การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ
Evaluation of Compressive Strength Using Recycled Asphalt Pavement as Coarse Aggregate

ศิริวุฒิ อนุศาสนรักษ์[1,*] จักษดา ธำรงวุฒิ[2] พงศ์ธาดา กาตาสาย[3] เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์[4] และ ชยกฤต เพชรช่วย[5]

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิล (coarse recycled asphalt pavement, coarse RAP) แทนที่มวลรวมหยาบปริมาณร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 โดยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตถูกออกแบบตามมาตรฐาน ACI 211.1 มีค่าเท่ากับ 25 MPa 32 MPa และ 40 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ Coarse RAP เป็นมวลรวมหยาบถูกนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ จากการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลขึ้นกับปริมาณการแทนที่ Coarse RAP โดยผลการทดสอบยังระบุว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงอย่างเป็นระบบตามปริมาณ Coarse RAP ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้คอนกรีตที่ใช้ Coarse RAP เป็นมวลรวมหยาบที่อัตราส่วนการแทนที่ต่าง ๆ จะถูกเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติเพื่อนำเสนอสมการทำนายกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ Coarse RAP เป็นมวลรวม โดยสมการคณิตศาสตร์ถูกนำเสนอเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลต่อคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติและปริมาณการแทนที่ Coarse RAP สุดท้ายสมการที่นำเสนอในงานวิจัยจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

คำสำคัญ: ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล, มวลรวมหยาบ,กำลังรับแรงอัด การออกแบบส่วนผสม

Abstract

The compressive strength of concrete using coarse recycled asphalt pavement (coarse RAP) as coarse aggregate replacement at 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 percent by weight are investigated in this paper. The compressive strengths of concrete are designed according to ACI 211.1 standard for 25 MPa 32 MPa and 40 MPa at 28 days of curing. The compressive strengths of concrete using coarse recycled asphalt pavement as aggregate are compared with those of similar concretes using natural aggregate. From the test results, it is found that the compressive strength of concrete using coarse RAP is dependent on the coarse RAP replacement in the mix proportions. The test results also indicated that there is a systematic reduction in the compressive strengths with the increase in coarse RAP content. In addition, the concrete using coarse RAP as coarse aggregate with different replacement ratios is compared with those of similar concrete using natural aggregate in order to propose the compressive strength prediction equation for concrete using coarse RAP as aggregate. The mathematical equation of the relationship between normalized compressive strength versus coarse RAP replacement ratios is presented. Finally, the proposed equations in this paper are compared with previous research.

Keywords: Recycled Asphalt Pavement, Coarse Aggregate, Compressive Strength, Mix Design Proportion

1. บทนำ

ถนนสายหลักภายในประเทศ โดยถนนผิวทางแอสฟัลต์ (asphalt pavement) เป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากมีต้นทุนก่อสร้างที่ต่ำและมีการบำรุงรักษาซ่อมแซมได้สะดวกและรวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับผิวทางคอนกรีต ปัจจุบันมีการปรับปรุงผิวทางที่ชำรุดโดยการลอกผิวทางเดิมส่งผลให้เกิดขยะผิวทางแอสฟัลต์จำนวนมาก [1-2] โดยผิวทางแอสฟัลต์ดังกล่าวมักถูกนำกองไว้ในสถานที่ต่าง ๆ กลายเป็นขยะของเสียที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ หากในแต่ละปีมีระยะทางถนนผิวทางแอสฟัลต์ได้รับการซ่อมแซมโดยรื้อผิวทางทิ้งหลายร้อยหรือพันกิโลเมตร จะส่งผลให้ปริมาณขยะผิวทางแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นในแต่ละปีและเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา [3-5]

การนำวัสดุผิวทางเดิมที่ถูกรื้อนำกลับมาใช้ใหม่ถูกเรียกว่า ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล (recycled asphalt pavement, RAP) จากผลการวิจัยที่ผ่านมา ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลสามารถนำมาใช้แทนที่มวลรวมธรรมชาติใน

ส่วนผสมคอนกรีต โดยแทนที่บางส่วนหรือการแทนที่ทั้งหมด [6] คอนกรีตที่ใช้วัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนมวลรวมหยาบเป็นมวลรวมเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพที่ดีในการเพิ่มความเหนียว (ductility) [7] อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้วัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนในส่วนผสมของคอนกรีต จะทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดประลัยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากหินปูนธรรมชาติ [8] นอกจากนี้สำหรับงานปรับปรุงพื้นทาง ปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลในงานชั้นทางไม่ควรใช้เกินร้อยละ 50 ของปริมาณวัสดุมวลทั้งหมด [4]

2. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

1) คอนกรีตที่ใช้เป็นคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดประลัยตามเป้าหมายโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25 MPa 32 MPa และ 40 MPa (ประมาณ 250 kg/cm^2 320 kg/cm^2 และ 400 kg/cm^2 ตามลำดับ) ของแท่งทรงกระบอกมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 m สูง 0.20 m ที่อายุบ่ม 28 วัน ซึ่งเป็นกำลังรับแรงอัดในช่วงใช้งานสำหรับคอนกรีตทั่วไป

2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 15-2524

3) มวลรวมละเอียดร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้งก่อนนำไปใช้ผสมคอนกรีต

4) มวลรวมหยาบสำหรับผสมคอนกรีตเป็นหินที่มีขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว

5) น้ำประปาสะอาด

6) วัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลที่นำมาแทนมวลรวมหยาบและมีขนาดโตสุดไม่เกิน 3/4 นิ้ว

การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย โมดูลัสความละเอียด ความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนักแห้งกระทุ้งแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ การต้านทานการสึกกร่อน และปริมาณยางแอสฟัลต์ คุณสมบัติมวลรวมดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของมวลรวม

คุณสมบัติ	หิน	ทราย	CRAP
โมดูลัสความละเอียด,	3.18	2.40	3.53
ความถ่วงจำเพาะ,	2.70	2.62	2.31
หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	1,600	1,680	1,288
ค่าการดูดซึมน้ำ (,%)	0.34	1.20	0.51
ค่าต้านทานการสึกกร่อน (%)	20.32	-	-
ปริมาณยางแอสฟัลต์ (,%)	-	-	4.82

คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาเป็นคอนกรีตที่ออกแบบตามปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต (concrete mix design) ตามมาตรฐาน ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete [9] โดยมีกำลังรับแรงอัดประลัย 25 MPa 32 MPa และ 40 MPa (ประมาณ 250 kg/cm^2 320 kg/cm^2 และ 400 kg/cm^2 ตามลำดับ) และมีการแทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนด้วยวัสดุผิวทางแอสฟัลท์รีไซเคิลที่ปริมาณร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 โดยน้ำหนักของมวลรวมหยาบธรรมชาติ (หิน) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลท์รีไซเคิลแทนที่มวลหยาบ (CRAP) จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ

ชื่อตัวอย่างทดสอบถูกกำหนดโดยใช้สัญลักษณ์ CXX-YY ตามหลักการดังต่อไปนี้ CXX หมายถึง คอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลมีกำลังรับแรงอัดประลัยตามเป้าหมายเท่ากับ 25 MPa 32 MPa และ 40 MPa และ YY หมายถึง ปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบโดยใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลในหน่วยร้อยละ ตัวอย่างเช่น C25-50 หมายถึง คอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลมีกำลังรับแรงอัดตามเป้าหมายเท่ากับ 25 MPa และใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมหยาบร้อยละ 50 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบ

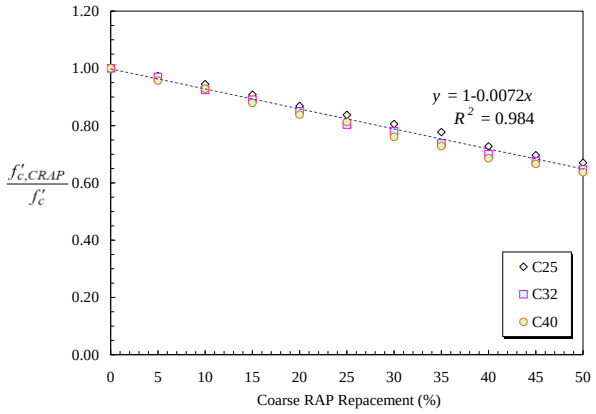
ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทดสอบได้ถูกเตรียมขึ้นภายในห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน การเตรียมคอนกรีตกระทำตามมาตรฐาน ASTM C39 [10] เมื่อผสมเสร็จตรวจสอบค่าการยุบตัว (slump test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 [11] จากนั้นนำคอนกรีตเทลงในแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 m สูง 0.20 m บ่มด้วยการใช้แผ่นพลาสติกหุ้ม เมื่อครบตามอายุนำตัวอย่างวัดขนาด ชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปทดสอบหากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C39 [10]

ตารางที่ 2 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร

ชื่อตัวอย่าง	ซีเมนต์ (kg)	น้ำ (kg)	หิน (kg)	ทราย (kg)	CRAP (kg)	w/C
C25-0	319	201	1,056.0	794	0	0.58
C25-5	319	201	1,003.2	794	52.8	0.58
C25-10	319	201	950.4	794	105.6	0.58
C25-15	319	201	897.6	794	158.4	0.58
C25-20	319	201	844.8	794	211.2	0.58
C25-25	319	201	792.0	794	264.0	0.58
C25-30	319	201	739.2	794	316.8	0.58
C25-35	319	201	686.4	794	369.6	0.58
C25-40	319	201	633.6	794	422.4	0.58
C25-45	319	201	580.8	794	475.2	0.58
C25-50	319	201	528.0	794	528.0	0.58
C32-0	378	201	1,056.0	744	0	0.49
C32-5	378	201	1,003.2	744	52.8	0.49
C32-10	378	201	950.4	744	105.6	0.49
C32-15	378	201	897.6	744	158.4	0.49
C32-20	378	201	844.8	744	211.2	0.49
C32-25	378	201	792.0	744	264.0	0.49
C32-30	378	201	739.2	744	316.8	0.49
C32-35	378	201	686.4	744	369.6	0.49
C32-40	378	201	633.6	744	422.4	0.49
C32-45	378	201	580.8	744	475.2	0.49
C32-50	378	201	528.0	744	528.0	0.49

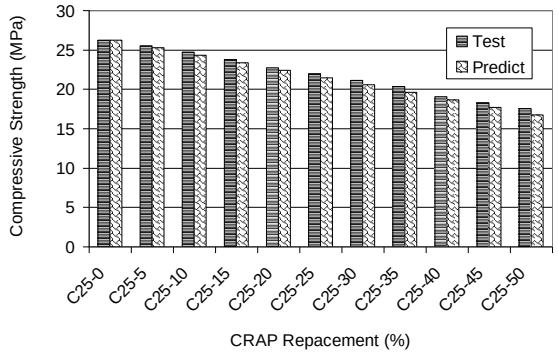
ชื่อตัวอย่าง	ซีเมนต์ (kg)	น้ำ (kg)	หิน (kg)	ทราย (kg)	CRAP (kg)	w/C
C40-0	487	200	1,056.0	655	0	0.38
C40-5	487	200	1,003.2	655	52.8	0.38
C40-10	487	200	950.4	655	105.6	0.38
C40-15	487	200	897.6	655	158.4	0.38
C40-20	487	200	844.8	655	211.2	0.38
C40-25	487	200	792.0	655	264.0	0.38
C40-30	487	200	739.2	655	316.8	0.38
C40-35	487	200	686.4	655	369.6	0.38
C40-40	487	200	633.6	655	422.4	0.38
C40-45	487	200	580.8	655	475.2	0.38
C40-50	487	200	528.0	655	528.0	0.38

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล



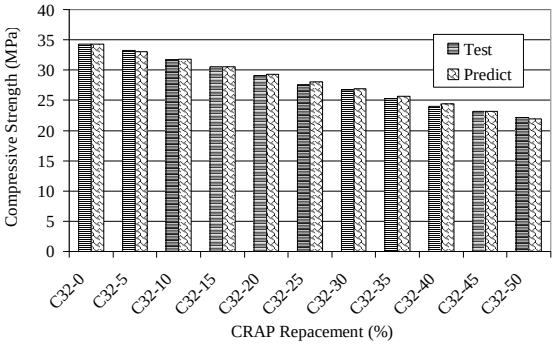
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังอัดของคอนกรีตที่มีผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลต่อคอนกรีตอ้างอิง

รูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลจากการทดสอบและกำลังอัดจากสมการที่นำเสนอ จากรูปพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลจากการทดสอบและกำลังอัดจากสมการที่ (2) ในปริมาณการแทนที่ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลที่ร้อยละ 5 และ 10 ให้ผลความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าปริมาณการแทนที่ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลร้อยละ 5 และ 10 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

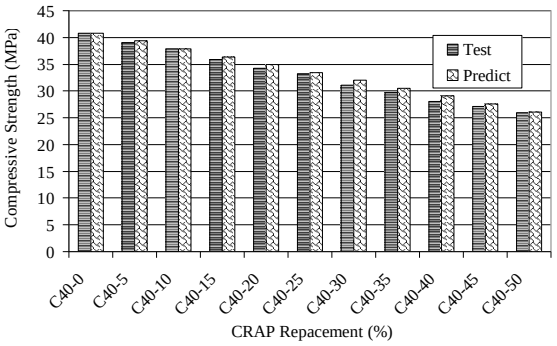


รูปที่ 3 การเปรียบเทียบกำลังอัดที่ 25 MPa ของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลจากการทดสอบและสมการที่นำเสนอ

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาของพื้นที่จัดเก็บผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลที่อาจส่งผลต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมและเพิ่มปริมาณการใช้วัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลให้เกิดประโยชน์สูงสุด ปริมาณการแทนที่ผิวทางละเอียดแอสฟัลต์รีไซเคิลที่เหมาะสมจึงกำหนดเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าลดลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 17.9 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติทั้ง 3 กำลังอัด



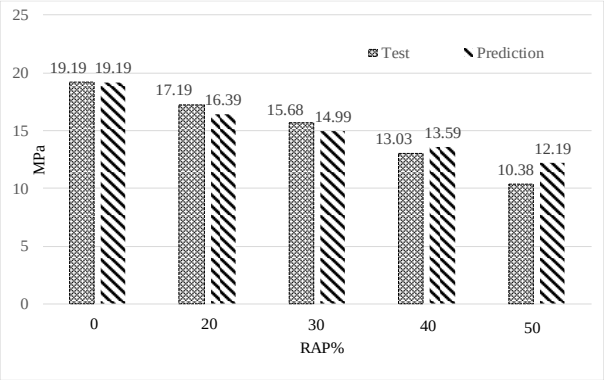
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบกำลังอัดที่ 32 MPa ของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลจากการทดสอบและสมการที่นำเสนอ



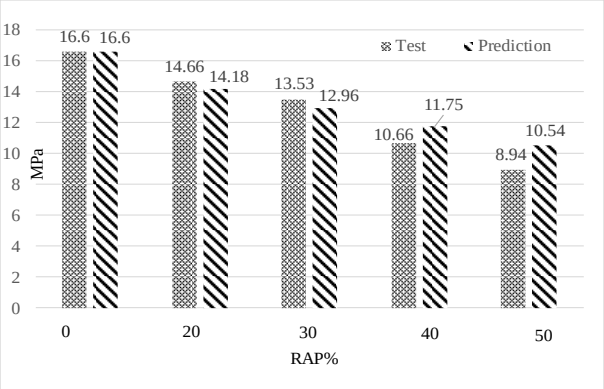
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบกำลังอัดที่ 40 MPa ของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลจากการทดสอบและสมการที่นำเสนอ

สุดท้ายสมการออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิล ($f'_{c,CRAP}$) เป็นส่วนผสมสามารถใช้ทำนายกำลังอัดภายใต้ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ทางวิศวกรรม ตลอดจนองค์ความรู้ที่ได้รับจากการศึกษายังส่งเสริมการนำวัสดุเหลือทิ้งชนิดนี้เพื่อการประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตและโครงสร้างสีเขียวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการลดปริมาณวัสดุก่อสร้างจากธรรมชาติต่อไป

เมื่อนำสมการปรับแก้กำลังอัดดังสมการที่ (2) เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Larbi . (2019) [12] ดังแสดงในรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 7 โดยงานวิจัยใช้อัตราส่วน w/c เท่ากับ 0.5 และ 0.6 ที่อายุบ่ม 28 วัน แอสฟัลต์รีไซเคิลที่นำมาแทนมวลรวมหยาบที่ปริมาณ 20%, 30%, 40% และ 50% ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงที่ 20%, 30% และ 40% ของแอสฟัลต์รีไซเคิลที่นำมาแทนมวลรวมหยาบพบว่า ผลการทดสอบของ Larbi . (2019) มีความแตกต่างจากสมการที่นำเสนออยู่ในช่วงระหว่าง 4-9%



รูปที่ 6 เปรียบเทียบสมการปรับแก้กำลังอัดกับผลทดสอบของ Larbi et al. ที่อัตราส่วน w/c 0.50



รูปที่ 7 เปรียบเทียบสมการปรับแก้กำลังอัดกับผลทดสอบของ Larbi et al. ที่อัตราส่วน w/c 0.60

สรุปผล

1) การแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติด้วยผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลส่งผลให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลง ปริมาณการแทนที่ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลที่อายุบ่ม 28 วัน มีกำลังอัดเฉลี่ยลดลงร้อยละ 17.9 เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ

2) สมการออกแบบกำลังอัดใช้ทำนายกำลังอัดของคอนกรีตในช่วงระหว่าง 25 MPa ถึง 40 MPa ภายใต้ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ทางวิศวกรรม โดยมีค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R-Square) เท่ากับ 0.984

3) สมการออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลเป็นส่วนผสมสามารถใช้ทำนายกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางหยาบแอสฟัลต์รีไซเคิลในงานวิจัยที่ผ่านมา โดยมีความแตกต่างกับสมการที่นำเสนอสูงสุดประมาณ 15%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับเครื่องมือในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] Brantley, A.S. and Townsend, T.G. (1999). Leaching of pollutants from reclaimed asphalt pavement. , 16(2), 105-116.

[2] Huang, B., Shu, X. and Li, G. (2005). Laboratory investigation of Portland cement concrete containing recycled asphalt pavements. , 35(10), 2008-2013.

[3] Mills-Beale, J. and You, Z. (2010). The mechanical properties of asphalt mixtures with recycled concrete aggregates. , 24(3), 230-235.

[4] Suebsuk, J., Suksan, A. and Horpibulsuk, S. (2014). Strength assessment of cement treated soil - reclaimed asphalt pavement (RAP) mixture. , 6(2), 878-884.

[5] Ossa, A., García, J.L. and Botero, E. (2016). Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. , 135, 379-386.

[6] Al-Oraimi, S., Hossam, F. and Hago, H.A. (2009). Recycling of reclaimed asphalt pavement in Portland cement concrete. , 6(1), 37-45.

[7] Mahmoud, E., Ibrahim, A., El-Chabib, H. and Patibandla, V.C. (2013). Self-consolidating concrete incorporating high volume of fly ash, slag, and recycled asphalt pavement. , 7(2), 155-163.

[8] Chaidachatorn, K., Suebsuk, J., Horpibulsuk, S., and Arulrajah, A. (2019). Extended water/cement ratio law for cement mortar containing recycled asphalt pavement. , 196, 457-467.

[9] ACI. (2009). Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. ACI 211.1-91, ACI Committee 211.

[10] ASTM. (2016). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, ASTM C39/C39M-16. , West Conshohocken, PA, USA.

[11] ASTM. (2012). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, ASTM C143/C143M-12. , West Conshohocken, PA, USA.

[12] Larbi, R., Hadi-Benyoussef, E., Morsli, M., Bensaibi, M and Bali A. (2019). Influence of database size on artificial neural network results for the prediction of compressive strength of concretes containing reclaimed asphalt pavement. , 13(4), 583-593.