

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

ธนกร ภูเงินข้า<sup>1,\*</sup> กมลภพ ชันธสัมฤทธิ์<sup>2</sup> จิตติณัฐ ปล่องกระโทก<sup>3</sup> ทศพร ศรีคำมา<sup>4</sup> ฉัตรพริกา เพียงพิมาย<sup>5</sup> ชัตติย ชมพวงค์<sup>6</sup> ชูดาภัก เดชพันธ์<sup>7</sup>  
ศศคุณ เดชพันธ์<sup>8</sup> และ ญัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนภาพ<sup>9</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup> หน่วยวิจัยเทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.นครราชสีมา

<sup>9</sup> สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

\*Corresponding author; E-mail address: Tanakorn.ph@rmuti.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้วัสดุเคลือบผิวมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลต่อสมบัติของคอนกรีต โดยมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิว 3 ชนิด ประกอบด้วย ซีเมนต์เพสต์ วัสดุอัลคาไลจากเถ้าลอยแคลเซียมสูง และ วัสดุอัลคาไลจากเถ้าลอยแคลเซียมสูงผสมโดโลไมท์ ซึ่งมวลรวมหยาบธรรมชาติถูกแทนที่ด้วยมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยดำเนินการตรวจสอบสมบัติของวัสดุเคลือบผิวและคอนกรีต จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า 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. คำนำ

ปัจจุบันทั่วโลกได้มีการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง อาคารบ้านเรือน โดยวัสดุหลักที่ใช้ส่วนมากจะเป็นคอนกรีต ซึ่งคอนกรีตเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีความสะดวกในการเตรียมและการทำงาน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้คำนึงถึงความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ทำให้มีการปล่อย CO<sub>2</sub> ประมาณ 1 ตัน สู่อากาศโลก

ในปัจจุบันมีความพยายามผลิตคอนกรีตสีเขียวหรือคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถผลิตได้โดยการรวมวัสดุรีไซเคิลหรือขยะอุตสาหกรรมแทนการใช้มวลรวมธรรมชาติ การใช้คอนกรีตที่มาจากกรรไกรหรือคอนกรีตรวม (เรียกว่ามวลรวมรีไซเคิล) ในการก่อสร้างใหม่ ซึ่งการใช้งานมวลรวมรีไซเคิลยังคงมีการใช้ในปริมาณไม่มาก เนื่องจากมวลรวมรีไซเคิลจะมีการดูดน้ำที่บริเวณผิวค่อนข้างมาก จึงส่งผลเสียต่อสภาพรวมของคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามยังมีนักวิจัยชาวไทยได้พยายามศึกษาการใช้มวลรวมรีไซเคิลอย่างจริงจังเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้งาน เช่น อำพล วงศ์ษา [1] ได้นำเศษคอนกรีตเป็นส่วนผสมในคอนกรีตพูนสำหรับงานถนน และสุรศักดิ์ ภูสันติพงษ์ และคณะ [2] พบว่า การใช้มวลรวมรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบร้อยละ 20 เป็นปริมาณการใช้ที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมาก ดังนั้น Liang et al. [3] จึงมีแนวคิดปรับปรุงคุณภาพของมวลรวมรีไซเคิลก่อนนำไปใช้เป็นมวลรวมหยาบในส่วนผสมของคอนกรีตด้วยการเคลือบผิวมวลรวมรีไซเคิลโดยซีเมนต์เพสต์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิวมวลรวมรีไซเคิลด้วยซีเมนต์เพสต์ ก่อนนำไปใช้เป็นมวลรวมหยาบ ช่วยลดการดูดน้ำของมวลรวมรีไซเคิลและช่วยปรับปรุงกำลังอัดของคอนกรีตได้

จากการสำรวจงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพของมวลรวมรีไซเคิลด้วยการเคลือบซีเมนต์เพสต์ พบว่า มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพของมวลรวมรีไซเคิลด้วยการเคลือบผิวก่อนนำไปใช้เป็นมวลรวมหยาบน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ส่งผลให้ขาดข้อมูลที่สำคัญต่อการใช้งานก่อสร้าง ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Liang et al. [3] ศึกษาการใช้ซีเมนต์เพสต์เคลือบผิวมวลรวมรีไซเคิล พบว่า การประสานระหว่างมวลรวมรีไซเคิลกับซีเมนต์เพสต์ ยังไม่เท่าที่ควรจะเป็น ดังนั้น การพัฒนาวัสดุเคลือบผิวจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความจำเป็นหากต้องการใช้งานมวลรวมรีไซเคิลให้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

จีโอโพลิเมอร์เป็นการพัฒนาวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประสาน ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้จากวัสดุที่มีส่วนประกอบของซิลิกา (SiO<sub>2</sub>) และอะลูมินา (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เป็นองค์ประกอบหลัก และทำการกระตุ้นด้วยสารละลายต่างในการเร่งปฏิกิริยา จากงานวิจัย

ที่ผ่านมา พบว่า จีโอโพลิเมอร์จะมีการยึดแน่นกับคอนกรีตเดิมมากเนื่องด้วยปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่บริเวณผิวหน้าของคอนกรีตสามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาและอะลูมินาจากวัสดุตั้งต้นส่งผลให้สามารถปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับจีโอโพลิเมอร์ [4]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จะเป็นการใช้เทคนิคการเคลือบผิวด้วยวัสดุอัลคาไลเพื่อปรับปรุงสมบัติของมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล และจะดำเนินการทดสอบ 2 ส่วนหลัก คือ (1) ทดสอบคุณสมบัติซีเมนต์และจีโอโพลิเมอร์เพสต์สำหรับใช้เป็นวัสดุเคลือบผิวมวลรวมรีไซเคิล และ (2) ความสามารถทำงานได้และกำลังอัด ผลการทดสอบที่ได้รับจะเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญต่อการใช้งานมวลรวมรีไซเคิลเป็นมวลรวมหายาต่อไปในอนาคตก่อสร้างประเทศไทย

## 2. การเตรียมวัสดุและการทดลอง

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 ไมครอน ขนาดอนุภาคเท่ากับ 15.0 ไมครอน

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

2.1.3 โดโลไมท์ (DLM) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.795 ไมครอน ขนาดอนุภาคเท่ากับ 20.2 ไมครอน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแก้วลอย โดโลไมท์และปูนซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก)

Chemical compositions (%)	FA	DLM	PC
SiO <sub>2</sub>	36.94	10.64	20.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.09	1.19	4.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.90	0.47	-
CaO	21.42	44.55	86.14
MgO	2.77	3.09	0.36
Na <sub>2</sub> O	1.41	0.03	0.39
K <sub>2</sub> O	2.27	0.15	0.10
SO <sub>3</sub>	2.90	0.13	2.90
LOI	1.54	39.57	0.90

ตารางที่ 2 สมบัติของมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย

Properties	RS	NCA	RCA
Specific gravity (S <sub>G</sub> )	2.65	2.74	2.44
Dry-rodded density (kg/m <sup>3</sup> )	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 มวลรวมหายาธรรมชาติ (NCA) ขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1/2 นิ้ว

2.1.6 มวลรวมรีไซเคิลจากเศษคอนกรีต (RCA) ขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1/2 นิ้ว ซึ่งมาจากเศษคอนกรีตในงานรื้อถอนของกรมทางหลวงประเทศไทย ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 35-45 เมกะปาสกาล

2.1.7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 โมลาร์

2.1.8 สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีของ Na<sub>2</sub>O เท่ากับร้อยละ 13.89 SiO<sub>2</sub> เท่ากับร้อยละ 32.15 และ H<sub>2</sub>O เท่ากับร้อยละ 53.96

### 2.2 การปรับปรุงสมบัติของมวลรวมรีไซเคิล

นำเศษคอนกรีตที่ได้จากการรื้อถอนโครงสร้างคอนกรีตมาบดให้ได้น้ำหนัก 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว และล้างให้สะอาด หลังจากนั้นนำเศษคอนกรีตที่ผ่านการบดและแยกแล้วมาปิดโพรงอากาศด้วยการเคลือบเศษคอนกรีตด้วยซีเมนต์เพสต์ และจีโอโพลิเมอร์เพสต์ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนผสมประกอบด้วย (1) แก้วลอยร้อยละ 100 เรียกว่า AHF และ (2) แก้วลอยร้อยละ 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 เพลสต์ เริ่มต้นโดยการผสมวัสดุตั้งต้นที่เป็นของแข็งประมาณ 1 นาทีให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียมซิลิเกตและทำการผสมต่อประมาณ 2 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Mix symbol	CP	AHF	AHFD
PC (kg)	1223	-	-
FA (kg)	-	1380	1313
DLM (kg)	-	-	70
NaOH (kg)	-	345	346
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (kg)	-	345	346
Water (kg)	612	138	139

ตารางที่ 4 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 นำมวลรวมหายาไบไซเคิลเทลงในส่วนผสมของเพสต์แต่ละประเภท และทำการผสมประมาณ 2 นาทีให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมวลรวมหายาไบไซเคิลที่มีการเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวไปวางในกระสอบในสภาวะอุณหภูมิปกติ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สำหรับกรณีการเคลือบผิวด้วย CP เพลสต์ และเป็นเวลา 1 ชั่วโมงสำหรับกรณีการเคลือบผิวด้วย AHF เพลสต์ โดยระยะเวลาที่เลือกนั้นมาจากผลของระยะเวลาก่อตัวท้ายของวัสดุเคลือบผิวแต่ละประเภท หลังจากนั้นนำมวลรวมหายาไบไซเคิลที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และมวลรวมหายาไบไซเคิลที่มี

การเคลือบผิวแล้วจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาใช้ในส่วนผสมเพื่อเป็นมวลรวมหยาบ

### 2.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

คอนกรีตถูกออกแบบกำลังอัดที่อายุการบ่มเท่ากับ 28 วัน เท่ากับ 35 เมกะปาสคาล ตามมาตรฐาน ACI 211.91 [6] ที่มีค่าความชื้นเหลวของคอนกรีตเท่ากับ 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 องศาเซลเซียส จนครบอายุการทดสอบที่อายุการบ่มเท่ากับ 7, 28 วัน และ 60 วัน

## 3. ผลการวิจัย

### 3.1 สมบัติของวัสดุเคลือบผิวของมวลรวมหยาบรีไซเคิล

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

ตารางที่ 5 การเคลือบผิวของมวลรวมหยาบรีไซเคิลช่วยทำให้ความหนาแน่นแห้งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับ มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิวดังแสดงในตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึมน้ำ และปริมาณรูพรุนของมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิว นอกจากนี้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวจะมีปริมาณรูพรุนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิวซึ่งหมายความว่าเทคนิควิธีการเคลือบผิววัสดุส่งผลทำให้มวลรวมหยาบรีไซเคิลมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ลดลง

จากตารางที่ 6 พบว่า ระยะเวลาการก่อตัวของวัสดุเคลือบผิวประเภท AHF และ AHFD เฟสท์ มีระยะเวลาสั้นกว่าเมื่อเทียบกับ CP เฟสท์ เนื่องจากความแตกต่างของการเกิดปฏิกิริยาภายในระบบของปูนซีเมนต์และวัสดุอัลคาไล [10] นอกจากนี้ CP เฟสท์จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดเริ่มต้นที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับ AHF และ AHFD อาจเนื่องจากปริมาณน้ำที่ใส่เพิ่มเติมในส่วนผสม AHF และ AHFD ดังแสดงในตารางที่ 3 เพื่อปรับปรุงความสามารถทำงานได้ โดยการเพิ่มน้ำในส่วนผสมของวัสดุโพลีเมอร์จะช่วยปรับปรุงค่าการไหลตัวแต่ก็ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นมีแนวโน้มลดลง [11]

ตารางที่ 5 สมบัติของมวลรวมหยาบรีไซเคิลเมื่อเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวแต่ละประเภท

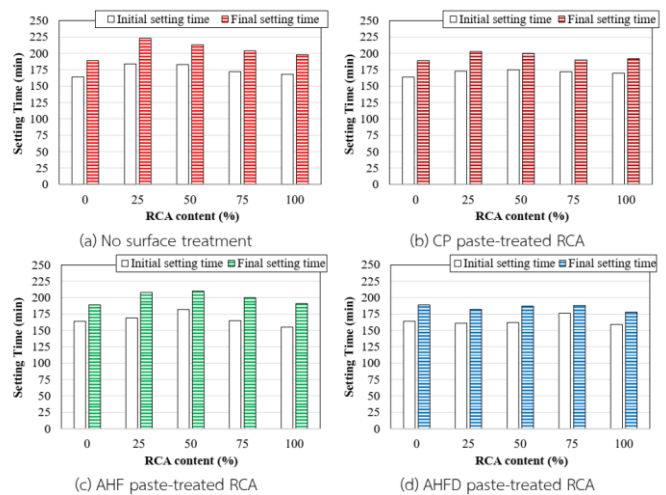
Properties	CP-treated RCA	AHF-treated RCA	AHFD- treated RCA
Specific gravity ( $S_c$ )	2.31	2.25	2.24
Dry-rodded density ( $\text{kg/m}^3$ )	1389	1360	1357
Fineness modulus (FM)	6.57	6.59	6.59
Water absorption (%)	3.25	2.10	2.55
Void (%)	41.32	39.30	39.16

ตารางที่ 6 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

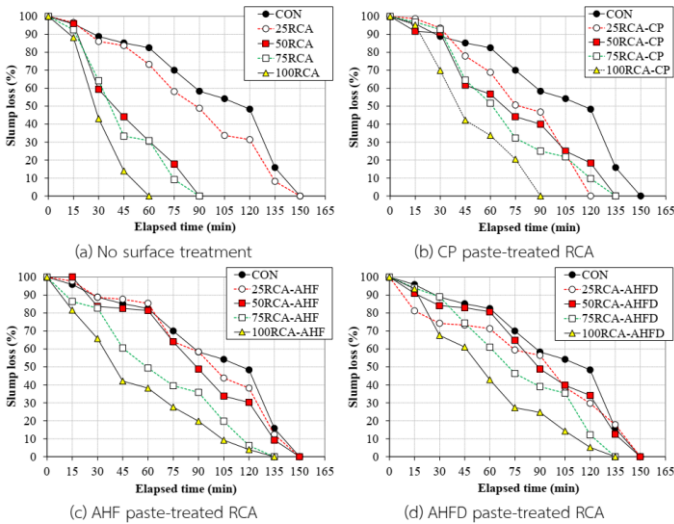
จากรูปที่ 1 พบว่า ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณมวลรวมหยาบรีไซเคิลยกเว้นกรณีที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบด้วย AHFD เฟสท์ ซึ่งคอนกรีตสดที่มีการใช้ AHFD เฟสท์เป็นวัสดุเคลือบผิวมวลรวมหยาบรีไซเคิลส่งผลทำให้ระยะเวลาการก่อตัวมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิว



รูปที่ 1 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตสดที่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลและแปรรูปวัสดุเคลือบผิว

คอนกรีตสดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้น โดยค่าการยุบตัวของคอนกรีตควบคุม (คอนกรีตที่ไม่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิล) มีค่า zero slump ที่ 150 นาที หลังจากการผสม สำหรับส่วนผสมที่มีปริมาณมวลรวมหยาบรีไซเคิลร้อยละ 50-100 ที่ไม่มีการเคลือบผิวจะมีการยุบตัวมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่า zero slump ที่ระหว่าง 60-90 นาที เนื่องด้วยมวลรวมหยาบรีไซเคิลมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็วในระบบคอนกรีต [9] สำหรับส่วนผสมใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวด้วย CP เฟสท์ ร้อยละ 25-75 มีค่า zero slump ที่ระหว่าง 90-120 นาที และการแทนที่มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่มีการเคลือบผิวด้วย CP เฟสท์ร้อยละ 100 จะมีค่า

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



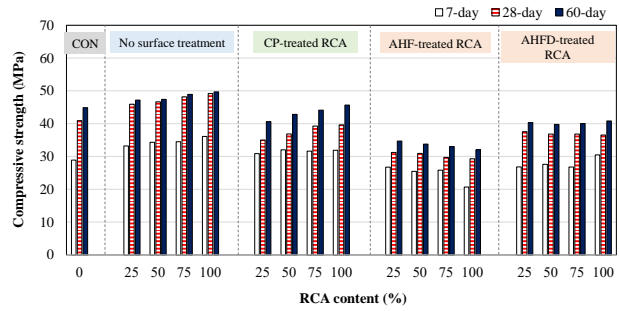
รูปที่ 2 การสูญเสียการยุบตัวของคอนกรีตสดที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลและแปรรูปวัสดุเคลือบผิว

### 3.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากรูปที่ 3 พบว่า ส่วนผสมที่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบรีไซเคิลสูง (ร้อยละ 7.54) เมื่อเปรียบเทียบกับมวลรวมหยาบธรรมชาติ (ร้อยละ 0.66) การที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงเป็นสาเหตุทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในระบบคอนกรีต อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุเท่ากับ 60 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุเท่ากับ 28 วัน งานวิจัยของ Kroehong et al. [12] ได้รายงานไว้ว่าสารประกอบ  $Ca(OH)_2$  ในปูนซีเมนต์เพลสต์จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาภายในระบบมากขึ้นและเป็นสาเหตุทำให้เกิดการขยายตัวและเกิดรอยร้าวของคอนกรีต โดย Kroehong et al. [12] และ Dimitriou et al. [13] แนะนำว่าการใช้วัสดุปอลิไซลาลานจะช่วยลดปริมาณสารประกอบ  $Ca(OH)_2$  ได้ และส่งผลเชิงบวกต่อการพัฒนา กำลังรับแรงอัดที่อายุปลายของคอนกรีต

การศึกษานี้ของสารเคลือบผิวมวลรวมหยาบรีไซเคิล พบว่า การใช้ CP เพลสต์มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงมากกว่าการเคลือบผิวด้วย AHF และ AHFD เนื่องจากการก่อตัวที่รวดเร็วของ AHF และ AHFD ดังแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่มเท่ากับ 1 วัน ของ AHF และ AHFD เพลสต์ มีค่าต่ำกว่า CP เพลสต์ ส่งผลต่อความแข็งแรงของมวลรวมหยาบที่ใช้ในส่วนผสม แต่อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าลอยและโดโลไมท์จะช่วยเพิ่มความสามารถยืเเกาะของวัสดุอัดคาลกับมวลรวมหยาบรีไซเคิลได้ ขณะที่อนุภาคซีเมนต์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาในมวลรวมหยาบรีไซเคิลในระหว่างการบด

คอนกรีตเก่าสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและซิลิกาและอะลูมินาจาก เถ้าลอยและโดโลไมท์และเกิดเป็นปฏิกิริยาไฮเดรชันที่บริเวณจุดสัมผัส [14]



รูปที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตที่มีการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลและแปรรูปวัสดุเคลือบผิว

### 4. บทสรุป

จากผลการทดสอบสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ว่า

- 4.1 การเคลือบผิวมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตได้เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม เนื่องด้วยการเคลือบผิวของมวลรวมหยาบรีไซเคิลช่วยทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณรูพรุนต่ำกว่ามวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ไม่มีการเคลือบผิว
- 4.2 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณมวลรวมหยาบรีไซเคิล ขณะที่คอนกรีตสดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้น
- 4.3 การใช้ CP เพลสต์มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงมากกว่าการเคลือบผิวด้วย AHF และ AHFD เนื่องจากการก่อตัวที่รวดเร็วของ AHF และ AHFD
- 4.4 การเคลือบมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเป็นมวลรวมทางเลือกในการแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติซึ่งเป็นการทำให้คอนกรีตมีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานนโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยงานบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาากำลังคนและทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม เลขที่สัญญา B05F630106

### เอกสารอ้างอิง

- [1] อ่ำพล วงศ์ษา. (2556). การใช้เศษวัสดุเป็นส่วนผสมในคอนกรีตพูน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [2] สุรศักดิ์ ภูสันติพงษ์, รัชช บุนนสิงห์ 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 Chindapasirt, 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, S.C. (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, J. and Jalali, S. (2008). Alkali-activated binders: A review. Part 1 . Historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products. *Construction and Building Materials*, 22(7), pp. 1305-1314.
- [11] Sathonsaowaphak, A., Chindapasirt, P. and Pimraksa, K. (2009). Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar. *Journal of Hazardous Materials*, 168(1), pp. 44-50.
- [12] Kroehong, W., Sinsiri, T., Jaturapitakkul, C. and Chindapasirt, P. (2011). Effect of palm oil fuel ash fineness on the microstructure of blended cement paste. *Construction and Building Materials*, 25(11), pp. 4095-4104.
- [13] Dimitriou, G., Savva, P. and Petrou, M.F. (2018). Enhancing mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 158, pp. 228-235.
- [14] Koushkbaghi, M., Alipour, P., Tahmouresi, B., Mohseni, E., Saradar, A. and Sarker, P.K. (2019). Influence of different monomer ratios and recycled concrete aggregate on mechanical properties and durability of geopolymer concretes. *Construction and Building Materials*, 205, pp. 519-528.