

การใช้ประโยชน์จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าก้นเตาเป็นวัสดุประสานสำหรับ คอนกรีตบล็อก

Utilization of Calcium Carbide Residue and Bottom Ash as a Binder for Solid Load-bearing Concrete Block

กมล ตรีผอง^{1*} วีรพันธุ์ เจียมมีปรีชา² อรรคเดช อับดุลมาติน³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

³สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส 96000

Kamon Treepong^{1*} Weeraphan Jiammeepreecha² Akkadath Abdulmatin³

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology

Rattanakosin, Wang Klai Kang Won Campus, Prachaup Kiri Khan, 77110

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000

³Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,

Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, 96000

*Corresponding author Email: kamon.tre@rmutr.ac.th

(Received: September 22, 2019; Accepted: April 21, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าก้นเตาเป็นวัสดุประสานสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ การศึกษาครั้งนี้ได้นำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าก้นเตามาบดละเอียด และผสมในอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าก้นเตาเท่ากับ 30:70 (CB) เพื่อใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักเชิงดัน คอนกรีตบล็อกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100x100x200 มม.³ ทำการศึกษาความหนาแน่น ค่าดูดกลืนน้ำ และกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก CB เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (CT) ผลการทดสอบพบว่าค่าดูดกลืนน้ำ และกำลังอัดขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก กล่าวคือความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีค่ามากส่งผลให้ค่าการดูดกลืนน้ำลดลงและกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าเพิ่มขึ้น การใช้วัสดุประสาน CB สำหรับหล่อเป็นคอนกรีตบล็อกมีผลให้ค่าการดูดกลืนน้ำสูงขึ้นและกำลังอัดมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดกลืนน้ำและกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก CB สามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในส่วนผสมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก การใช้แรงดัน 6 กก./ตร.ซม. ในการขึ้นรูป และการลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในส่วนผสม ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำและกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการปรับปรุง

สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักเชิงดัน สำหรับการใช้งานเป็นกำแพงเหนือและต่ำกว่าระดับพื้นดินโดยปราศจากการป้องกันผิวได้ตามมาตรฐาน มอก. 60-2561 กำหนด

คำสำคัญ: กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าก้นเตา คอนกรีตบล็อก การดูดกลืนน้ำ กำลังอัด

ABSTRACT

The aim of this research is the use of calcium carbide residue and bottom ash as a binder in concrete block to reduce the Portland cement. In this study, the calcium carbide residue and bottom ash were ground and mixed in the ratio between calcium carbide residue to bottom ash of 30:70 by weight (CB) to use as a binder for casting solid load-bearing concrete block. The specimen size of the block use in this study is 100x100x200 mm³. The density, water absorption and compressive strength of CB concrete block were investigated and compared with concrete block with Portland cement as a binder (CT). This result found that the water absorption and compressive strength of concrete block depended on its density i.e., the high density of the block resulted in the decrease of water absorption and increase compressive strength. The use of CB binder for casting concrete block affected on higher water absorption and lower compressive strength than CT concrete block. However, the water absorption and compressive strength of CB concrete block could be improved by added 10% of Portland cement by weight, used the pressure of 6 ksc to cast the block and decreased the water to binder ratio in the mixture. Therefore, the water absorption and compressive strength of the improved CB concrete block could meet the requirement of solid load-bearing concrete block for using as the wall above and below ground level without protecting surface in accordance with TIS 60-2561..

Keyword: Calcium carbide residue, bottom ash, concrete block, water absorption, compressive strength.

1. บทนำ

คอนกรีตบล็อก (Concrete block) เป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้ในการก่อผนังและกำแพงเป็นจำนวนมาก แต่กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกในปัจจุบันยังคงใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Ordinary Portland cement) เป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สู่ชั้นบรรยากาศสูงขึ้นประมาณ 1.02 ตันต่อปริมาณปูนซีเมนต์ 1 ตัน [1] ในปี ค.ศ. 2004 พบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์อยู่ที่ 1.7x10⁹ ตันต่อปี [2] จากปัญหาดังกล่าวจึงมีงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่นำเสนอการใช้วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan material) เพื่อทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต เช่น เถ้าลอย เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าขาน้อย และ เถ้าแกลบ เป็นต้น [3]–[5]

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium carbide residue, CCR) เป็นวัสดุที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำในกระบวนการผลิตก๊าซ

อะเซทิลีน ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมงานเชื่อม กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) อยู่ในสถานะของเหลว ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตพบว่า กากแคลเซียมคาร์ไบด์นำมาใช้ร่วมกับวัสดุพอลิโพรไพลีนได้ และสามารถทำปฏิกิริยาพอลิโพรไพลีนได้เป็นอย่างดีเมื่อมีการบดให้มีความละเอียดสูง [6]–[8]

เถ้าก้นเตา (Bottom ash, BA) เป็นวัสดุที่เหลือจากการนำเอาถ่านหิน (Coal) มาเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเกิดเป็นเถ้าลอยที่มีอนุภาคขนาดเล็ก รูปร่างทรงกลม ไม่มีรูพรุน ในขณะที่เถ้าก้นเตาจะมีขนาดอนุภาคใหญ่และมีรูพรุน ดังนั้นในการใช้เถ้าก้นเตาจำเป็นจะต้องทำการบดละเอียดเพื่อให้สามารถเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีตได้ [9]–[11] โดยในปี ค.ศ. 2016 พบว่ามีปริมาณเถ้าก้นเตา 1.4×10^6 ตันต่อปี จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และยังคงมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นทุกปี [12] องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเถ้าก้นเตาได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมินัมไตรออกไซด์ (Al_2O_3) เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) จากงานวิจัยของ Chindaprasit และคณะ [13] พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นเตาจะเหมือนกับเถ้าลอย (Fly ash) กล่าวคือจะมีปริมาณของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, CaO และ SO_3 ร้อยละ 72.2, 16.5 และ 2.4 ตามลำดับ ในขณะที่เถ้าลอยจะมีอยู่ร้อยละ 74.8, 16.6 และ 2.6 ตามลำดับ ซึ่งค่ามาตรฐาน ASTM C 618 ได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุพอลิโพรไพลีนประเภท Class F จะต้องมีความปริมาณของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ และ SO_3 มากกว่าร้อยละ 70 และ 5 ตามลำดับ [14] สำหรับค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss of ignition, LOI) ของเถ้าก้นเตาจะมีค่าร้อยละ 2.9 สูงกว่าเถ้าลอยซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.8 ซึ่งยังคงต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ASTM C 618 ที่กำหนดการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการเผาสำหรับวัสดุพอลิโพรไพลีนต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 6 [14]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตพบว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าก้นเตาสามารถใช้งานเพื่อเป็นวัสดุประสานสำหรับคอนกรีตได้ [15] โดยงานวิจัยนี้เน้นการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าก้นเตามาใช้เพื่อเป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อทดแทนปริมาณการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ เพราะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยมากเพื่อเป็นสารตั้งต้นในส่วนผสม

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CCR) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากโรงงานผลิตก๊าซอะเซทิลีน จังหวัดสมุทรสาคร นำมาตากแดดให้แห้งจนมีค่าความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ลักษณะของ CCR ก่อนบดมีสีเทาขาว เกะตัวเป็นก้อน ดังแสดงในรูปที่ 1(ก) เมื่อสังเกตจากภาพถ่ายที่ ท ต ส อบ โดยวิธี Scanning Electronic Microscope (SEM) พบว่า CCR ก่อนบดมีขนาดใหญ่ ผิวขรุขระ และรูปร่างไม่แน่นอน รูปที่ 2(ก) หลังจากนำบดด้วยเครื่องบดวัสดุ จนกระทั่งมีปริมาณอนุภาคข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยในงานวิจัยนี้สามารถทำได้อยู่ที่ร้อยละ 3.80 โดยน้ำหนัก และมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.37 โดยมีสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับ CCR หลังบดมีสีเข้มขึ้นเล็กน้อย และสังเกตจากรูปที่ 2(ข) พบว่าอนุภาค CCR มีขนาดเล็กลง แต่ยังคงมีผิวขรุขระ และรูปร่างไม่แน่นอน CCR ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ได้มาจากชุดเดียวกันกับงานวิจัยของ Abdulmatin และคณะ [15] ซึ่งมีองค์ประกอบหลักทางเคมีคือ CaO โดยมีปริมาณร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก และค่า LOI เท่ากับร้อยละ 27 ดังแสดงในตารางที่ 2

เถ้าก้นเตา (BA) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีสีเทาดำ (รูปที่ 3(ก)) มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับเถ้าลอยและมีรูพรุนดังแสดงในรูปที่ 4(ก) จึงจำเป็นต้องนำมาบดละเอียดจนกระทั่งมีปริมาณ

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหลังการอบ

วัสดุ ประสาน	ความถ่วง จำเพาะ	ปริมาณอนุภาคค้ำ บนตะแกรง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ดัชนี กำลังที่ อายุ 7 วัน (ร้อยละ)
		เบอร์ 200	เบอร์ 325	
CCR	2.37	3.80	-	-
BA	2.66	-	1.20	86

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่าน [15,16]

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	CCR	BA
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	5.2	35.6
อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3)	2.5	19.6
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	2.0	14.9
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	59.8	18.7
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	1.0	1.7
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	2.1	2.4
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.4	1.2
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.3	2.3
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI)	26.9	3.6

อนุภาคค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยในงานวิจัยนี้สามารถทำได้อยู่ที่ร้อยละ 1.20 โดยน้ำหนัก และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.66 โดยมีสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1 ภายหลังการอบ BA มีสีน้ำตาลเข้ม ดังแสดงในรูปที่ 3(ข) องค์ประกอบหลักทางเคมีของ BA คือ SiO_2 , Fe_2O_3 และ Al_2O_3 รวมกันเท่ากับร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีปริมาณ CaO ประมาณร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 2 [16]

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) เพื่อหล่อคอนกรีตบล็อกควบคุม และใช้เป็นสารเร่งกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกแบบรับน้ำหนักที่มี CCR ผสม

BA เป็นวัสดุประสาน ความถ่วงจำเพาะของ OPC มีค่าเท่ากับ 3.14 สำหรับมวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำและมวลรวมหยาบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือหินฝุ่น โดยมีสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของมวลรวม

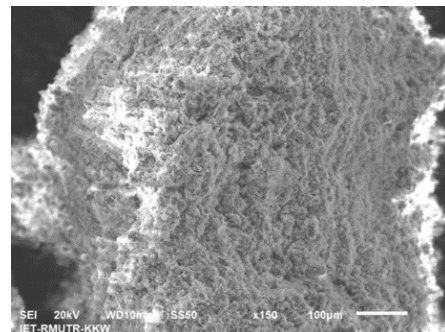
มวลรวม	ความถ่วง จำเพาะ	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ทรายแม่น้ำ	2.63	1.52
หินฝุ่น	2.71	0.40



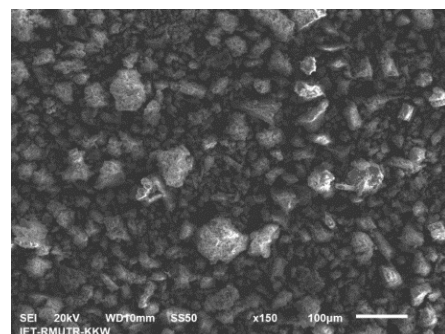
(ก) ก่อนบด

(ข) หลังบด

รูปที่ 1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

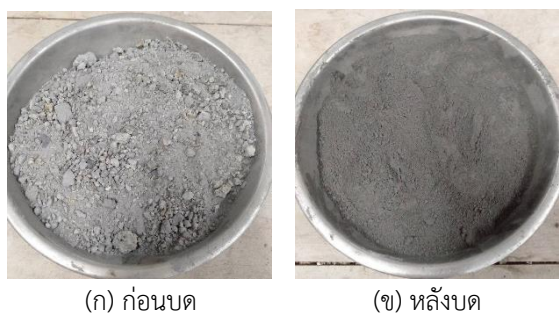


(ก) ก่อนบด

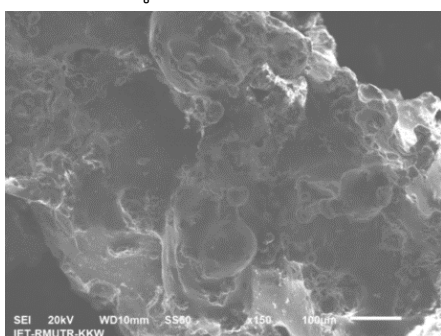


(ข) หลังบด

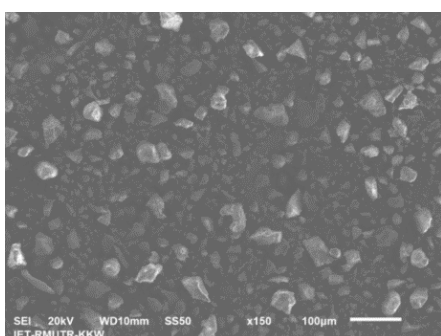
รูปที่ 2 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์



รูปที่ 3 เล้ากันตา



(ก) ก่อนบด



(ข) หลังบด

รูปที่ 4 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของเล้ากันตา

2.2. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคอนกรีตบด

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้อัตราส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเล้ากันตาเท่ากับ 30:70 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน (CB) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้มอร์ตาร์มีค่ากำลังอัดสูงสุด [16] คอนกรีตบดที่ศึกษาแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 คอนกรีตบดที่ไม่ใส่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมและไม่ใช้แรงดันในการขึ้นรูป ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 ใช้ตัวย้อยเป็น CT-N และ CB-N สำหรับคอนกรีตบดที่ควบคุมและคอนกรีตบดที่ใช้ CB เป็นวัสดุประสาน กลุ่มที่ 2 คือ

คอนกรีตบดที่มีวิธีการปรับปรุงกำลังอัดด้วยการใส่ OPC ในส่วนผสมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และใช้แรงดันในการขึ้นรูปขนาด 6 กก/ซม² ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 ใช้ตัวย้อยเป็น CT-L และ CB-L สำหรับคอนกรีตบดที่ควบคุมและคอนกรีตบดที่ใช้ CB เป็นวัสดุประสาน คอนกรีตบดทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ใช้อัตราส่วน วัสดุประสาน:มวลรวมละเอียด:มวลรวมหยาบเท่ากับ 1:1.4:1.75 โดยทุกตัวอย่างถูกหล่อให้ได้ขนาด 100x100x200 มม.³ ดังแสดงในตารางที่ 4

การทดสอบการดูดกลืนน้ำและความหนาแน่นของคอนกรีตบดของคอนกรีตบดทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ คอนกรีต CT-N, CT-L, CB-N และ CB-L ทดสอบที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C140 [17] โดยนำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110±5 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไป ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดทั้ง 3 ตัวอย่าง นำมาใช้ในการรายงานผล

หลังจากการหล่อตัวอย่างคอนกรีตบดจะนำมาบ่มในน้ำสะอาด จนถึงอายุของการบ่มที่กำลังอัดของคอนกรีตบดทดสอบที่อายุ 7, 14, 28, 56 และ 90 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C140 [17]

3. ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

3.1 การดูดกลืนน้ำและความหนาแน่นของคอนกรีตบด

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบดที่อายุ 28 วัน พบว่าคอนกรีตบด CT-N, CT-L, CB-N และ CB-L มีความหนาแน่นเท่ากับ 2253, 2260, 1970 และ 2230 กก./ลบ.ม. ซึ่งสอดคล้องกับค่าดูดกลืนน้ำ 107, 89, 232, และ 150 กก/ลบ.ม. หรือเท่ากับร้อยละ 4.79, 3.97, 11.76 และ 6.72 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตบดที่มีวัสดุประสานชนิดเดียวกัน พบว่าคอนกรีตบดที่ใช้แรงดันในการขึ้นรูป

ตารางที่ 4 ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก

คอนกรีต บล็อก	สัดส่วนผสม (กก./ลบ.ม.)						W/B ratio
	OPC	CCR	BA	Sand	Crushed dust	water	
CT-N	525	0	0	735	920	240	0.45
CB-N	0	157.5	367.5	735	920	240	0.45
CT-L	525	0	0	735	920	185	0.35
CB-L	52.5	141.75	330.75	735	920	185	0.35

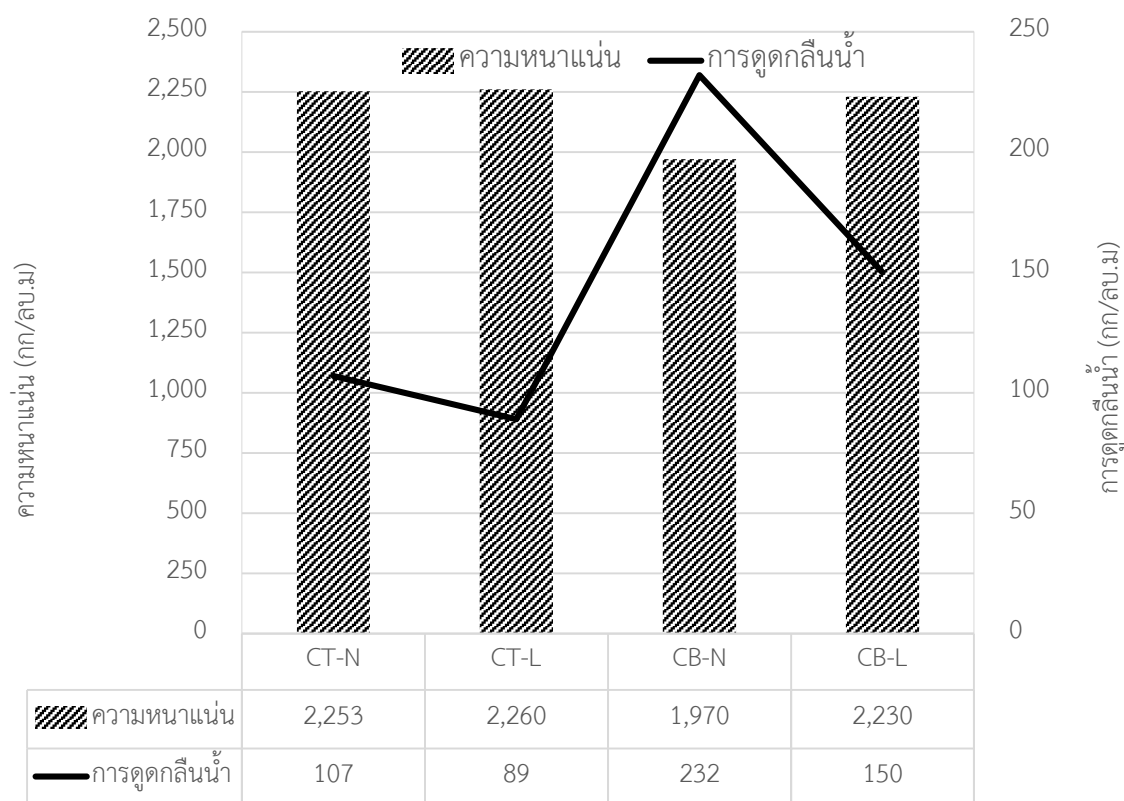
และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35 มีความหนาแน่นที่มากกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่ใช้แรงดันในการขึ้นรูปและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 ยกตัวอย่างเช่น คอนกรีตบล็อก CT-L มีความหนาแน่นมากกว่า CT-N ในทางเดียวกัน CB-L มีความหนาแน่นมากกว่า CB-N ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้แรงดันในการขึ้นรูปจะทำให้เนื้อของคอนกรีตอัดตัวกันแน่นขึ้นเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตมีมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Namarak และคณะ [18] รายงานว่า การเพิ่มแรงดันส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมากขึ้นด้วย นอกจากนี้การลดอัตราส่วนส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในส่วนผสมทำให้ปริมาณน้ำอิสระในเนื้อคอนกรีตน้อยลงส่งผลให้ปริมาณโพรงลดลง [19] การลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานจึงเป็นอีกหนึ่งเหตุผลที่ทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีค่ามากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลของวัสดุประสานต่อความหนาแน่นพบว่าคอนกรีตบล็อกมี OPC ล้วนเป็นวัสดุประสาน มีความหนาแน่นสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่ทำจาก CB เป็นวัสดุประสาน ทั้งนี้เป็นเพราะความถ่วงจำเพาะของ OPC มีค่าสูงกว่า CCR และ BA โดยที่ OPC มีความถ่วงจำเพาะ 3.15 ในขณะที่ CCR และ BA มีค่าเท่ากับ 2.37 และ 2.66 อีกทั้งปฏิกิริยาไฮเดรชันของ OPC มีปฏิกิริยาที่เร็วและสมบูรณ์กว่าปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่าง CCR และ BA โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 28 วันแรก [20] ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีต

บล็อก CB มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อก CT เมื่อปรับปรุงคอนกรีตบล็อก CB ด้วยวิธีการเพิ่ม OPC ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ในส่วนผสม ใช้แรงดันในการขึ้นรูป และลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเหลือ 0.35 (CB-L) ทำให้คอนกรีตบล็อก CB มีความหนาแน่นสูงขึ้นกว่าเดิม (CB-N) แต่ยังคงมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตบล็อก CT-N ที่ไม่ใช้แรงดันในการขึ้นรูปและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 เล็กน้อย

สำหรับค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นอย่างมีนัยสำคัญกล่าวคือเมื่อความหนาแน่นมากขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกต่ำลง เป็นที่ทราบกันดีว่าความหนาแน่นมีมากขึ้นปริมาณช่องว่างมีน้อยลงทำให้การดูดกลืนของคอนกรีตบล็อกมีค่าต่ำลง นอกจากนี้จะเห็นว่าคอนกรีต CB-N และ CB-L มีค่าการดูดกลืนน้ำสูงกว่าคอนกรีตบล็อก CT-N และ CT-L ค่อนข้างมาก ไม่เพียงแต่เป็นผลเนื่องมาจากความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกแต่ยังเนื่องมาจากอนุภาคของ CCR และ BA มีความพรุนสูงทำให้มีการดูดน้ำเข้าไปในอัตราที่สูงขึ้น

ถึงแม้ว่าคอนกรีตบล็อก CB มีค่าการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อก CT อย่างไรก็ตาม คอนกรีตบล็อก CB-L ยังคงมีค่าการดูดกลืนน้ำที่ 28 วัน ผ่านมาตรฐาน มอก. 60-2516 [21] สำหรับคอนกรีตบล็อกเชิงต้นชั้นคุณภาพ ก-1 ก-2 กล่าวคือมีค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกไม่เกิน 160 กก./ลบ.ม. สำหรับคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่นมากกว่า 2001 กก./ลบ.ม.



รูปที่ 5 ความหนาแน่นและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

3.2 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

จากผลการทดสอบกำลังอัด พบว่ากำลังอัดของคอนกรีต CT จะมีการพัฒนากำลังอย่างรวดเร็วในช่วงแรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 14 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้คอนกรีตบล็อก CT-N และ CT-L มีกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตบล็อก CB-N และ CB-L ดังแสดงในตารางที่ 5 ดังที่กล่าวมาข้างต้น กำลังอัดที่เกิดขึ้นของคอนกรีตบล็อก CB-N และ CB-L เกิดจากผลผลิตจากปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่าง Ca(OH)_2 ของ CCR และ SiO_2 รวมถึง Al_2O_3 ของ BA ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ หากสังเกตจากร้อยละของกำลังของคอนกรีตบล็อก CB เทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก CT จะเห็นว่า ทั้งคอนกรีตบล็อก CB-N และ CB-L ร้อยละของกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่คอนกรีตบล็อกมีอายุ 7 วันขึ้นไปและค่อนข้างคงที่เมื่อคอนกรีตบล็อกมีอายุมากกว่า 56 วัน แสดงให้เห็นว่ากำลังอัดที่ได้จากการทำปฏิกิริยาปอซโซลานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

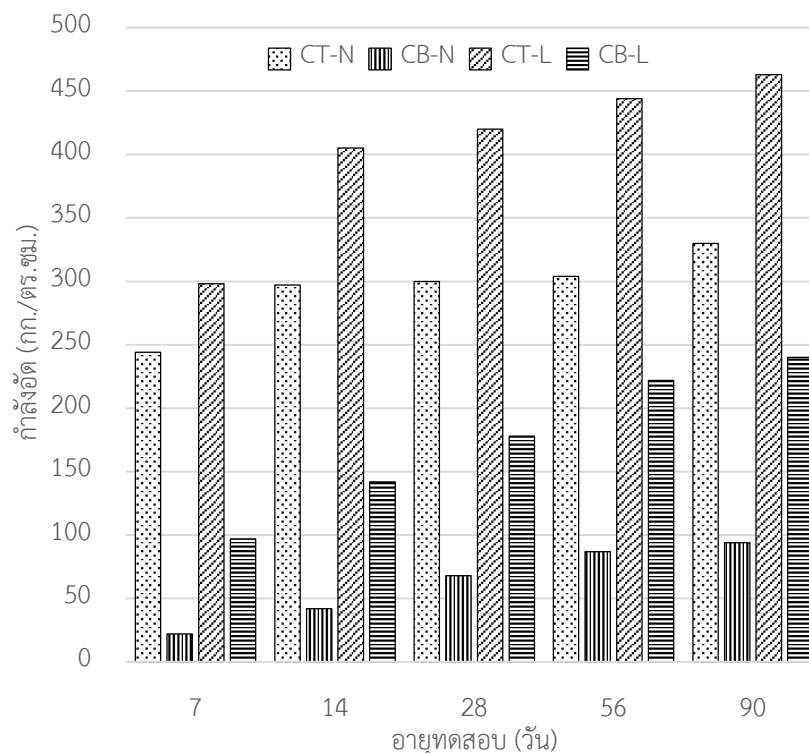
ในช่วง 56 วันแรก หลังจากนั้นจะมีอัตราคงที่เมื่อเทียบกับอัตราการพัฒนากำลังอัดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตบล็อก CT ดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 5 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก (หน่วย: กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

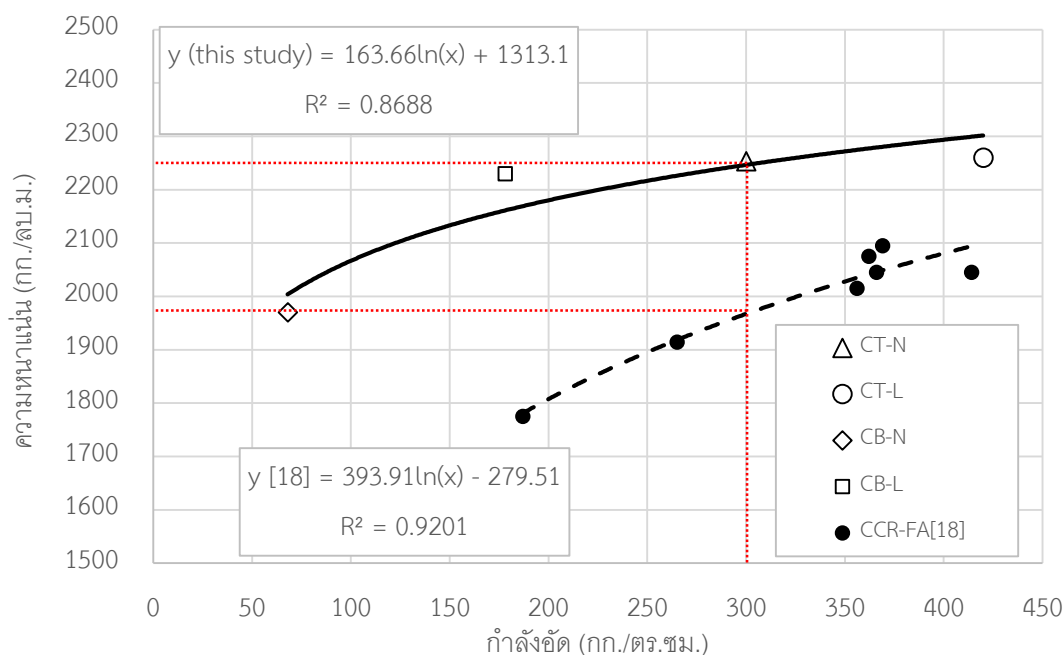
คอนกรีตบล็อก	กำลังอัด (ร้อยละ)				
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	56 วัน	90 วัน
CT-N	244 (100)	297 (100)	300 (100)	304 (100)	330 (100)
CB-N	22 (9.0)	42 (14.1)	68 (22.7)	87 (28.6)	94 (28.5)
CT-L	298 (100)	405 (100)	420 (100)	444 (100)	463 (100)
CB-L	97 (32.6)	142 (35.1)	178 (42.4)	222 (50.0)	240 (51.8)

เมื่อแยกพิจารณาคอนกรีตบล็อกตามวัสดุประสานที่เหมือนกัน สำหรับคอนกรีตบล็อก CT-L มีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตบล็อก CT-N อย่างชัดเจน ในขณะที่เดียวกัน คอนกรีตบล็อก CB-L มีกำลังสูงกว่าคอนกรีตบล็อก CB-N เช่นเดียวกัน ซึ่งมีเหตุผลสามารถอธิบายได้ว่า ประการแรก การลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในส่วนผสมส่งผลให้กำลังอัดมีค่าสูงขึ้น Lam และคณะ [22] รายงานว่าหากปริมาณน้ำในส่วนผสมมีมากขึ้นทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ของอนุภาคเจือจางจึงอาจทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลง นอกจากนี้ปริมาณน้ำอิสระยังทำให้อัตราในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานิกต่ำลง และทำให้เกิดโพรงในซีเมนต์เพสต์มากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดมีค่าลดลง [19, 23] ประการที่สองการใช้แรงดันมาช่วยในการขึ้นรูปทำให้เนื้อคอนกรีตอัดตัวกันแน่นขึ้นความหนาแน่นมีมากขึ้นทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเห็นได้ชัดว่าความหนาแน่นมีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอย่างชัดเจน กล่าวคือกำลังอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีค่ามากขึ้น ผลการ

ทดสอบในครั้งนี้เป็นการยืนยันผลการทดสอบของ Namarak และคณะ [18] ซึ่งศึกษาคอนกรีตบล็อกที่ทำจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน (CCR-FA) อย่างไรก็ตามจะพบว่าหากพิจารณาที่กำลังอัดเท่ากัน ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่ามากกว่าความหนาแน่นที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [18] ตัวอย่างเช่น พิจารณากำลังอัดเท่ากับ 300 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก CCR-FA มีค่าประมาณ 1970 กก./ลบ.ม. ในขณะที่ความหนาแน่นที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าประมาณ 2250 กก./ลบ.ม. ทั้งนี้เนื่องมาจากคอนกรีตจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [18] ที่ใช้มวลรวมละเอียดที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.40 เป็นมวลรวมในส่วนผสมเพียงอย่างเดียวและมีอัตราส่วนของวัสดุประสาน : มวลรวม เท่ากับ 1:3 ในขณะที่คอนกรีตบล็อกในการศึกษาครั้งนี้เป็นมวลรวมละเอียด และมีการเพิ่มหินปูนที่มีความจำเพาะเท่ากับ 2.71 เป็นมวลรวมหยาบ อีกทั้งอัตราส่วนระหว่างวัสดุประสาน : มวลรวม เท่ากับ 1:3.15



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกและอายุทดสอบ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

การศึกษาครั้งนี้ยังพบอีกว่าไม่เพียงแต่การใช้แรงดันในการขึ้นรูปและการลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในส่วนผสมการเพิ่ม OPC เพียงร้อยละ 10 ยังสามารถให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก CB-L มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก CB-L มีค่าเท่ากับ 142 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 60-2516 [21] คือต้องมากกว่า 125 กก./ตร.ซม. เมื่อพิจารณาร่วมกับความหนาแน่นและค่าดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกพบว่าคอนกรีตบล็อก CB-L สามารถจัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักเชิงตันชั้นคุณภาพ ก-1 และ ก-2 คือคอนกรีตบล็อกที่ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งเหนือและต่ำกว่าระดับดินโดยไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันผิว อย่างไรก็ตามสำหรับคอนกรีต CB-N เมื่ออายุมากกว่า 56 วัน สามารถจัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักเชิงตันชั้นคุณภาพ ค-1 และ ค-2 กล่าวคือคอนกรีตบล็อกที่ใช้ทั่วไปสำหรับกำแพงหรือระดับดินที่มีการป้องกันความเสียหายเนื่องจากดินฟ้าอากาศ โดยต้องมีกำลังอัดมากกว่า 85 กก./ตร.ซม.

4. สรุป

บทความนี้นำเสนอการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าก้นเตาเป็นวัสดุประสานสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักเชิงตันจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 การดูดกลืนน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก ค่าการดูดกลืนน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อคอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

4.2 การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าก้นเตาบดละเอียดเป็นวัสดุประสานผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกเชิงตันโดยมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนน้ำมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม อย่างไรก็ตามการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก CB สามารถปรับปรุงได้โดยการใส่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน การใช้แรงดันในการขึ้นรูป และการลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

4.3 ค่ากำลังอัดมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกเช่นเดียวกันกับค่าการดูดกลืนน้ำ กล่าวคือกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อคอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นมากขึ้น

4.4 งานวิจัยนี้สามารถผลิตคอนกรีตบดล็อกรับน้ำหนักเชิงตันตามมาตรฐาน มอก. 60-2561 ได้จากวัสดุประสานที่มาจากวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมคือ กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าก้นเตา โดยการเพิ่มปูนซีเมนต์ในส่วนผสมเพียงร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน การใช้แรงดันในการขึ้นรูป และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35 สามารถผลิตคอนกรีตบดล็อกมีกำลังอัดและการดูดกลืนน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับคอนกรีตบดล็อกรับน้ำหนักเชิงตันประเภท ก-1 และ ก-2 สำหรับคอนกรีตบดล็อกที่ใช้วัสดุประสานจากวัสดุเหลือทิ้งโดยไม่มีปูนซีเมนต์ในส่วนผสม สามารถจัดเป็นคอนกรีตบดล็อกรับน้ำหนักเชิงตันประเภท ค-1 และ ค-2

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ได้สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ภายใต้สัญญาทุนเลขที่ A-3/2561

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Habert, C. Billard, P. Rossi, C. Chen and N. Roussel, "Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives," *Cem. Conc. Res.*, vol. 40, no. 5, pp. 820–826, 2010.
- [2] E. Gartner, "Industrially interesting approaches to "low-CO₂" cements," *Cem. Conc. Res.*, vol. 34, no. 9, pp. 1489–1498, 2004.
- [3] C. Jaturapitakkul and B. Roongreung, "Cementing material from calcium carbide resi-due-rice husk ash," *J. Mat. Civ. Eng, ASCE*, vol. 15, no. 5, pp. 470–475, 2003.
- [4] C. D. Altis, "High-volume fly ash concrete with high strength and low drying shrinkage," *J. Mat. Civ. Eng, ASCE*, vol. 15, no. 2, pp. 153–156, 2003.
- [5] A. Rerkpiboon, W. Tangchirapat and C. Jaturapitakkul, "Strength, chloride resistance, and expansion of concretes containing ground bagasse ash," *Constr. Build. Mat.*, vol. 101, part. 1, pp. 983–989, 2015.
- [6] ปิติศานต์ กร้ามาตร, สุภิษาติ มาตย์ภูธร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วิมล เงามพิสดาร. "การศึกษา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าถ่านหิน," วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 7 (ฉบับที่ 2): หน้า 65–75, 2539.
- [7] ธนพล เหล่าสมาธิกุล และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. "สมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน," *การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 4*. 20-22/10/2551. อุบลราชธานี, 2551, หน้า MAT88–MAT95.
- [8] สุทธิพันธ์ แอเดียว, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. "กำลังอัดและการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ร่วมกับเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน," วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 4): หน้า 34–42, 2554.
- [9] C. Jaturapitakkul and R. Cheererot, "Development of bottom ash as pozzolanic material," *J. Mat. Civ. Eng, ASCE*, vol. 15, no. 1, pp. 48–53, 2003.
- [10] H. Kurama and M. Kaya, "Usage of coal combustion bottom ash in concrete mixture," *Constr. Build. Mat.*, vol. 22, no. 9, pp. 1922–1928, 2008.
- [11] A. Abdulmatin, W. Tangchirapat and C. Jaturapitakkul, "An investigation of bottom ash as a pozzolanic material," *Constr. Build. Mat.*, vol. 186, pp. 155–162, 2018.

- [12] เพ็ญพิชชา คงเพิ่มโกศล, อรรคเดช อับดุลมาติน, วีระชาติ ตั้งจิรภัทร และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. “การพัฒนากำลั่งอัดของคอนกรีตโดยใช้วัสดุประสานจากเถ้าก้นเตาและกากแคลเซียมคาร์ไบด์,” วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, ปีที่ 4 (ฉบับที่ 1), หน้า 11–19, 2559.
- [13] P. Chindaprasirt, C. Jaturapitakkul, W. Chalee and U. Rattanasak, “Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers,” *Waste Manage.*, vol. 29, no. 2, pp. 539–543, 2009.
- [14] Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM Standard C618, 2015.
- [15] A. Abdulmatin, P. Khongpermgoson, W. Tangchirapat and C. Jaturapitakkulya, “Use of eco-friendly cementing material in concrete made from bottom ash and calcium carbide residue,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 43, no. 4, pp. 1617–1626, 2018.
- [16] อรรคเดช อับดุลมาติน, วีระชาติ ตั้งจิรภัทร และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. “ผลกระทบของชนิดของสารลดน้ำพิเศษต่อสมบัติของเพสต์และมอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าก้นเตาร่วมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน,” วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, ปีที่ 3 (ฉบับที่ 1), หน้า 31–41, 2558.
- [17] ASTM C140 / C140M-18a, Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
- [18] C. Namarak, C. Bumrungsri, W. Tangchirapat, and C. Jaturapitakkul, “Development of Concrete Paving Blocks Prepared from Waste Materials without Portland Cement,” *Mater. Sci.*, Vol. 24, no. 1, pp. 92-99, 2018.
- [19] V. Živica, “Effects of the very low water/cement ratio,” *Constr. Build. Mat.* Vol. 23, no. 12, pp. 3579-3582, 2009
- [20] C. Rattanashotinunt, P. Thairit, W. Tangchirapat, and C. Jaturapitakkul, “Use of calcium carbide residue and bagasse ash mixtures as a new cementitious material in concrete,” *Mater. Des.*, Vol. 46, pp. 106–111, 2013.
- [21] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกแข็งต้นรับน้ำหนัก, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 60-2516, 2516.
- [22] L. Lam, Y. Wong, and C. Poon, “Degree of hydration and gel/space ratio of high-volume fly ash/cement systems,” *Cem. Concr. Res.* Vol. 30, no. 5, pp. 747–756, 2000.
- [23] R. Duval, and E. Kadri, “Influence of silica fume on the workability and the compressive strength of high-performance concretes,” *Cem. Concr. Res.* Vol. 28, no. 4, pp. 533–547, 1998.