

กำลังอัด การดูดซึมน้ำ และการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์ในระบบวัสดุประสาน สามชนิดด้วยกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย

Strength, Water Absorption and Chloride Penetration of Mortar in Ternary Blends System with Calcium Carbide Residue and Fly Ash

ปณยวัจน์ วงษ์สวัสดิ์ สำเร็จ รักซ้อน* และ ปริญา จินดาประเสริฐ

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73130

ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Punyawat Wongwasuwat Sumrerng Rukzon* and Prinya Chindaprasit

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhonphatom 73130

Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Department of Civil Engineering,

Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen

*Corresponding author Email: sumrerng.ruk@rmutr.ac.th

(Received: March 26, 2021; Accepted: June 13, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาการผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (GCCB) และเถ้าลอย (GFFA) เป็นวัสดุประสานผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (CT) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน นอกจากนี้ ในงานนี้ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ผสมรวมกันเป็นวัสดุประสานสามชนิดสำหรับผลิตมอร์ตาร์ สำหรับระบบวัสดุประสานสามชนิดใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณร้อยละ 5, เถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณร้อยละ 15 และใช้เถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้คงที่เท่ากับ 0.48 และใช้ค่าทดสอบการไหลของมอร์ตาร์เท่ากับร้อยละ 105-115 ด้วยสารลดน้ำพิเศษ ศึกษาการดูดซึมน้ำ และการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์ ผลการทดสอบพบว่า การใช้เถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถผลิตส่วนผสมมอร์ตาร์ได้กำลังอัดที่ดี มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วงร้อยละ 78-96 ของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 อย่างไรก็ตาม การดูดซึมน้ำ และการแทรกซึมคลอไรด์ ของมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณร้อยละ 5, เถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณร้อยละ 15 และใช้เถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าสูงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

คำสำคัญ: กำลังอัด กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย ระบบวัสดุประสานสามชนิด

ABSTRACT

This research presents to develop ground calcium carbide residue (GCCB) and ground fine fly ash (GFFA) as a cementitious material for blend Portland cement type 1 (CT). CT was partially replaced at 15% of GFFA by weight of cementitious materials. In addition, GCCB, GFFA and CT were used as a ternary blends system in producing mortar. For ternary blends system, CT was partially replaced at 15% of GFFA blend with GCCB at the dosage levels of 5%, at 15% GFFA blend with GCCB at the dosage levels of 15% and at 15% of GFFA blends with GCCB at the dosage levels of 25% by weight of cementitious materials. The ratio of water to cementitious material (W/B) was used constant at 0.48 and the flow test of mortar was also kept between 105-115% with superplasticizer. Compressive strength, water absorption and chloride penetration were investigated. Test results found that the use of 15% of GFFA produced mixes of mortar with good compressive strength. Compressive strength of 15% of GFFA is high at 78-96% in comparison with the CT mortar mixes. However, the water absorption and chloride penetration of mortar with 15% of GFFA+5% of GCCB, 15% of GFFA+15% of GCCB and 15% of GFFA+25% of GCCB mortar is high in comparison with the mortar mixes at 15% of GFFA by weight of cementitious materials.

Keyword: Compressive strength, Calcium carbide residue, Coal fly ash, Ternary blends system.

1. บทนำ

เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่า ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุหลักในการผลิตคอนกรีตและมอร์ตาร์ ในส่วนของคอนกรีตใช้ปูนซีเมนต์ผสมรวมกับน้ำ มวลรวม (ทรายและหิน) เกิดเป็นก้อนแข็งรับกำลังอัดได้ดีและใช้เป็นโครงสร้างอาคาร ส่วนมอร์ตาร์ ใช้ปูนซีเมนต์ผสมรวมกับน้ำและทราย เพื่อเป็นวัสดุก่อ ฉาบ และซ่อมแซม ในการผลิตปูนซีเมนต์อาจส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ กล่าวคือ วัสดุที่ใช้ผลิตปูนซีเมนต์ล้วนได้จากธรรมชาติ เช่น ไข่แร่หิน ต่างๆ ในการเผา ซึ่งอาจหมดไปและลดน้อยลงจากธรรมชาติ อีกทั้งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น ปัจจุบันผู้ผลิตคอนกรีตและนักวิจัยพยายามศึกษาถึงการลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตด้วยการลดการใช้ปูนซีเมนต์และให้ความสนใจการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมมาพัฒนาเป็นวัสดุซีเมนต์ในงานคอนกรีต วัสดุเหลือทิ้งหรือวัสดุรองทิ้งจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมที่มีในประเทศไทย เช่น เถ้าก้นเตา และเถ้าลอย ซึ่งได้จาก

กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม [1]-[3]

เถ้าลอย หรือ Fly ash เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ผู้ผลิตคอนกรีตและนักวิจัยได้ศึกษาและพัฒนานำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อผลิตเป็นมอร์ตาร์และคอนกรีตในงานก่อสร้าง [2], [3] อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทย พบว่ายังมีวัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้บางชนิด ซึ่งอาจนำมาใช้สำหรับเป็นวัสดุก่อสร้างได้เช่นเดียวกันกับเถ้าก้นเตา และเถ้าลอย เช่น กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium Carbide Residue)

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium Carbide Residue) เป็นวัสดุผลพลอยได้และเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสำหรับการการตัดเหล็ก และเชื่อมโลหะ สำหรับในประเทศไทยพบว่ามีแนวโน้มในการใช้ก๊าซอะเซทิลีนในโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผลของการเติบโตทางเศรษฐกิจของไทย ส่งผลให้เกิดการการ

ขยายตัวของกาซึก๊าซดังกล่าวในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้นจึงส่งผลให้มีกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งเป็นผลพลอยและเป็นวัสดุเหลือทิ้งเพิ่มขึ้น กากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งไม่ได้ประโยชน์และส่วนใหญ่จะถูกนำมาทิ้งกองรวมกันไว้ในปริมาณที่มากขึ้น และอาจเกิดปัญหาทางสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้นๆ ได้ หรืออาจกำจัดด้วยการฝังกลบลงไปในใต้ดิน กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีคุณสมบัติความเป็นด่างสูงมาก เมื่อฝังกลบอาจส่งผลให้ดินในพื้นที่บริเวณนั้นเสียและใช้เพาะปลูกไม่ได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์โดยตรงจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์สำหรับใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง โดยนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มีความละเอียด จากนั้นนำไปผสมรวมกับเถ้าลอยบดเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในระบบวัสดุประสานสามชนิด สำหรับใช้ผลิตเป็นซีเมนต์มอร์ตาร์ ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้องการสารลดน้ำพิเศษ กำลังอัด การดูดซึมน้ำ และการต้านทานคลอไรด์

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้วัสดุประสานประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 3.14 ใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าในโรงงานผลิตกระดาษ ตำบลวังขนาย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้จากโรงงานผลิตก๊าซอะเซทิลีน จังหวัดสมุทรสาคร ของประเทศไทย

กากแคลเซียมคาร์ไบด์บดให้ความละเอียด (GCCB) มีปริมาณสัดส่วนค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนัก เถ้าลอยบดละเอียด (GFFA) มีปริมาณสัดส่วนค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนัก ใช้ทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด โดยเป็นทรายสำหรับงานโครงสร้างที่มีอยู่โดยทั่วไป มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.55 และใช้สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer, SP) เพื่อปรับค่าการไหลและความสามารถทำงานได้ของส่วนผสมมอร์ตาร์

2.2 ส่วนผสมของมอร์ตาร์และการบ่ม

ส่วนผสมมอร์ตาร์ใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1:2.75 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้คงที่เท่ากับ 0.48 ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อปรับค่าการไหลและความสามารถทำงานได้

การศึกษานี้ใช้ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (CT) แทนที่ด้วยเถ้าลอยบด (GFFA) ในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน นอกจากนั้น ในระบบวัสดุประสานสามชนิดใช้ GFFA แทนที่ในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับ GCCB ในปริมาณร้อยละ 5 (15F+5C), ใช้ GFFA ในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับ GCCB ในปริมาณร้อยละ 15 (15F+15C) และ ใช้ GFFA ในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับ GCCB ในปริมาณร้อยละ 25 (20F+25C) โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ จากนั้น ใช้สัดส่วนการแทนที่ดังกล่าวนี้หาปริมาณความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อควบคุมค่าการไหลแก่กับร้อยละ 105-115 ด้วยโต๊ะทดสอบค่าการไหลตามมาตรฐานของ ASTM C230 [4] ภายหลังจากหล่อส่วนผสมของมอร์ตาร์ในแบบหล่อ ทิ้งไว้ที่ห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องได้ที่ $25 \pm 3^\circ\text{C}$ จนกระทั่งครบอายุการทดสอบ จากนั้นนำไปทดสอบกำลังอัด การดูดซึมน้ำ และการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ ในตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของมอร์ตาร์ในระบบวัสดุประสานสามชนิด

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ (% by weight)

Sample ID	W/B	Cement (CT)	Sand	GFFA	GCCB	Flow (%)	SP
CT	0.48	100	275	-	-	111	0.69
15F	0.48	85	275	15	-	110	0.14
15F+5C	0.48	80	275	15	5	111	0.22
15F+15C	0.48	70	275	15	15	115	0.31
15F+25C	0.48	60	275	15	25	110	0.65

2.3 การทดสอบกำลังอัด

ทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์โดยใช้แบบหล่อมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C109 [5] ภายหลังจากการหล่อส่วนผสมของมอร์ตาร์ในแบบหล่อทิ้งไว้ที่ห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องได้ที่ 25 ± 3 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ถอดแบบและนำมอร์ตาร์บ่มในน้ำสะอาด ทดสอบกำลังอัดที่อายุการทดสอบ 7, 28 และ 90 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์เพื่อทดสอบจำนวน 3 ก้อน เพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังอัด

2.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

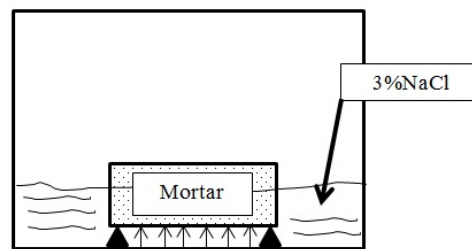
ทดสอบการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์โดยใช้แบบหล่อมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยประยุกต์ใช้การทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C642 [6] กล่าวคือ ภายหลังจากการหล่อส่วนผสมของมอร์ตาร์ในแบบหล่อและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 25 ± 3 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ดำเนินการถอดแบบและนำตัวอย่างมอร์ตาร์บ่มในน้ำสะอาด ทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุการทดสอบ 7, 28 และ 90 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์เพื่อทดสอบจำนวน 3 ก้อน เพื่อหาค่าเฉลี่ย เช่นเดียวกับการทดสอบกำลังอัด

2.5 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์

การทดสอบนี้ใช้แบบหล่อที่เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C39 [7] หลังถอดแบบหล่อที่เวลา 24 ชั่วโมง นำแท่งมอร์ตาร์แบ่งครึ่งที่กลางช่วงระยะ 100 มิลลิเมตร ตัดด้วยเครื่องตัดคอนกรีตให้ได้ 2 ชิ้น โดยวัดจากจุดกลางออกทั้ง 2 ด้าน โดยให้หนาชั้นละ 50 มิลลิเมตร

นำมอร์ตาร์ที่ได้จากการตัด ทั้ง 2 ชิ้น ไปเคลือบผิวโดยรอบด้วยอีพอกซี (Epoxy) และเคลือบปิดด้านผิวหน้ามอร์ตาร์ 1 ด้าน ทิ้งไว้เพียง 1 ด้าน นำด้านหน้าที่ไม่ได้เคลือบอีพอกซีคว่ำลงวางไว้ให้สัมผัสในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ปริมาณความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 3 (3%NaCl)

กล่าวคือ ให้ด้านที่ไม่ได้เคลือบผิว ลอยสูงสัมผัสกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ในการทดสอบนี้ให้ระดับของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ห่างจากผิวด้านล่างของตัวอย่างมอร์ตาร์เป็นระยะ 1 เซนติเมตร ซึ่งรูปการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 1 ทั้งนี้เพื่อควบคุมให้คลอไรด์ซึมผ่านด้านเดียว และนำไปตรวจสอบค่าความลึกของการซึมผ่านหน่วยเป็นมิลลิเมตร ฉีดพ่นด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (Indicator) เพื่อตรวจสอบความลึกคลอไรด์ ต่อไป



รูปที่ 1 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบแช่ในสารละลาย 3% NaCl

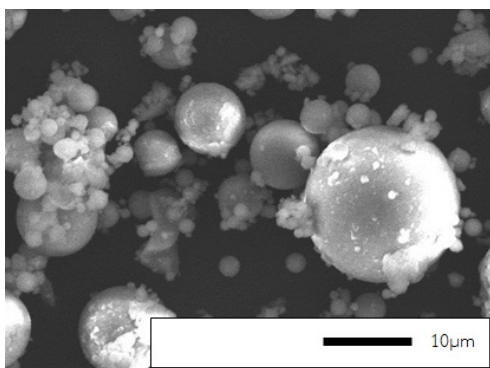
3. ผลการทดสอบ

3.1 สมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

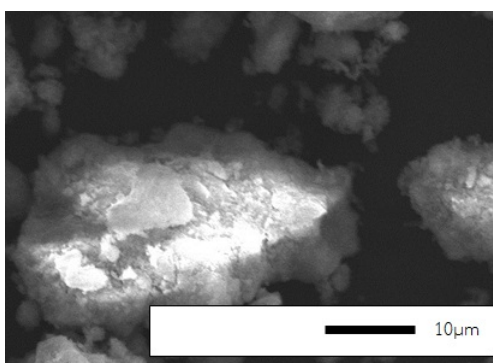
ตารางที่ 2 แสดงสมบัติพื้นฐานของเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์บด โดยการบดวัสดุปอซโซลานทั้ง 2 ชนิด ด้วยเครื่องบดวัสดุปอซโซลาน ให้มีสัดส่วนค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ในปริมาณร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนัก และนำไปหาความถ่วงจำเพาะและพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน ผลการทดสอบพบว่า เถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์บด มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.24 และ 2.43 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลนเท่ากับ 3,740 และ 3,900 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ส่วนรูปที่ 2 และ 3 แสดงภาพขยายกำลังสูง (SEM photograph) ของเถ้าลอยบด (GFFA) และ กากแคลเซียมคาร์ไบด์บด (GCCB) ซึ่งพบว่า เถ้าลอยแม้ว่าจะผ่านการบด แต่ขนาดอนุภาคที่เล็กมากซึ่งถูกบดไม่สามารถบดได้ทั่วถึง ส่งผลให้รูปร่างยังคงเป็นรูปทรงกลมตันขนาดเล็กอยู่ ขณะที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์บดมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมไม่แน่นอน [8], [9]

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

สมบัติทางกายภาพ	เถ้าลอยบด (GFFA)	กากแคลเซียมคาร์ไบด์บด (GCCB)
Retained on a sieve No. 325 (%)	10-15	10-15
Specific Gravity	2.24	2.43
Blaine Fineness (cm ² /gm) - ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	3,740	3,900



รูปที่ 2 SEM photograph ของเถ้าลอย GFFA



รูปที่ 3 SEM photograph ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ GCCB

3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

เมื่อบดเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ให้มีความละเอียด จากนั้นนำไปหาองค์ประกอบหลักทางเคมี ซึ่ง

ในตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี โดยพบว่า เถ้าลอยบด (GFFA) มีปริมาณของ CaO เท่ากับร้อยละ 12.0 มีปริมาณของ SiO₂ เท่ากับ ร้อยละ 28.4 มีปริมาณของ Al₂O₃ และ Fe₂O₃ เท่ากับร้อยละ 23.7 และ 6.58 ตามลำดับ เถ้าลอยบด มีผลรวมของ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ เท่ากับร้อยละ 73.08 ซึ่งตามมาตรฐานของ ASTM C618 [10] จัดอยู่ในประเภท CLASS F ส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์บด (GCCB) มีปริมาณของ CaO เท่ากับร้อยละ 95.0 มีปริมาณของ SiO₂ เท่ากับร้อยละ 1.4 มีปริมาณของ Al₂O₃ และ Fe₂O₃ เท่ากับร้อยละ 1.38 และ 1.5 ตามลำดับ

ผลการทดสอบนี้ มุ่งเน้นในการใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย คือ ซิลิกา (SiO₂) เพื่อผลของปฏิกิริยาปอซโซลาน ขณะที่องค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ใช้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาด้านกำลังอัดและความทนทานต่อการต้านทานคลอไรด์ของมอร์ตาร์

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

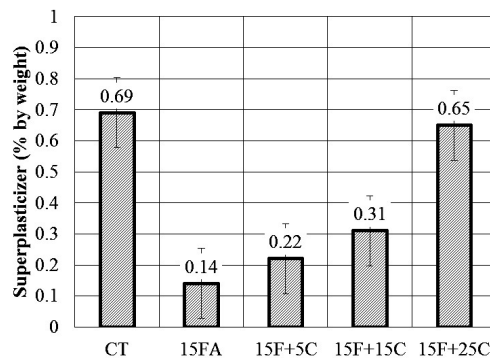
Oxides	% Oxides ของ GFFA	% Oxides ของ GCCB
SiO ₂	42.8	1.4
Al ₂ O ₃	23.7	1.3
Fe ₂ O ₃	6.58	1.5
CaO	12.0	95.0

3.3 ความต้องการสารลดน้ำพิเศษของมอร์ตาร์

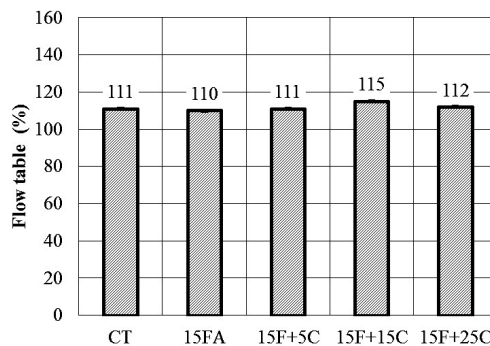
ผลการทดสอบปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษและค่าการไหลแผ่ของส่วนผสมมอร์ตาร์ แสดงไว้ในรูปที่ 4 และ 5 ผลการทดสอบพบว่า ค่าการไหลแผ่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 110-115 และปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษอยู่ในช่วงร้อยละ 0.14-0.69 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน การใช้เถ้าลอยบดผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ทดแทนที่ปูนซีเมนต์ มีแนวโน้มส่งผลให้ค่าการไหลแผ่

เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เถ้าลอยเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเถ้าลอยแม้ว่าการบดส่งผลให้รูปร่างเป็นเหลี่ยมเป็นมุม แต่บางอนุภาคที่มีขนาดเล็กยังคงเป็นทรงกลมตัน ส่งผลให้ส่วนมอร์ตาร์ยังมีความไหลลื่น [8]-[11]

ส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ด้วยเถ้าลอยบดรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์บด พบว่า ความต้องการสารลดน้ำพิเศษมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณการแทนที่ด้วย GCCB ในทุกส่วนผสม เนื่องจาก ขนาดอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์แม้ว่าผ่านการบด แต่ในตัวอย่างยังมีความพรุนอยู่บ้าง อีกทั้งรูปร่างที่เป็นเหลี่ยมมุมจากการบด อาจแทรกตัวเข้าไปในโพรงของ มอร์ตาร์ได้ยาก กล่าวคือ อาจไม่ไหลลื่นและเกิดการขัดตัว กันเองของอนุภาคจึงเกิดเป็นโพรง ดังนั้น ความต้องการ สารลดน้ำพิเศษในการทำงานจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ควรตรวจสอบและติดตามผลในด้านของโครงสร้างระดับ จุลภาค ต่อไป



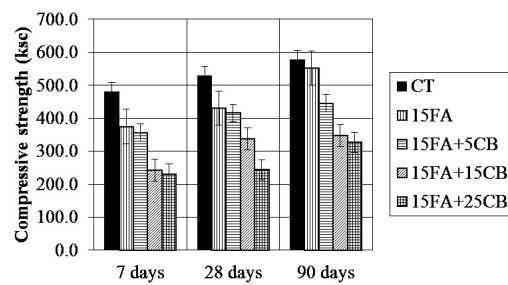
รูปที่ 4 ปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษของ ส่วนผสมมอร์ตาร์



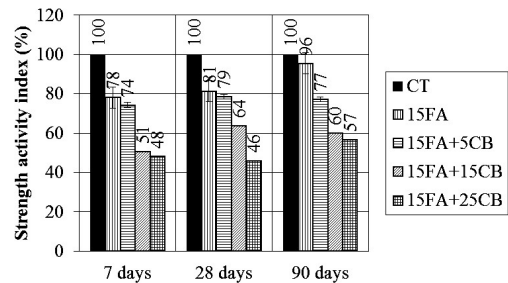
รูปที่ 5 ค่าการไหลแผ่ของส่วนผสมมอร์ตาร์

3.4 กำลังอัดของมอร์ตาร์

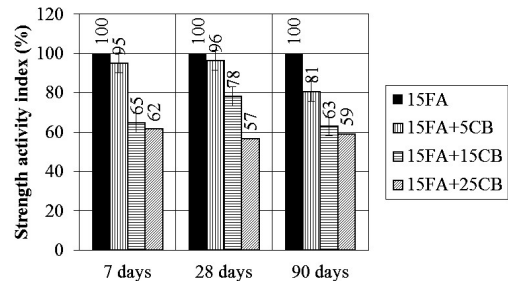
ในรูปที่ 6, 7 และ 8 แสดงผลการทดสอบกำลังอัด และร้อยละกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุ 7, 28 และ 90 วัน ตามลำดับ กำลังอัดของมอร์ตาร์พัฒนาตาม อายุการทดสอบ กล่าวคือ กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 90 วัน มีค่าสูงตามด้วยกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 และ 7 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 6 กำลังอัดของมอร์ตาร์



รูปที่ 7 ร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์เทียบกับ CT



รูปที่ 8 ร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์เทียบกับ 15FA

การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์บดผสมรวมกับ เถ้าลอย บด พบว่า มีค่ากำลังอัดต่ำในส่วนผสมเมื่อเทียบกับ

มอร์ตาร์ CT และ 15FA ส่วนการแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นกำลังอัดมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วยเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ 15FA เมื่อพิจารณาร้อยละกำลังอัด พบว่า ที่อายุ 7 วัน มอร์ตาร์มีค่าร้อยละกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม (CT) ในทุกส่วนผสม โดยมีค่าร้อยละกำลังอัดอยู่ที่ร้อยละ 48-78 ของมอร์ตาร์ควบคุม และที่อายุ 7 วัน มอร์ตาร์มีค่าร้อยละกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ 15FA ในทุกส่วนผสม โดยมีค่าร้อยละกำลังอัดอยู่ที่ร้อยละ 62-95 ที่อายุ 28 และ 90 วัน พบว่า ในทุกส่วนผสมของมอร์ตาร์มีค่าร้อยละกำลังอัดอยู่ในช่วงร้อยละ 46-96 ของมอร์ตาร์ CT และอยู่ในช่วงร้อยละ 57-96 ของมอร์ตาร์ 15FA

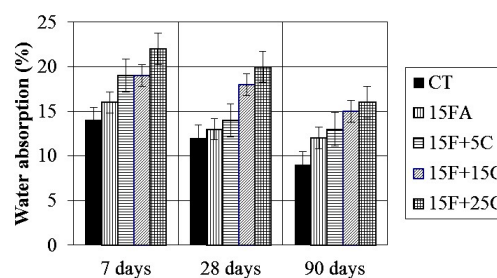
มอร์ตาร์มีการพัฒนาากำลังอัดดีขึ้นที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน กล่าวคือ ที่อายุ 28 วัน มอร์ตาร์มีค่าร้อยละกำลังอัดอยู่ในช่วงร้อยละ 46-81 ของมอร์ตาร์ CT ยกตัวอย่างเช่น มอร์ตาร์ 15FA และ 15F+5C มีค่า ร้อยละกำลังอัดที่ร้อยละ 79-81 ของ CT ซึ่งมากกว่า ร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์ควบคุม โดยพิจารณามาตรฐานของ ASTM C618 [10] เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบต์ในปริมาณร้อยละ 15 และ 25 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ร้อยละกำลังอัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 46 และ 64 ของมอร์ตาร์ CT ตามลำดับ

ที่อายุการทดสอบที่ 28 พบว่า การแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบต์ในปริมาณร้อยละ 5, 15 และ 25 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ร้อยละกำลังอัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 57, 78 และ 96 ของมอร์ตาร์ 15FA ตามลำดับ ส่วนที่อายุการทดสอบที่ 90 วัน พบว่า มอร์ตาร์ 15F+5C มีค่าร้อยละกำลังอัดที่ร้อยละ 96 ของ CT ซึ่งมากกว่า ร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์ควบคุม [10] ในขณะที่การแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบต์ในปริมาณร้อยละ 5, 15 และ 25 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ร้อยละกำลังอัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 50, 60 และ 77 ของมอร์ตาร์ CT ตามลำดับ การแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบต์ในปริมาณร้อยละ 5, 15 และ 25 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ร้อยละกำลังอัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 59, 63 และ 81 ของมอร์ตาร์ 15FA ตามลำดับ

การที่กำลังอัดของมอร์ตาร์มีการพัฒนาเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอยบดร้อยละ 15 รวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบต์บดในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน (มีค่าร้อยละ 77-79 ของ CT และมีค่าร้อยละ 81-96 ของ 15FA) เนื่องจากการเกาะหนึ่กันของวัสดุทั้งสอง และองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาในเถ้าลอยบดส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งได้จากปูนซีเมนต์และกากแคลเซียมคาร์ไบต์กับน้ำ [8]-[10] และเถ้าลอยขนาดเล็กสามารถแทรกตัวได้ดีส่งผลให้พื้นที่ผิวที่มากสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การทดสอบพบว่า มอร์ตาร์มีกำลังอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบต์บด เนื่องจาก การคงที่ของปริมาณเถ้าลอยและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาในเถ้าลอยมีปริมาณเท่าเดิม ส่วนปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในกากแคลเซียมคาร์ไบต์ผลที่ได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ไม่ได้ทำปฏิกิริยาใดกับปูนซีเมนต์ [8]-[10] จึงอาจไม่ส่งผลต่อปฏิกิริยาปอซโซลานเพิ่ม และรูปร่างที่เป็นเหลี่ยมมุมของกากแคลเซียมคาร์ไบต์อาจไปขัดกันเองในส่วนผสมจึงไม่สามารถแทรกตัวในโพรงให้มอร์ตาร์มีความทึบแน่นได้

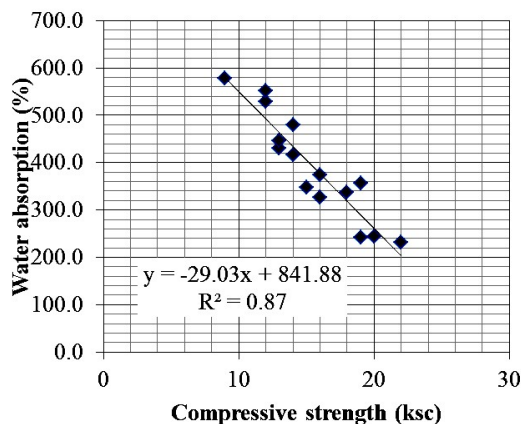
3.5 การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์แสดงไว้ในรูปที่ 9 ผลการทดสอบพบว่า การใช้เถ้าลอยบดผสมรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบต์แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นในทุกส่วนผสม ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำต่ำลงเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ



รูปที่ 9 การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

การใช้เถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 รวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน (15F+5C) มีค่าการซึมน้ำต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ 15F+15C และ 15F+25C การใช้เถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ 15F+15C และ 15F+25C เนื่องจากองค์ประกอบของซิลิกาในเถ้าลอยสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มเติมเพิ่มความทึบแน่น [12] แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดในส่วนผสมองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ปกติเหมือนปูนซีเมนต์ แต่ส่วนของอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมมุมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไม่สามารถเข้าไปแทรกตัวในโพรงมอร์ตาร์ได้ดีเนื่องจากการขัดกันเองของอนุภาค จึงส่งผลให้ความทึบแน่นของมอร์ตาร์ลดลง [8], [9] ในรูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ พบว่า เมื่อออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์ให้มีการดูดซึมน้ำต่ำส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้น [13] ดังนั้น การดูดซึมน้ำมีความสำคัญต่อการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์



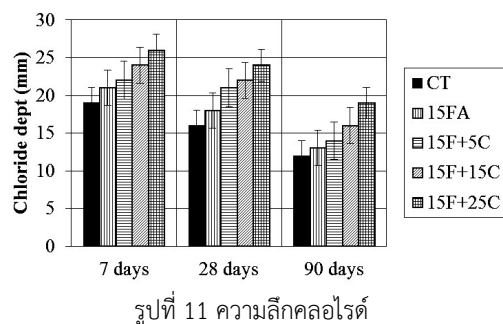
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

3.6 การแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์

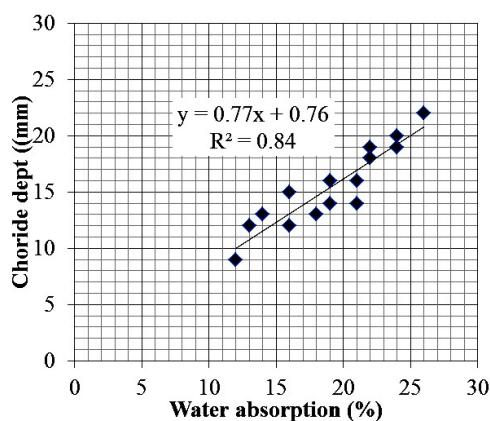
การทดสอบการแทรกซึมไม่สามารถทำได้วิธีมาตรฐาน ASTM C1202 [14] ได้ เนื่องจากมอร์ตาร์มีกำลังอัดที่ไม่สูงมาก และเกิดความร้อนในเซลล์ทดสอบที่

ใส่สารละลายทดสอบมากเกินไป ส่งผลให้แผ่นตะแกรงสำหรับทดสอบไหม้และเกิดการขาดเป็นช่องโหว่ จึงหยุดการทดสอบ และทดสอบแบบเร่งด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 60 วัน และวัดความลึกคลอไรด์ รูปการทดสอบแบบเร่งด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์แสดงไว้ในรูปที่ 1 ผลการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 11 ซึ่งพบว่า การใช้เถ้าลอยบดผสมรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์บด มีค่าความลึกของคลอไรด์สูงกว่ามอร์ตาร์ CT และ 15FA การเพิ่มอายุการทดสอบส่งผลให้ความลึกคลอไรด์ลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานสร้างความทึบแน่นและลดการแทรกซึมผ่านการศึกษานี้ ชี้ให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดในส่วนผสม ส่งผลให้เพิ่มความลึกคลอไรด์ เนื่องจากองค์ประกอบเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไม่มีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ [8]-[11] และขนาดอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมมุม และมีปริมาณที่มากในส่วนผสมจะเข้าไปขัดกันเอง ส่งผลให้เกิดช่องว่างและรูพรุน ดังนั้น คลอไรด์จึงสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ ดังนั้น ปริมาณโพรงในมอร์ตาร์อาจส่งผลต่อการดูดซึมน้ำเช่นเดียวกับการซึมผ่านคลอไรด์ โดยในรูปที่ 12 พบว่า เมื่อการดูดซึมผ่านน้ำในส่วนผสมมอร์ตาร์มีค่ามาก จึงส่งผลให้การแทรกซึมคลอไรด์สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์จึงต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและการแทรกซึมคลอไรด์

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาถึงผลของกำลังอัดพบว่าการใช้เถ้าลอยบดผสมรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน (ใช้ GFFA ในปริมาณร้อยละ 15 และ GCCB ในปริมาณร้อยละ 5) ส่งผลให้ค่ากำลังอัดสูงที่อายุ 28 และ 90 วัน หรือมีค่าร้อยละกำลังอัดร้อยละ 77-79 ของมอร์ตาร์ CT และ ค่าร้อยละกำลังอัดร้อยละ 78-81 ของมอร์ตาร์ 15FA อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งต่อไปจะได้ศึกษาวิธีการทดลองด้วยวิธีการเร่งการทดสอบแบบอื่นๆ เช่น Rapid chloride migration เป็นต้น



รูปที่ 11 ความลึกคลอไรด์



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับความลึกคลอไรด์

4. สรุปผลการทดสอบ

การศึกษาพัฒนาเถ้าลอยบดผสมรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 บางส่วน พบว่า ความต้องการสารลดน้ำพิเศษในส่วนผสมของมอร์ตาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ด้วยกากแคลเซียมคาร์ไบด์บด การใช้เถ้าลอยบดผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดแทนที่ปูนซีเมนต์ มีแนวโน้มส่งผลให้ค่าการไหลแผ่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เถ้าลอยเพียงอย่างเดียว การใช้เถ้าลอยบดผสมรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน (ใช้ GFFA ในปริมาณร้อยละ 15 และ GCCB ในปริมาณร้อยละ 5) ส่งผลให้ค่ากำลังอัดสูงที่อายุ 28 และ 90 วัน หรือมีค่าร้อยละกำลังอัดร้อยละ 77-79 ของมอร์ตาร์ CT และ ค่าร้อยละกำลังอัดร้อยละ 78-81 ของมอร์ตาร์ 15FA การใช้

เถ้าลอยบดผสมรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์บดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและความลึกคลอไรด์สูงขึ้นในส่วนผสม ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำและความลึกคลอไรด์ต่ำลงเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และศูนย์วิจัยโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Sathonsaowapark, P. Chindapasirt and K. Pimraksa, "Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar," *J. Harz. Mater.*, vol. 168, pp. 44-50, 2009.
- [2] P. Chindapasirt, S. Rukzon and V. Sirivivatnanon, "Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no.5, pp. 932- 938, 2008.
- [3] P. Chindapasirt and W. Chalee, "Effect of sodium hydroxide concentration on chloride penetration and steel corrosion of fly ash-based geopolymer concrete under marine site," *Constr. Build. Mater.*, vol. 63, pp. 303-310, 2014.
- [4] ASTM C230, "Standard Specification for Flow Table for use in Tests of Hydraulic Cement," *Annual Book of ASTM Standard.*, vol. 04.01, pp. 206- 211, 2005.
- [5] ASTM C109, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or [50 mm] Cube

- Specimens),” Annual Book of ASTM Standards., Vol. 04.01, pp. 76- 81, 2005.
- [6] ASTM C642, “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete,” Annual Book of ASTM Standards., vol. 04.02, pp. 338-340, 2005.
- [7] ASTM C39, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,” Annual Book of ASTM Standards., vol. 04.02, 21-27, 2005.
- [8] P. Krammart and S. Tangtermsirikul, “Properties of cement made by partially replacing cement raw materials with municipal solid waste ashes and calcium carbide waste,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 18, pp. 579-583, 2004.
- [9] N. Makaratat, C. Jaturapitakkul and T. Laosamathikul, “Effects of Calcium Carbide Residue–Fly Ash Binder on Mechanical Properties of Concrete,” *J. Mater. Civil Eng.*, vol. 22, no. 11, pp. 1164-1170, 2010.
- [10] ASTM C618. “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete,” Annual Book of ASTM Standard., vol. 04.02, pp. 323-325, 2005.
- [11] K. Somna, C. Jaturapitakkul and P. Kajitvichyanukul, “Microstructure of Calcium Carbide Residue–Ground fine fly ash Paste,” *J. Mater. Civil Eng.*, vol. 23, no. 3, pp. 298-304, 2010.
- [12] A.M. Neville, “*Properties of concrete*,” 4 th and Final Edition, Malaysia: Longman Group Limited, 1995.
- [13] S. Rukzon and P. Chindaprasirt, “Strength, Chloride Penetration and Corrosion Resistance of Ternary Blends of Portland Cement Self-compacting Concrete Containing Bagasse Ash and Rice Husk-bark Ash,” *Chiang Mai J. Sci.*, vol. 45, no. 4, pp. 863-1874, 2018.
- [14] ASTM C1202, “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration,” Annual Book of ASTM Standard., vol. 04.02, pp. 646-651, 2001.