กำลังอัด กำลังเฉือน และความสามารถการทำงานได้ของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต ที่มีส่วนผสมของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล เพื่อใช้เป็นวัสดุซ่อมแซม

Compressive, Shear Strength and Workability of Geopolymer Concrete Containing Recycle Asphaltic Concrete Aggregate for Repair Materials

ภูริเดช โคตะนิวงษ์[1] ปริญญา จินดาประเสริฐ[2] และพัชรพล โพธิ์ศรี[3]

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2] ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
E-mail address: [1] puridet64@gmail.com, [2] prinya@kku.ac.th, [3] mister_wing@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษากำลังอัด กำลังเฉือน และความสามารถการทำงานได้ของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต ที่มีส่วนผสมของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล เพื่อใช้เป็นวัสดุซ่อมแซม โดยมีส่วนผสมคือ เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ประเทศไทย โซเดียมซิลิเกต โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ อัตราส่วนโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่า 1 ต่อ 1 ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียด ใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ มวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล ถูกนำมาคัดขนาด คือ ขนาดหยาบ (4.75– 19.0 มม.) และขนาดละเอียด (1.18 – 4.75 มม.) โดยผสมในอัตราส่วนขนาดหยาบและขนาดละเอียดเท่ากับ 1 ต่อ 3 และนำมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติ ในปริมาณร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักมวลรวมหยาบธรรมชาติ และทำการปรับปรุงคุณสมบัติของจีโอโพลีเมอร์คอนกรีตโดยแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเถ้าลอย บ่มที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอายุครบ 28 วัน ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังเฉือน ความหนาแน่น และค่าการไหลแผ่ ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดมีค่าระหว่าง 313 และ 432 กก./ตร.ซม. กำลังเฉือนมีค่าระหว่าง 93 และ 139 กก./ตร.ซม. การไหลแผ่มีค่าระหว่าง 69 และ 75 ซม. และความหนาแน่นมีค่าระหว่าง 2,283 และ 2,356 กก./ลบ.ม. และผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สามารถใช้จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลในงานโครงสร้างคอนกรีตได้ นอกจากนี้ยังมีค่าการไหลแผ่ที่เหมาะสำหรับเป็นวัสดุซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต

คำสำคัญ: จีโอโพลิเมอร์คอนกรีต แอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล วัสดุซ่อมแซม กำลังเฉือน ความหนาแน่น

Abstract

This research, the compressive, shear strength and workability of geopolymer concrete containing recycle asphaltic concrete for repair material were studied. The concrete were made from fly ash that from Mae Moh power station in Lampang province, Thailand, sodium silicate (NS), sodium hydroxide (NH) 10 molars, ratio of NS:NH is 1:1, river sand, natural rock, recycle asphaltic concrete aggregate (RACA) was classified as coarse aggregate (4.75 – 19.0 mm.) and fine aggregate (1.18 – 4.75 mm.), mix coarse aggregate : fine aggregate ratio of 1:3. And use RACA to replace natural rock at 20 and 40% by weight of natural rock. And improve the properties of geopolymer concrete by replace fly ash with ordinary Portland cement (OPC) at 10% by weight of fly ash. Cure at room temperature until 28 days. The compressive, shear strength, density and flow were tested. The results of compressive strength between 313 and 432 kg/cm^2, shear strength between 93 and 139 kg/cm^2, density between 2,283 and 2,356 kg/m^3 and flow between 69 and 75 cm. were obtained. And the results showed that can be used geopolymer concrete containing recycle asphaltic concrete aggregate as concrete structure. In addition, flow is appropriate to be used as a repair material.

Keywords: Geopolymer Concrete, Recycle Asphaltic Concrete Aggregate, Repair material, Shear Strength, Density

1. คำนำ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของคอนกรีต ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะใช้วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) โดยการเผาวัตถุดิบด้วยอุณหภูมิสูง 1,400 ถึง 1,600 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเม็ดปูน (Clinker) แล้วบดให้ละเอียด [1] กระบวนการดังกล่าว นอกจากจะใช้พลังงานสูงแล้ว ยังปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) อีกด้วย เพื่อลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้เกิดการคิดค้นวัสดุใหม่ ที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานคล้ายปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุดังกล่าวเรียกว่า “จีโอโพลิเมอร์”

จีโอโพลิเมอร์มีส่วนผสม ได้แก่ วัสดุปอซโซลาน สารละลายอัลคาไล เช่น โซเดียมซิลิเกตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้จีโอโพลิเมอร์ที่มีความสามารถก่อตัวเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตที่มีโครงสร้างแบบกึ่งผลึกและแข็งตัว ทำให้รับแรงได้ดี [2] อย่างไรก็ตาม จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตยังคงมีมวลรวมธรรมชาติผสมอยู่มาก ซึ่งการนำมวลรวมธรรมชาติมาใช้เป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากความต้องการมวลรวมธรรมชาติ จึงได้เกิดการวิจัยวัสดุที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาใช้แทน เช่น วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP)

ซึ่งถนนสายหลักและถนนสายรองในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นผิวจราจรแอสฟัลต์คอนกรีต ผิวจราจรดังกล่าว จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาหรือบูรณะทาง เพื่อให้ผิวจราจรมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น การปูผิวแอสฟัลต์คอนกรีตทับผิวจราจรเดิม การนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมและพื้นทางเดิมกลับมาหมุนเวียนใช้เป็นชั้นพื้นทาง (Pavement Recycling) แล้วทำการปูผิวแอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ ในกรณีที่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมมีความหนามากเกินข้อกำหนด จะต้องมีการขูดไสผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมออกก่อน จึงจะสามารถใช้ในงานพื้นทางหมุนเวียนได้ นอกจากนี้ยังมีการขูดไสผิวทางเดิมบริเวณที่เป็นร่องล้อหรือพื้นผิวจราจรไม่เรียบออก เพื่อให้ถนนมีความเรียบ สะดวก และปลอดภัยต่อการใช้งาน การบำรุงรักษาหรือบูรณะทางจึงเกิดวัสดุผิวทางแอสฟัลต์เดิม (RAP) ซึ่งเป็นของเสียมากขึ้นทุกวันอย่างต่อเนื่อง

วัสดุผิวทางแอสฟัลต์เดิม (RAP) มีส่วนผสมของมวลรวมธรรมชาติมากถึงร้อยละ 95 จึงได้มีการนำวัสดุผิวทางเดิมบางส่วนมาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อใช้ในงานซ่อมแซมถนน นอกจากนี้ยังใช้เป็นมวลรวมหยาบในส่วนผสมคอนกรีตในงานทาง เช่น ขอบคันทางคอนกรีต (Concrete Curb) คอนกรีตกันถนน (Barrier Concrete) แต่ก็ยังมีวัสดุผิวทางเดิมคงเหลือเป็นของเสียอีกมาก

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์เดิม (RAP) มาทำการคัดแยกขนาดมวลรวม และนำมาใช้แทนมวลรวมหยาบธรรมชาติ เพื่อผลิตเป็นจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุมวลรวมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิล (Recycle Asphalt Concrete Aggregate, RACA) เพื่อใช้เป็นวัสดุซ่อมแซม โดยทำการปรับปรุงคุณภาพจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตด้วยปูนซีเมนต์ปอตแลนด์ เพื่อลดต้นทุนในการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต นอกจากนี้การนำผลิตภัณฑ์ของเสียกลับมาใช้ใหม่ ยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดปริมาณขยะ และยังเป็นการช่วยสนับสนุนการใช้วัสดุที่ยั่งยืนได้อีกด้วย

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุ

งานวิจัยนี้ ใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ประเทศไทย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) โซเดียมซิลิเกต (NS) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงในตารางที่ 1 เถ้าลอยประกอบด้วย SiO_2 ร้อยละ 36.20 Al_2O_3 ร้อยละ 15.52 Fe_2O_3 ร้อยละ 14.25 และ CaO ร้อยละ 22.57 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOL) ร้อยละ 0.88 ซึ่งจัดเป็นเถ้าลอยชนิด C ตามมาตรฐาน ASTM C618 [3] ใช้โซเดียมซิลิเกตมีส่วนผสม Na_2O ร้อยละ 15.32 SiO_2 ร้อยละ 32.87 และน้ำ ร้อยละ 51.8 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 โมลาร์ และใช้โซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1 ต่อ 1 เป็นสารละลายอัลคาไลน์ เนื่องจากเป็นส่วนผสมที่มีความเหมาะสมที่สุด [4] ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียด ใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ คัดขนาดมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล คือ ขนาดหยาบ (CA) 4.75 ถึง 19.0 มม. และขนาดละเอียด (FA) 1.18 ถึง 4.75 มม. ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยผสมในอัตราส่วนขนาดหยาบและขนาดละเอียดเท่ากับ 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Chemical Composition, ร้อยละ	Fly Ash	OPC
SiO_2	36.20	20.8
Al_2O_3	15.52	4.7
Fe_2O_3	14.25	3.4
CaO	22.57	65.3
K_2O	1.63	0.4
Na_2O	0.33	0.1
SO_3	8.9	2.7
LOI	0.88	0.9

OPC=ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

รูปที่ 1 มวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุดังแสดงในตารางที่ 2 หน่วยน้ำหนักของ CA และ FA มีค่า 1,278 และ 1,297 กก./ลบ.ม. ความละเอียดวัดโดยวิธีของเบลน (Blaine) ของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เท่ากับ 2,409 และ 3,600 ตร.ซม./ก. โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 18.6 และ 14.6 ไมโครเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

Property	Fly Ash	OPC	Fine Agg.	Coarse Agg	RACA CA	RACA FA
ความถ่วงจำเพาะ	2.66	3.15	2.60	2.70	2.44	2.34
ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)	18.6	14.6	-	-	-	-
โมดูลัสความละเอียด	-	-	2.65	7.31	-	-
หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	-	1,440	1,753	1,599	1,278	1,297
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	-	-	1.09	0.36	0.47	0.62

OPC=ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, RACA=ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลที่คัดขนาดแล้ว, NS=โซเดียมซิลิเกต, NaOH=โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 ส่วนผสม

ออกแบบส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเพื่อศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต โดยกำหนดปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล (RACA) ในปริมาณร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุมวลรวมหยาบ ปรับปรุงคุณสมบัติฯ โดยการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเถ้าลอย เนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด [5] โดยส่วนผสมแสดงดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต (กก./ลบ.ม.)

Mixes	Fly Ash	OPC	Fine Agg.	Coarse Agg.	RACA	NS	NaOH
FA (0RACA)	428	-	590	1,090	-	139	139
FA (20RACA)	428	-	590	875	220	139	139
FA (40RACA)	428	-	590	655	440	139	139
FA 10OPC (0RACA)	385	43	590	1,090	-	139	139
FA 10OPC (20RACA)	385	43	590	875	220	139	139
FA 10OPC (40RACA)	385	43	590	655	440	139	139

OPC=ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, RACA=ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลที่คัดขนาดแล้ว, NS=โซเดียมซิลิเกต, NaOH=โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.3 รายละเอียดการผสม

ทำการผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในส่วนผสม และผสมเป็นเวลา 5 นาที เติมมวลรวมหยาบและละเอียด ผสม 5 นาที เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต และผสมอีก 5 นาที [6] จากนั้นบรรจุส่วนผสมลงในแบบหล่อขนาด 15.0x15.0x15.0 ซม. สำหรับทดสอบกำลังอัด และขนาด 7.5x7.5x15.0 ซม. สำหรับทดสอบกำลังเฉือน ให้จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตก่อนตัว 1 วัน จึงถอดแบบหล่อ ห่อตัวอย่างด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อรักษาความชื้นและบ่มด้วยอุณหภูมิห้อง จนกระทั่งตัวอย่างอายุครบ 28 วัน

2.4 รายละเอียดการทดสอบ

2.4.1 การไหลแผ่

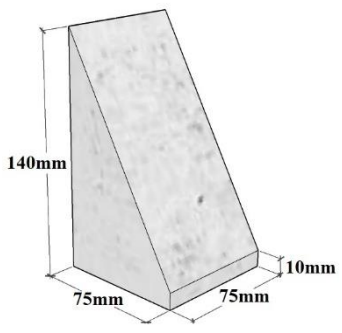
ทำการทดสอบค่าการไหลแผ่ ตามมาตรฐาน ASTM C1611 / C1611M [7] วางโมลสำหรับหาค่าการไหลแผ่บนพื้นราบเรียบ เติมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตสดจนกระทั่งพอดีขอบโมล ยกโมลขึ้นในแนวดิ่ง ให้จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตสดไหลอย่างอิสระจนกระทั่งหยุดไหล รายงานค่าเฉลี่ยของระยะผ่านศูนย์กลางการไหลแผ่ที่กว้างที่สุดและระยะผ่านศูนย์กลางที่ตั้งฉากกัน

2.4.2 กำลังอัด

ทดสอบค่ากำลังอัดของตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 15.0x15.0x15.0 ซม. เมื่ออายุครบ 28 วัน โดยให้แรงกดในแนวแกนด้วยอัตราคงที่ 0.40 ถึง 0.80 MPa/s. จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติ ตามมาตรฐาน BS EN 12390 [8] จำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ชุด และรายงานค่ากำลังอัดเฉลี่ย

2.4.3 กำลังเฉือน

ทำการหล่อแท่งคอนกรีตจำลอง (Dummy Section) ซึ่งจะใช้เป็นชิ้นส่วนด้านล่าง โดยใช้คอนกรีตกำลังอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 700 กก./ตร.ซม. ตัดแท่งคอนกรีตจำลองในแนวทำมุม 30 องศา กับแนวดิ่ง ดังรูปที่ 2 หล่อจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตบนแท่งคอนกรีตจำลองแทนส่วนที่ถูกตัดออก ให้เป็นทรงปริซึมขนาด 75x75x150 มม. ทดสอบกำลังเฉือนตัวอย่างปริซึม เมื่ออายุครบ 28 วัน โดยให้แรงกดในแนวแกนด้วยอัตราคงที่ 0.15 ถึง 0.35 MPa/s. จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติ ตามมาตรฐาน ASTM C882/C882M [9] จำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ชุด และรายงานค่ากำลังเฉือนเฉลี่ย



รูปที่ 2 แท่งคอนกรีตจำลอง (Dummy Section)

2.4.4 ความหนาแน่น

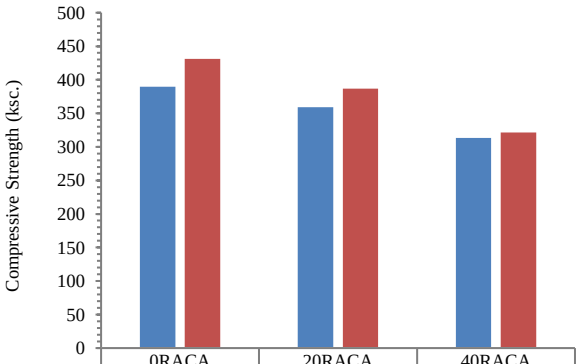
ทดสอบค่าความหนาแน่นของตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 15.0x15.0x15.0 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C138/C138M [10] จำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ชุด และรายงานค่าความหนาแน่นเฉลี่ย

3. ผลการทดสอบและการอภิปราย

3.1 กำลังอัด

ผลการทดสอบกำลังอัดจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตทีมีส่วนผสมของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลแสดงดังรูปที่ 3 ส่วนผสม FA (0RACA), FA (20RACA) และ FA (40RACA) มีกำลังอัดเท่ากับ 389.6, 359.1 และ 313.4 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักมวลรวมหยาบธรรมชาติ กำลังอัดคอนกรีตมีค่าลดลงร้อยละ 7.8 และ 19.6 ตามลำดับ กำลังอัดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล กำลังอัดที่ลดลงเนื่องจากมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมีแอสฟัลท์ซีเมนต์เคลือบที่ผิวมวลรวม ทำให้การยึดเกาะระหว่างสารเชื่อมประสานและมวลรวมมีค่าลดลง [11,12]

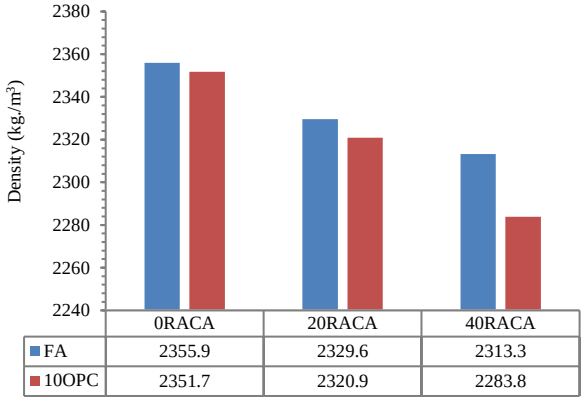
สำหรับตัวอย่างที่แทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเถ้าลอย ส่วนผสม FA 10OPC (0RACA), FA 10OPC (20RACA) และ FA 10OPC (40RACA) มีกำลังอัดเท่ากับ 431.4, 386.9 และ 321.4 กก./ตร.ซม. โดยมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.7, 7.7 และ 2.5 ของกำลังอัดจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดเนื่องจากไอออนของแคลเซียมอิสระจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และซิลิกาและอะลูมินาที่ชะละลายจากเถ้าลอยทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ C-S-H และ C-A-S-H โดยอยู่รวมกันกับผลิตภัณฑ์ของจีโอโพลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งเป็นสารเชื่อมประสาน [13,14] ทำให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัดได้มากขึ้น



	0RACA	20RACA	40RACA
FA	389.6	359.1	313.4
10OPC	431.4	386.9	321.4

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตแสดงดังรูปที่ 4 เมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักมวลรวมธรรมชาติ ความหนาแน่นวัสดุมีค่าลดลงร้อยละ 1.1 และ 1.8 ตามลำดับ เนื่องจากมวลรวมธรรมชาติถูกแทนที่ด้วยมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลซึ่งมีความหนาแน่นที่น้อยกว่า

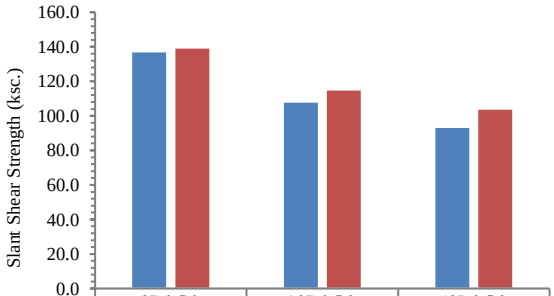


	0RACA	20RACA	40RACA
FA	2355.9	2329.6	2313.3
10OPC	2351.7	2320.9	2283.8

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล

3.2 กำลังเฉือน

ผลการทดสอบกำลังเฉือนจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตทีมีส่วนผสมของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลแสดงดังรูปที่ 5 แท่งตัวอย่างวิบัติที่ระนาบรอยต่อระหว่างแท่งคอนกรีตจำลองและจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 6 ส่วนผสม FA (0RACA), FA (20RACA) และ FA (40RACA) มีกำลังเฉือนเท่ากับ 136.8, 107.7 และ 93.0 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักมวลรวมหยาบธรรมชาติ กำลังเฉือนมีค่าลดลงร้อยละ 21.3 และ 32.0 ตามลำดับ กำลังเฉือนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล กำลังเฉือนที่ลดลงเนื่องจากมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมีแอสฟัลท์ซีเมนต์เคลือบที่ผิวมวลรวม ทำให้การยึดเกาะระหว่างสารเชื่อมประสานและมวลรวมมีค่าลดลง

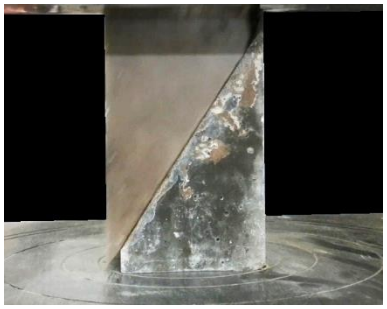


	0RACA	20RACA	40RACA
FA	136.8	107.7	93.0
10OPC	138.9	114.7	103.6

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉือนและปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล

สำหรับตัวอย่างที่แทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเถ้าลอย ส่วนผสม FA 10OPC (0RACA), FA 10OPC (20RACA) และ FA 10OPC (40RACA) มีกำลังเฉือนเท่ากับ 138.9, 114.7 และ 103.6

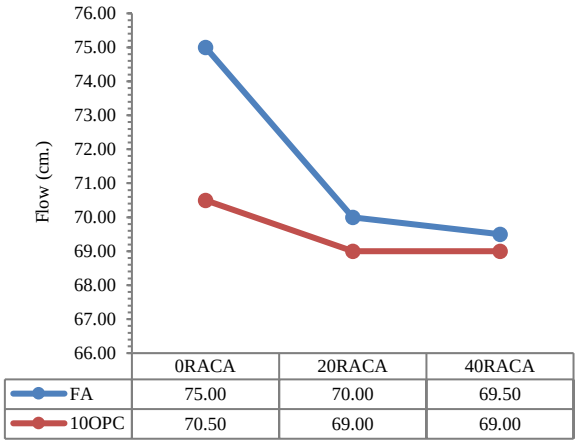
กก./ตร.ซม. โดยมีกำลังเฉือนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5, 6.5 และ 11.4 ของกำลังเฉือนจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ C-S-H และ C-A-S-H โดยอยู่รวมกันกับผลิตภัณฑ์ N-A-S-H ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของจีโอโพลิเมอร์ไรเซชัน การเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานทั้งสองชนิด ช่วยเพิ่มกำลังในบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุทั้งสองส่วน [15]



รูปที่ 6 ลักษณะการวิบัติของแท่งตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต

3.3 ความสามารถการทำงานได้

ผลการทดสอบการไหลแผ่จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลแสดงดังรูปที่ 7 ส่วนผสม FA (0RACA), FA (20RACA) และ FA (40RACA) มีค่าการไหลแผ่เท่ากับ 75.0, 70.0 และ 69.5 ซม. ตามลำดับ การไหลแผ่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล เนื่องจากพื้นผิวของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมีลักษระขรุขระมากกว่าผิวมวลรวมหยาบธรรมชาติ [11,12] และอาจเป็นผลจากความหนืดของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่เคลือบผิวมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล [11,12,16]



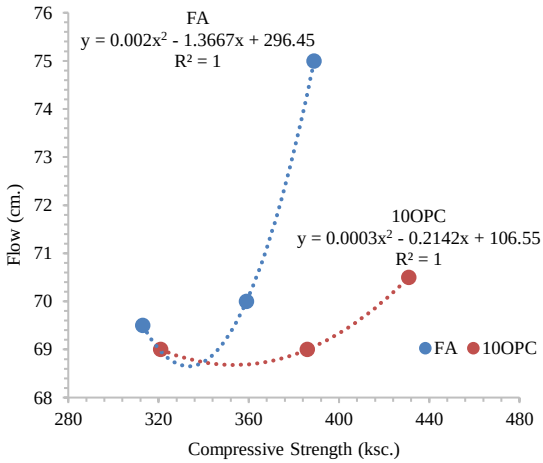
	0RACA	20RACA	40RACA
FA	75.00	70.00	69.50
10OPC	70.50	69.00	69.00

รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลแผ่และปริมาณมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิล

เมื่อแทนที่ปูเถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเถ้าลอย ส่วนผสม FA 10OPC (0RACA), FA 10OPC (20RACA) และ FA 10OPC (40RACA) มีค่าการไหลแผ่เท่ากับ 70.5, 69.0 และ 69.0 ซม. โดยค่าการไหลแผ่ลดลงร้อยละ 6.0, 1.4 และ 0.7 ตามลำดับ เนื่องจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีปริมาณ CaO สูง ทำให้จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตมีปริมาณแคลเซียมสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมช่วยเร่งระยะเวลาก่อตัว [17] นอกจากนี้แคลเซียมที่เพิ่มขึ้นเป็นแหล่งของการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญสำหรับการเกิดผลิตภัณฑ์ของสารละลายซึ่งเพิ่มอัตราการแข็งตัวและทำให้การก่อตัวเกิดเร็วขึ้น [14]

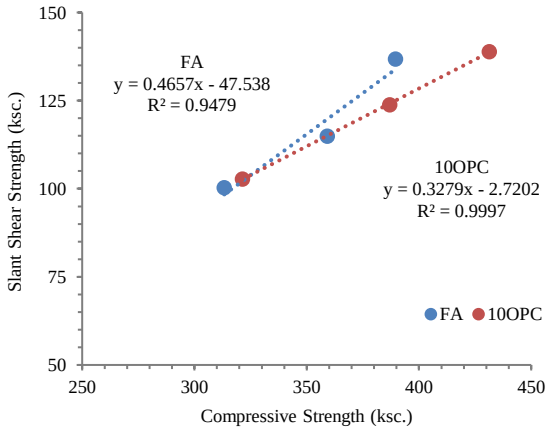
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด, กำลังเฉือนและความสามารถการทำงานได้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลแผ่และกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลแผ่และกำลังอัด

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉือนและกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังเฉือนจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต

4. สรุป

1. เมื่อแทนที่มวลรวมธรรมชาติด้วยมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมากขึ้นร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักมวลรวมธรรมชาติ กำลังอัดมีค่าลดลงร้อยละ 7.8 และ 19.6 ตามลำดับ กำลังอัดที่ลดลงเนื่องจากมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมีแอสฟัลท์ซีเมนต์เคลือบที่ผิวมวลรวม ทำให้การยึดเกาะระหว่างสารเชื่อมประสานและมวลรวมมีค่าลดลง

2. เมื่อปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุโดยแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเถ้าลอย ส่วนผสม FA 10OPC (0RACA), FA 10OPC (20RACA) และ FA 10OPC (40RACA) มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.7, 7.7 และ 2.5 ของกำลังกำลังอัดจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

3. เมื่อแทนที่มวลรวมธรรมชาติด้วยมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมากขึ้นร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักมวลรวมธรรมชาติ กำลังเฉือนมีค่าลดลงร้อยละ 21.3 และ 32.0 ตามลำดับ

4. เมื่อปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุโดยแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเถ้าลอย ส่วนผสม FA 10OPC (0RACA), FA 10OPC (20RACA) และ FA 10OPC (40RACA) มีกำลังเฉือนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5, 6.5 และ 11.4 ของกำลังกำลังอัดจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

5. เมื่อแทนที่มวลรวมธรรมชาติด้วยมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมากขึ้นร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักมวลรวมธรรมชาติ การไหลแผ่มีค่าลดลงร้อยละ 6.7 และ 7.3 ตามลำดับ การไหลแผ่ที่ลดลงเนื่องจากพื้นผิวของมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมีลักษระขรุขระมากกว่าผิวมวลรวมหยาบธรรมชาติ

6. เมื่อแทนที่มวลรวมธรรมชาติด้วยมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลมากขึ้นร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักมวลรวมธรรมชาติ ความหนาแน่นวัสดุมีค่าลดลงร้อยละ 1.1 และ 1.8 ตามลำดับ เนื่องจากมวลรวมธรรมชาติถูกแทนที่ด้วยมวลรวมแอสฟัลท์คอนกรีตรีไซเคิลซึ่งมีความหนาแน่นที่น้อยกว่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2555). ปูนซีเมนต์ปอซโซลาน และคอนกรีต. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.), หน้า 11 – 15.

[2] อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ (2560). วัสดุจีโอโพลิเมอร์. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.), หน้า 69.

[3] ASTM C618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, www.astm.org.

[4] Posi, P., Ridtirud, C., Ekvong, C., Chammanee, D., Janthowong, K and Chindaprasirt, P. (2015). Properties of lightweight high calcium fly ash geopolymer concretes containing recycled packaging foam. Construction and Building Materials. 94, pp.408-413.

[5] Posi, P., Thongjapo, P., Thamultree, N., Boontee, P., Kasemsiri, P. and Chindaprasirt, P. (2016). Pressed lightweight fly ash-OPC geopolymer concrete containing recycled lightweight concrete aggregate. Construction and Building Materials. 127, pp.450-456.

[6] Chindaprasirt, P., Chreerat, T. and Sirivivatnanon, V. (2007). Workability and Strength of Coarse High Calcium Fly Ash Geopolymer. Cement and Concrete Composites, 8(29), pp.224-229.

[7] ASTM C1611 / C1611M-18, Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org.

[8] BS EN 12390: Part 3, Testing hardened concrete, Compressive strength of test specimens, British Standards Institution, London, 2009.

[9] ASTM C882 / C882M-13a, Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org.

[10] ASTM C138 / C138M-17a, Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.

[11] Khodair, Y. and Luqman. (2017). Self-compacting concrete using recycled asphalt pavement and recycled concrete aggregate. Journal of Building Engineering, 12, pp.282-287.

[12] Khodair, Y. and Raza, M. (2017). Sustainable self-consolidating concrete using recycled asphalt pavement and high volume of supplementary cementitious materials. Construction and Building Materials, 131, pp.245-253.

[13] Chindaprasirt, P., Phoo-ngernkhamc, T., Hanjitsuwand, S., Horpibulsuke, S., Poowancumf A. and Injorhor, B. (2018). Effect of calcium-rich compounds on setting time and strength development of alkali-activated fly ash cured at ambient temperature. Case Studies in Construction Materials, 9. E00198.

[14] Pangdaeng, S., Phoo-ngernkham, T., Sata V. and Chindaprasirt, P. (2014). Influence of curing conditions on properties of high calcium fly ash geopolymer containing Portland cement as additive. Materials and Design, 53, pp.269-274.

[15] Phoo-ngernkham, T., Sata, V., Hanjitsuwan, S., Ridtirud, C., Hatanaka S. and Chindaprasirt, P. (2015). High calcium fly ash geopolymer mortar containing Portland cement for use as repair material. Construction and Building Materials. 98, pp.482-488.

[16] Papakonstantinou, C. (2018). Resonant column testing on Portland cement concrete containing recycled asphalt pavement (RAP) aggregates. Construction and Building Materials. 173, pp.419-428.

[17] Chindaprasirt, P., Silva, P., Sagoe-Crentsil, K and Hanjitsuwan, S. (2012). Effect of SiO2 and Al2O3 on the setting and hardening of high calcium fly ash-based geopolymer systems. Journal of Materials Science. 47, pp.4876-4883.