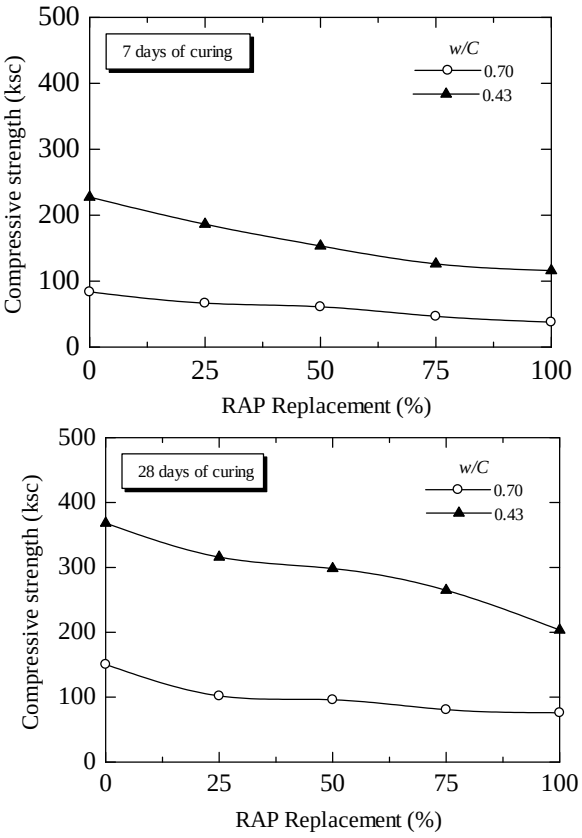
3.2 ผลของการแทนที่ RAP ต่อการพัฒนากำลังตามอายุบ่ม

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ RAP ต่อการพัฒนากำลังอัดตามอายุบ่มดังแสดงในรูปที่ 2 ปริมาณ RAP ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่ออัตราการพัฒนากำลังอัดในช่วงแรก ดังสามารถสังเกตได้จากความชันของกราฟในช่วง 1 ถึง 7 วัน ที่มีความชันแตกต่างกันโดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติทั้งหมดมีอัตราการพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นสูงที่สุด อัตราการพัฒนากำลังลดลงตามปริมาณ RAP แต่อย่างไรก็ดีเมื่ออายุบ่มสูงเกิน 7 วัน ความชันของกราฟมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทุกๆ สัดส่วนผสม ซึ่งแสดงว่าในช่วงการพัฒนากำลังช่วงกลางและช่วงปลาย ปริมาณ RAP ในสัดส่วนผสมมีผลต่อการพัฒนากำลังอัดตามอายุบ่มน้อย

รูปที่ 3 แสดงผลของ RAP ต่อกำลังอัดที่ 7 และ 28 วัน สำหรับการออกแบบกำลังอัดที่ *w/C* เท่ากับ 0.43 และ 0.70 จากกราฟจะเห็นได้ว่ากำลังอัดที่ 28 วันมีค่าสูงกว่าที่ 7 วัน โดยการเปลี่ยนแปลงของกำลังอัดทั้งที่ 7 และ 28 วัน แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกคือการแทนที่ด้วย RAP ไม่เกินร้อยละ 25 กำลังอัดคอนกรีตลดลงอย่างชัดเจน ช่วงที่สองคือการแทนที่ด้วย RAP ระหว่างร้อยละ 25 ถึง 75 กำลังอัดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และช่วงที่สามคือการแทนที่ด้วย RAP มากกว่าร้อยละ 75 เป็นช่วงที่กำลังอัดลดลงอย่างชัดเจนอีกครั้งแต่แนวโน้มการลดลงต่ำว่าช่วงแรก อัตราส่วน *w/C* = 0.43 และ 0.70 ให้กำลังแตกต่างกันมากที่สุดสำหรับการตัวอย่างที่ไม่มีการแทนที่ด้วย RAP แต่เมื่อปริมาณ RAP เพิ่มขึ้น ความแตกต่างกำลังอัดของทั้งสองอัตราส่วนลดลง

3.3 ผลของการแทนที่ RAP ในมวลรวมหยาบต่อกำลังอัดที่ w/C ต่าง ๆ

เมื่อพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติด้วย RAP ผลของ *w/C* ที่มีต่อกำลังอัดที่อายุบ่มต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าที่อายุบ่ม 1 วันการพัฒนากำลังอัดยังคงเกิดขึ้นน้อย แนวโน้มความแตกต่างของกำลังอัดคอนกรีตที่ *w/C* ต่างๆ มีน้อย แนวโน้มการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ *w/C* เท่ากับ 0.43 มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับ *w/C* เท่ากับ 0.7 แต่กำลังอัดตอนปลาย (ช่วงอายุ 28 ถึง 60 วัน) *w/C* ต่ำให้กำลังอัดที่สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตาม คอนกรีตที่ใช้ RAP แทนที่มวลรวม

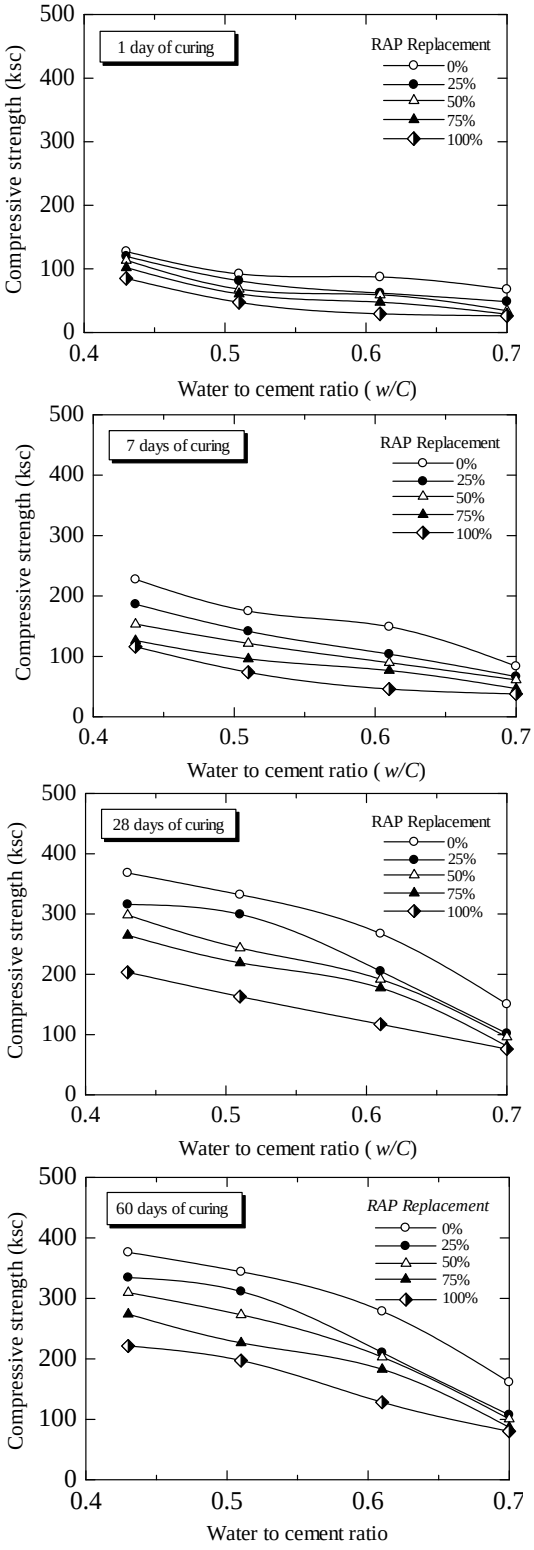


รูปที่ 3 ผลของการแทนที่มวลรวมหยาบด้วย RAP ต่อกำลังอัดที่ *w/C* ต่างๆ

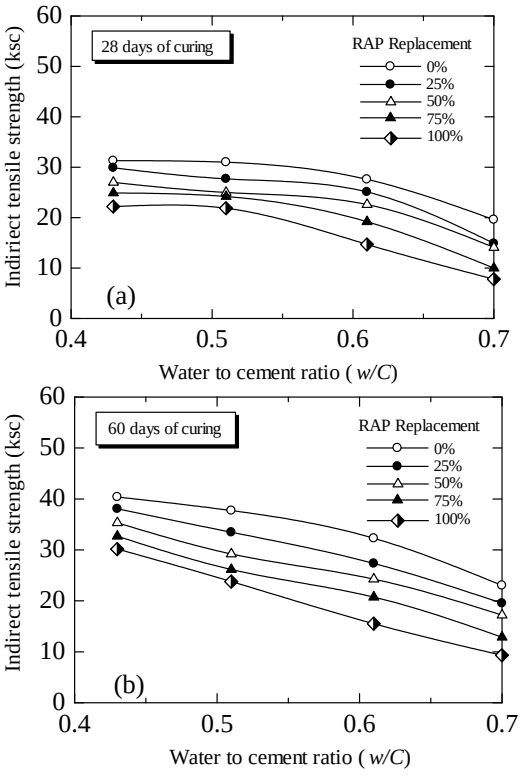
หยาบในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นนั้นกำลังอัดมีแนวโน้มลดลงสำหรับทุกๆ สัดส่วนผสม โดยที่ *w/C* เท่ากับ 0.43 กำลังอัดลดลงได้ถึงร้อยละ 48 และสำหรับ *w/C* เท่ากับ 0.70 กำลังอัดลดลงถึงร้อยละ 50 ที่อายุบ่ม 28 วัน และ 60 วัน กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุบ่มมากขึ้นเมื่อใช้ RAP เป็นมวลรวมทั้งหมด กำลังอัดลดลงประมาณร้อยละ 50

3.4 ผลของการแทนที่ RAP ในมวลรวมหยาบต่อกำลังรับแรงดึงผ่าซีกที่ w/C ต่าง ๆ

รูปที่ 5 กำลังรับแรงดึงผ่าซีกที่ปริมาณ *w/C* และปริมาณ RAP ต่าง ๆ เมื่อพิจารณาที่ *w/C* เดียวกัน กำลังรับแรงดึงผ่าซีกลดลงตามปริมาณ RAP ในส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับในกรณีของกำลังอัด และเป็นเช่นเดียวกันนี้กับทั้งตัวอย่างที่อายุบ่ม 28 และ



รูปที่ 4 ผลของ *w/C* ต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่มี RAP แทนที่มวลรวมหยาบที่อายุบ่ม (a) 1 วัน (b) 7 วัน (c) 28 วัน และ (d) 60 วัน



รูปที่ 5 ผลของการแทนที่มวลรวมหยาบด้วย RAP ต่อกำลังรับแรงดึงผ่าซีก

60 วัน อย่างไรก็ดีกำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ *w/C* ที่เพิ่มขึ้น การลดลงในช่วงแรก (*w/C* เท่ากับ 0.43 ถึง 0.51) เกิดขึ้นน้อยกว่าที่ *w/C* สูงกว่า 0.51 กำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าระหว่างร้อยละ 10 ถึง 20 ของกำลังอัดประลัย

3.5 อภิปรายผล

การแทนที่มวลรวมธรรมชาติ (หินปูน) ด้วยวัสดุรีไซเคิลที่มีส่วนผสมของยางแอสฟัลต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานเดิมนั้นส่งผลต่อการความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสดและการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตใหม่อย่างชัดเจน โดยมีลักษณะเดียวกับการนำวัสดุรีไซเคิลจากงานทางนี้มาใช้ในการทำโครงสร้างชั้นทางใหม่ Suebsuk และคณะ [3] ได้นำเสนอผลการพัฒนากำลังอัดของดินซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของ RAP จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการนำ RAP มาใช้รีไซเคิลเป็นมวลรวมใหม่นั้นจะมีปัญหาการลดลงของกำลังอัดของวัสดุใหม่รวมถึงการพัฒนากำลังอัดที่ช้าลงด้วย เช่นเดียวกันกับดินซีเมนต์ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ RAP แทนที่มวลรวมหยาบทั้งหมดในคอนกรีตแล้วกำลังอัดของคอนกรีตที่ได้มีค่าลดลงประมาณร้อยละ 50 ของกำลังอัดคอนกรีตปกติ โดยการวิบัติของตัวอย่างที่มี RAP จะเกิดที่ผิวแอสฟัลต์โดยรอบมวลรวม RAP จากผลการทดสอบที่ *w/C* แตกต่างกันนั้น กำลังกลับลดลงในอัตราส่วนเท่ากันสำหรับทุก *w/C* ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวม RAP นั้นมีกำลังขึ้นกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะซีเมนต์กับมวลรวมซึ่งแปรผันตรงกับ *w/C* เท่านั้น ผลการทดสอบนี้ยืนยันให้เห็นว่าการนำ RAP มาใช้แทนมวลรวมหยาบมีปัญหาที่การยึดเหนี่ยวของพันธะซีเมนต์กับผิวสัมผัสมวลรวม อย่างไรก็ดีในกรณีของกำลังรับแรงดึงผ่าซีกลักษณะการวิบัติแตกต่างจากกำลังรับแรงอัดส่งผลต่อสัดส่วนการลดลงของกำลังรับแรงดึงผ่าซีกจึงต่างกันเมื่อ *w/C* เปลี่ยนแปลง

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้เสนอผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้วัสดุผิวทางรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบแทนหินธรรมชาติ จากผลการทดสอบพบว่า RAP สามารถนำมาใช้ทดแทนมวลรวมหยาบได้โดยกำลังอัดลดลงกว่าค่าที่คำนวณออกแบบสัดส่วนผสมโดยใช้วัสดุมวลรวมธรรมชาติปกติ ผลของ RAP ต่อการลดลงของกำลังอัดแบ่งเป็น 3 ส่วน ช่วงแรกปริมาณ RAP น้อยกว่าร้อยละ 25 กำลังอัดลดลงอย่างชัดเจน ช่วงที่สองปริมาณ RAP ระหว่าง 25 ถึง 75 กำลังอัดลดลงเล็กน้อย และช่วงที่สามปริมาณ RAP มากกว่าร้อยละ 75 กำลังอัดลดลงอย่างชัดเจนอีกครั้ง ปริมาณ RAP เพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้ RAP แทนที่มวลรวมทั้งหมดกำลังอัดและกำลังรับแรงดึงผ่าซีกลดลงถึงร้อยละ 50 และ 40 ตามลำดับ การออกแบบที่กำลังอัดใดๆ จะมีการลดลงของกำลังอัดเนื่องจากการแทนที่ด้วย RAP ประมาณร้อยละ 50 ของกำลังอัดอ้างอิงจากมวลรวมธรรมชาติ การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ RAP แทนมวลรวมหยาบมีลักษณะคล้ายคอนกรีตอ้างอิง โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ในช่วง 1 ถึง 7 วันแรก และกำลังอัดเริ่มคงที่เมื่ออายุมากกว่า 28 วัน การใช้ RAP เป็นมวลรวมหยาบส่งผลให้การเทได้ของคอนกรีตสดดีขึ้นสำหรับทุก *w/C*

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Highways. (2012, Dec. 23). [Online] Available: http://www.doh.go.th/

[2] A. S. Brantley and T. G. Townsend, "Leaching of Pollutants from Reclaimed Asphalt Pavement," *Envi. Eng. Sci.,* vol. 16, pp. 105-116, 1999.

[3] J. Suebsuk, A. Suksan, and S. Horpibulsuk, "Strength assessment of cement treated soil/reclaimed asphalt pavement (RAP) mixture," *Int. J. of Geomate,* vol. 6, pp. 878-884, 2014.

[4] B. Huang, X. Shu, and G. Li, "Laboratory investigation of Portland cement concrete containing recycled asphalt pavements," *Cement and Conc. Res.,* vol. 35, pp. 2008-2013, 2005.

[5] B. Huang, X. Shu, and E. G. Burdette, "Mechanical properties of concrete containing recycled asphalt pavements," *Mag. of Conc. Res.,* vol. 58, pp. 313-320, 2006.

[6] E. Mahmoud, A. Ibrahim, H. El-Chabib, and V. C. Patibandla, "Self-consolidating concrete incorporating high volume of fly ash, slag, and recycled asphalt pavement," *Int. J. of Conc. Struct. and Mater.,* vol. 7, pp. 155-163, 2013.

[7] A. Modarres and Z. Hosseini, "Mechanical properties of roller compacted concrete containing rice husk ash with original and recycled asphalt pavement material," *Mater. & Design,* vol. 64, pp. 227-236, 2014.

[8] L. Courard, F. Michel, and P. Delhez, "Use of concrete road recycled aggregates for roller compacted concrete," *Construc. and Building Mater.,* vol. 24, pp. 390–395, 2010.

[9] S. Al-Oraimi, F. Hossam, and H. A. Hago, "Recycling of reclaimed asphalt pavement in Portland cement concrete," *J. of Eng. Res.,* vol. 6, pp. 37–45, 2009.

[10] ACI Committee 211, “ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete,” 2009.

[11] ASTM C33/C33M-15, “Standard specification for concrete aggregates,” West Conshohocken, PA, 2016.

[12] ASTM C127, “Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate,” West Conshohocken, PA, 2015.

[13] ASTM C128, “Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate,” West Conshohocken, PA, 2015.

[14] ASTM C131/C131M-14, “Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine,” West Conshohocken, PA, 2006.

[15] ASTM C188-15, “Standard test method for density of hydraulic cement,” West Conshohocken, PA, 2015.

[16] ASTM C39 / C39M-16, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,” West Conshohocken, PA, 2016.

[17] ASTM C496 / C496M-11, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens," West Conshohocken, PA, 2004.

[18] ASTM C143/C143M-15a, "Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete," West Conshohocken, PA, 2015.