Improvement of Recycled Concrete Aggregate Properties using Alkali-Activated Binder Treatment

1,

[1,2,3,4,5,6,7,8] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
[9] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
*Corresponding author; E-mail address: Tanakorn.ph@rmuti.ac.th

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้วัสดุเคลือบผิวมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลต่อสมบัติของคอนกรีต โดยมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิว 3 ชนิด ประกอบด้วย ซีเมนต์เพสต์ วัสดุอัลคาไลจากเถ้าลอยแคลเซียมสูง และวัสดุอัลคาไลจากเถ้าลอยแคลเซียมสูงผสมโดโลไมท์ ซึ่งมวลรวมหยาบธรรมชาติถูกแทนที่ด้วยมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยดำเนินการตรวจสอบสมบัติของวัสดุเคลือบผิวและคอนกรีต จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเคลือบมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเป็นมวลรวมทางเลือกในการแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติซึ่งเป็นการทำให้คอนกรีตมีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการเคลือบผิวมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตได้เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม

คำสำคัญ: วัสดุเคลือบผิว, วัสดุอัลคาไล, มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล, สมบัติเชิงกล

Abstract

This article studies on the effects of using paste-treated recycled concrete aggregate (RCA) on the characteristics of concrete. Cement paste, alkali-activated high-calcium fly ash paste, and alkali-activated high-calcium fly ash paste containing dolomite paste were used to treat recycled concrete aggregate. Natural concrete aggregate (NCA) was substituted with RCA at weight percentages of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. The properties of coating material and concrete were investigated. The experimental results indicated that using treated RCA in replacement of NCA is a viable alternative material for replacing nonrenewable natural resource components in concrete, as well as making it more sustainable and ecologically friendly. As RCA was surface treated with coating materials, the characteristics of the concrete were substantially enhanced when compared to the control mix.

Keywords coating material, alkali-activated material, recycled concrete aggregate, mechanical properties

1.

ปัจจุบันทั่วโลกได้มีการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง อาคารบ้านเรือน โดยวัสดุหลักที่ใช้ส่วนมากจะเป็นคอนกรีต ซึ่งคอนกรีตเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีความสะดวกในการเตรียมและการใช้งาน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้คำนึงถึงความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ทำให้มีการปล่อย CO2 ประมาณ 1 ตัน สู่ชั้นบรรยากาศโลก

ในปัจจุบันมีความพยายามผลิตคอนกรีตสีเขียวหรือคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถผลิตได้โดยการรวมวัสดุรีไซเคิลหรือขยะอุตสาหกรรมแทนการใช้มวลรวมธรรมชาติ การใช้คอนกรีตที่มาจากการรื้อถอนเป็นมวลรวม (เรียกว่ามวลรวมรีไซเคิล) ในการก่อสร้างใหม่ ซึ่งการใช้งานมวลรวมรีไซเคิลยังคงมีการใช้ในปริมาณไม่มาก เนื่องด้วยมวลรวมรีไซเคิลจะมีการดูดน้ำที่บริเวณผิวค่อนข้างมาก จึงส่งผลเสียต่อภาพรวมของคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามยังมีนักวิจัยชาวไทยได้พยายามศึกษาการใช้มวลรวมรีไซเคิลอย่างจริงจังเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้งาน เช่น อำพล วงศ์ษา [1] ได้นำเศษคอนกรีตเป็นส่วนผสมในคอนกรีตพรุนสำหรับงานถนน และสุรศักดิ์ ภู่สันติพงษ์ และคณะ [2] พบว่า การใช้มวลรวมรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบร้อยละ 20 เป็นปริมาณการใช้ที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมาก ดังนั้น Liang et al. [3] จึงมีแนวคิดปรับปรุงคุณภาพของมวลรวมรีไซเคิลก่อนนำไปใช้เป็นมวลรวมหยาบในส่วนผสมของคอนกรีตด้วยการเคลือบผิวมวลรวมรีไซเคิลโดยซีเมนต์เพสต์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิวมวลรวมรีไซเคิลด้วยซีเมนต์เพสต์ ก่อนนำไปใช้เป็นมวลรวมหยาบ ช่วยลดการดูดน้ำของมวลรวมรีไซเคิลและช่วยปรับปรุงกำลังอัดของคอนกรีตได้

จากการสำรวจงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพของมวลรวมรีไซเคิลด้วยการเคลือบซีเมนต์เพสต์ พบว่า มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพของมวลรวมรีไซเคิลด้วยการเคลือบผิวก่อนนำไปใช้เป็นมวลรวมหยาบน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ส่งผลให้ขาดข้อมูลที่สำคัญต่อการใช้ในงานก่อสร้าง ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Liang et al. [3] ศึกษาการใช้ซีเมนต์เพสต์เคลือบผิวมวลรวมรีไซเคิล พบว่า การประสานระหว่างมวลรวมรีไซเคิลกับซีเมนต์เพสต์ ยังไม่ดีเท่าที่ควรจะเป็น ดังนั้น การพัฒนาวัสดุเคลือบผิวจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความจำเป็นหากต้องการใช้งานมวลรวมรีไซเคิลให้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

จีโอโพลิเมอร์เป็นการพัฒนาวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประสาน ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของซิลิกา (SiO2) และอะลูมินา (Al2O3) เป็นองค์ประกอบหลัก และทำการกระตุ้นด้วยสารละลายด่างในการเร่งปฏิกิริยา จากงานวิจัย

ที่ผ่านมา พบว่า จีโอโพลิเมอร์จะมีการยึดแน่นกับคอนกรีตเดิมดีมากเนื่องด้วยปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่บริเวณผิวหน้าของคอนกรีตสามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาและอะลูมินาจากวัสดุตั้งต้นส่งผลให้สามารถปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับจีโอโพลิเมอร์ [4]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จะเป็นการใช้เทคนิคการเคลือบผิวด้วยวัสดุอัลคาไลเพื่อปรับปรุงสมบัติของมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล และจะดำเนินการทดสอบ 2 ส่วนหลัก คือ (1) ทดสอบคุณสมบัติซีเมนต์เพสต์และจีโอโพลิเมอร์เพสต์สำหรับใช้เป็นวัสเคลือบผิวมวลรวมรีไซเคิล และ (2) ความสามารถทำงานได้และกำลังอัด ผลการทดสอบที่ได้รับจะเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญต่อการใช้งานมวลรวมรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบต่อไปในอุตสาหกรรมก่อสร้างประเทศไทย

2.

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 ไมครอน ขนาดอนุภาคเท่ากับ 15.0 ไมครอน

2.1.2 เถ้าลอย (FA) จากการไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 ไมครอน ขนาดอนุภาคเท่ากับ 15.5 ไมครอน

2.1.3 โดโลไมท์ (DLM) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.795 ไมครอน ขนาดอนุภาคเท่ากับ 20.2 ไมครอน

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย โดโลไมท์และปูนซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก)

Chemical compositions (%)	FA	DLM	PC
SiO_2	36.94	10.64	20.80
Al_2O_3	18.09	1.19	4.70
Fe_2O_3	11.90	0.47	-
CaO	21.42	44.55	86.14
MgO	2.77	3.09	0.36
Na_2O	1.41	0.03	0.39
K_2O	2.27	0.15	0.10
SO_3	2.90	0.13	2.90
LOI	1.54	39.57	0.90

สมบัติของมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย

Properties	RS	NCA	RCA
Specific gravity (S_G)	2.65	2.74	2.44
Dry-rodded density (kg/m^3)	1515	1550	13.26
Fineness modulus (FM)	2.40	6.50	6.44
Water absorption (%)	0.10	0.66	7.54
Void (%)	39.60	43.60	45.55

2.1.4 มวลรวมละเอียด จากอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา

2.1.5 มวลรวมหยาบธรรมชาติ (NCA) ขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1/2 นิ้ว

2.1.6 มวลรวมรีไซเคิลจากเศษคอนกรีต (RCA) ขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1/2 นิ้ว ซึ่งมาจากเศษคอนกรีตในงานรื้อผิวถนนของกรมทางหลวงประเทศไทย ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 35-45 เมกะปาสคาล

2.1.7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 โมลาร์

2.1.8 สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีของ Na_2O เท่ากับร้อยละ 13.89 SiO_2 เท่ากับร้อยละ 32.15 และ H_2O เท่ากับร้อยละ 53.96

2.2 การปรับปรุงสมบัติของมวลรวมรีไซเคิล

นำเศษคอนกรีตที่ได้จากการรื้อถอนโครงสร้างคอนกรีตมาย่อยให้ได้ขนาด 1/2 นิ้วและ 3/8 นิ้ว และล้างให้สะอาด หลังจากนั้นนำเศษคอนกรีตที่ผ่านการย่อยและแยกแล้วมาปิดโพรงอากาศด้วยการเคลือบเศษคอนกรีตด้วยซีเมนต์เพสต์ และจีโอพอลิเมอร์เพสต์ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนผสม ประกอบด้วย (1) เถ้าลอยร้อยละ 100 เรียกว่า AHF และ (2) เถ้าลอยร้อยละ 95 โดโลไมท์ร้อยละ 5 เรียกว่า AHFD โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 10 โมลาร์ อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0 และอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวดังแสดงในตารางที่ 3

ขั้นตอนในการเคลือบผิวแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 1 การเตรียมเพสต์ของ CP, AHF และ AHFD โดยส่วนผสม CP ดำเนินการตาม ASTM C305-50 [5] สำหรับส่วนผสมของ AHF และ AHFD เพสต์ เริ่มต้นโดยการผสมวัสดุตั้งต้นที่เป็นของแข็งประมาณ 1 นาทีให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียมซิลิเกตและทำการผสมต่อประมาณ 2 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Mix symbol	CP	AHF	AHFD
PC (kg)	1223	-	-
FA (kg)	-	1380	1313
DLM (kg)	-	-	70
NaOH (kg)	-	345	346
Na_2SiO_3 (kg)	-	345	346
Water (kg)	612	138	139

ส่วนผสมของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Mix symbol	PC (kg)	RS (kg)	NCA (kg)	RCA (kg)	Paste-coated RCA (kg)			Water (kg)	SP (kg)
					CP	AHF	AHFD		
CON	467	810	872	-	-	-	-	226	-
25RCA	467	810	654	196	-	-	-	226	-
50RCA	467	810	436	391	-	-	-	226	0.94
75RCA	467	810	218	587	-	-	-	226	1.40
100RCA	467	810	-	782	-	-	-	226	
25RCA-CP	467	810	654	-	190	-	-	226	0.47
50RCA-CP	467	810	436	-	380	-	-	226	0.94
75RCA-CP	467	810	218	-	570	-	-	226	0.94
100RCA-CP	467	810	-	-	760	-	-	226	1.40
25RCA- AHF	467	810	654	-	-	179	-	226	-
50RCA- AHF	467	810	436	-	-	359	-	226	-
75RCA- AHF	467	810	218	-	-	538	-	226	-
100RCA- AHF	467	810	-	-	-	718	-	226	-
25RCA- AHFD	467	810	654	-	-	-	179	226	-
50RCA- AHFD	467	810	436	-	-	-	359	226	-
75RCA- AHFD	467	810	218	-	-	-	538	226	-
100RCA- AHFD	467	810	-	-	-	-	718	226	-

ขั้นตอนที่ 2 นำมวลรวมหยาบรีไซเคิลเทลงในส่วนผสมของเพสต์แต่ละประเภท และทำการผสมประมาณ 2 นาทีให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวไปวางในกระสอบในสภาวะอุณหภูมิปกติ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สำหรับกรณีการเคลือบผิวด้วย CP เพสต์ และเป็นเวลา 1 ชั่วโมงสำหรับกรณีการเคลือบผิวด้วย AHF เพสต์ โดยระยะเวลาที่เลือกนั้นมาจากผลของระยะเวลาก่อตัวท้ายของวัสดุเคลือบผิวแต่ละประเภท หลังจากนั้นนำมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มี

การเคลือบผิวแล้วจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาใช้ในส่วนผสมเพื่อเป็นมวลรวมหยาบ

2.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

คอนกรีตถูกออกแบบกำลังอัดที่อายุการบ่มเท่ากับ 28 วัน เท่ากับ 35 เมกะปาสคาล ตามมาตรฐาน ACI 211.91 [6] ที่มีค่าความข้นเหลวของคอนกรีตเท่ากับ 10 2.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งวัสดุมวลรวมหยาบธรรมชาติถูกแทนที่ด้วยมวลรวมหยาบรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก

2.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตดำเนินการเตรียมตัวอย่างและทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39 [7] การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตจะใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร และเก็บตัวอย่างไว้ห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 2 องศาเซลเซียส จนครบอายุการทดสอบที่อายุการบ่มเท่ากับ 7, 28 วันและ 60 วัน

3.

3.1 สมบัติของวัสดุเคลือบผิวของมวลรวมหยาบรีไซเคิล

ตารางที่ 5 แสดงสมบัติของมวลรวมหยาบรีไซเคิลกับวัสดุเคลือบผิว ซึ่งกรณีที่มวลรวมหยาบรีไซเคิล มีการเคลือบผิวด้วย CP เพสต์ มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.31 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1388 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 3.25 และช่องว่างร้อยละ 41.32 ส่วนมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวด้วย AHF เพสต์ มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.25 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1360 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.10 และช่องว่างร้อยละ 39.30 ขณะที่การเคลือบผิวด้วย AHFD เพสต์ มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.24 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1357 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.55 และช่องว่างร้อยละ 39.16

ตารางที่ 5 การเคลือบผิวของมวลรวมหยาบรีไซเคิลช่วยทำให้ความหนาแน่นแห้งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับ มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิวดังแสดงในตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึมน้ำ และปริมาณรูพรุนของมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิว นอกจากนี้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวจะมีปริมาณรูพรุนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิวซึ่งหมายความถึงเทคนิควิธีการเคลือบผิววัสดุส่งผลทำให้มวลรวมหยาบรีไซเคิลมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ลดลง

จากตารางที่ 6 พบว่า ระยะเวลาก่อตัวของวัสดุเคลือบผิวประเภท AHF และ AHFD เพสต์ มีระยะเวลาสั้นกว่าเมื่อเทียบกับ CP เพสต์ เนื่องจากความแตกต่างของการเกิดปฏิกิริยาภายในระบบของปูนซีเมนต์และวัสดุอัลคาไล [10] นอกจากนี้ CP เพสต์จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดเริ่มต้นที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับ AHF และ AHFD อาจเนื่องจากปริมาณน้ำที่ใส่เพิ่มเติมในส่วนผสม AHF และ AHFD ดังแสดงในตารางที่ 3 เพื่อปรับปรุงความสามารถทำงานได้ โดยการเพิ่มน้ำในส่วนผสมของวัสดุจีโอโพลิเมอร์จะช่วยปรับปรุงค่าการไหลตัวแต่ก็จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นมีแนวโน้มลดลง [11]

5 สมบัติของมวลรวมหยาบรีไซเคิลเมื่อเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวแต่ละประเภท

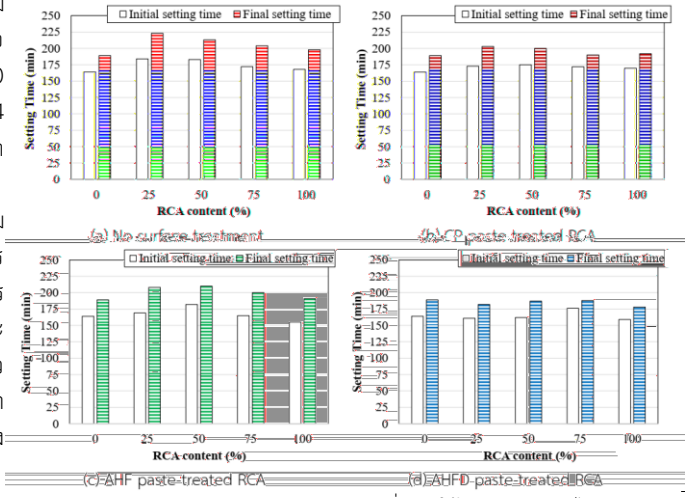
Properties	CP-treated RCA	AHF-treated RCA	AHFD-treated RCA
Specific gravity (S_G)	2.31	2.25	2.24
Dry-rodded density (kg/m^3)	1389	1360	1357
Fineness modulus (FM)	6.57	6.59	6.59
Water absorption (%)	3.25	2.10	2.55
Void (%)	41.32	39.30	39.16

สมบัติของวัสดุเคลือบผิว

Properties	CP	AHF	AHFD
Initial setting time (min)	265	15	10
Final setting time (min)	337	40	33
1-day compressive strength (MPa)	13.4	7.8	8.0

3.2 ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีต

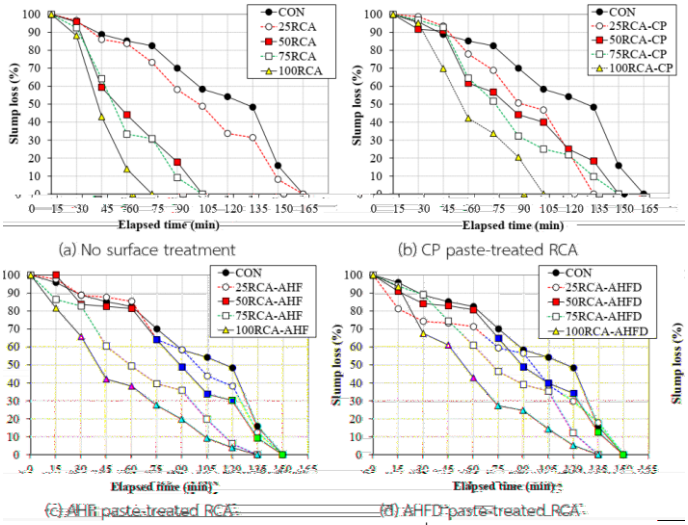
จากรูปที่ 1 พบว่า ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณมวลรวมหยาบรีไซเคิลยกเว้นกรณีที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบด้วย AHFD เพสต์ ซึ่งคอนกรีตสดที่มีการใช้ AHFD เพสต์เป็นวัสดุเคลือบผิวมวลรวมหยาบรีไซเคิลส่งผลทำให้ระยะเวลาการก่อตัวมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิว



1 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตสดที่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลและแปรผันวัสดุเคลือบผิว

คอนกรีตสดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้น โดยค่าการยุบตัวของคอนกรีตควบคุม (คอนกรีตที่ไม่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิล) มีค่า zero slump ที่ 150 นาที หลังจากการผสม สำหรับส่วนผสมที่มีปริมาณมวลรวมหยาบรีไซเคิลร้อยละ 50-100 ที่ไม่มีการเคลือบผิวจะมีค่าการยุบตัวมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่า zero slump ที่ระหว่าง 60-90 นาที เนื่องด้วยมวลรวมหยาบรีไซเคิลมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วในระบบคอนกรีต [9] สำหรับส่วนผสมใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวด้วย CP เพสต์ร้อยละ 25-75 มีค่า zero slump ที่ระหว่าง 90-120 นาที และการแทนที่มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวด้วย CP เพสต์ร้อยละ 100 จะมีค่า

zero slump เท่ากับ 60 นาที ขณะที่ส่วนผสมคอนกรีตที่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวด้วย AHF และ AHFD เพสต์ จะมีค่า zero slump ที่ระหว่าง 135-150 นาที แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงอนุภาคมวลรวมหยาบรีไซเคิลโดยการเคลือบผิวเป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานได้โดยการลดปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีต เนื่องด้วยค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิว

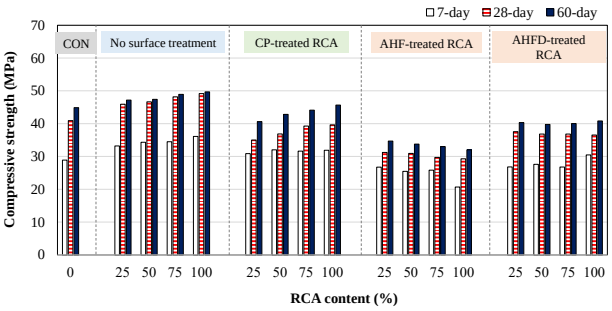


2 การสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลและแปรผันวัสดุเคลือบผิว

3.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากรูปที่ 3 พบว่า ส่วนผสมที่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบรีไซเคิลสูง (ร้อยละ 7.54) เมื่อเปรียบเทียบกับมวลรวมหยาบธรรมชาติ (ร้อยละ 0.66) การที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงเป็นสาเหตุทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในระบบคอนกรีต อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุเท่ากับ 60 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุเท่ากับ 28 วัน งานวิจัยของ Kroehong et al. [12] ได้รายงานไว้ว่าสารประกอบ $Ca(OH)_2$ ในปูนซีเมนต์เพสต์จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาภายในระบบมากขึ้นและเป็นสาเหตุทำให้เกิดการขยายตัวและเกิดรอยร้าวของคอนกรีต โดย Kroehong et al. [12] และ Dimitriou et al. [13] แนะนำว่าการใช้วัสดุปอซโซลานจะช่วยลดปริมาณสารประกอบ $Ca(OH)_2$ ได้ และส่งผลเชิงบวกต่อการพัฒนากำลังอัดที่อายุปลายของคอนกรีต

การศึกษาผลของสารเคลือบผิวมวลรวมหยาบรีไซเคิล พบว่า การใช้ CP เพสต์มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงมากกว่าการเคลือบผิวด้วย AHF และ AHFD เนื่องจากการก่อตัวที่รวดเร็วของ AHF และ AHFD ดังแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่มเท่ากับ 1 วัน ของ AHF และ AHFD เพสต์ มีค่าต่ำกว่า CP เพสต์ ส่งผลต่อความแข็งแรงของมวลรวมหยาบที่ใช้ในส่วนผสม แต่อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าลอยและโดโลไมท์จะช่วยเพิ่มความสามารถยึดเกาะของวัสดุอัลคาไลกับมวลรวมหยาบรีไซเคิลได้ ขณะที่อนุภาคซีเมนต์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาในมวลรวมหยาบรีไซเคิลในระหว่างการบดคอนกรีตเก่าสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและซิลิกาและอะลูมินาจาก เถ้าลอย และโดโลไมท์และเกิดเป็นปฏิริยาไฮเดรชันที่บริเวณจุดสัมผัส [14]



3 กำลังอัดของคอนกรีตที่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลและแปรผันวัสดุเคลือบผิว

4.

จากผลการทดสอบสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ว่า

4.1 การเคลือบผิวมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตได้เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม เนื่องด้วยการเคลือบผิวของมวลรวมหยาบรีไซเคิลช่วยทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณรูพรุนต่ำกว่ามวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิว

4.2 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณมวลรวมหยาบรีไซเคิล ขณะที่คอนกรีตสดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้น

4.3 การใช้ CP เพสต์มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงมากกว่าการเคลือบผิวด้วย AHF และ AHFD เนื่องจากการก่อตัวที่รวดเร็วของ AHF และ AHFD

4.4 การเคลือบมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเป็นมวลรวมทางเลือกในการแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติซึ่งเป็นการทำให้คอนกรีตมีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยงานบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคนและทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม เลขที่สัญญา B05F630106

[1] อำพล วงศ์ษา. (2556). *การใช้เศษวัสดุเป็นส่วนผสมในคอนกรีตพรุน.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[2] สุรศักดิ์ ภู่สันติพงษ์, รักษ์ บูรณสิงห์ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2547). การใช้คอนกรีตที่ทดสอบกำลังอัดแล้วเพื่อเป็นมวลรวมของคอนกรีต. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 15, ฉบับที่ 3, หน้า 22-31.

[3] Liang, Y.C., Ye, Z.M., Vernerey, F. and Xi, Y. (2015). Development of Processing Methods to Improve Strength of Concrete with 100% Recycled Coarse Aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(5), pp. 04014163.

[4] Phoo-ngernkham, T., Hanjitsuwan, S., Li, L.Y., Damrongwiriyanupap, N. and Chindaprasirt, P. (2019). Adhesion characterization of Portland cement concrete and alkali-activated binders under different types of calcium promoters. *Advances in Cement Research*, 31(2), pp. 69-79.

[5] ASTM C305-20. (2020). *Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency*. Annual Book of ASTM Standard, pp. 179-185.

[6] ACI 211.1-91. (1991). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*. American Concrete Institute, pp. 1-38.

[7] ASTM C39/C39M-21. (2021). *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. Annual Book of ASTM Standard, pp. 1-7.

[8] Rattanachu, P., Tangchirapat, W. and Jaturapitakkul, C. (2019). Water Permeability and Sulfate Resistance of Eco-Friendly High-Strength Concrete Composed of Ground Bagasse Ash and Recycled Concrete Aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(6), pp. 04019093.

[9] Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Fok, H. and Kou, SC. (2004). Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), pp. 31-36.

[10] Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes,