บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

คุณสมบัติของค่าการไหลและกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบ

The features of the flow and compressive strength of the mortar fly ash and rice husk ash

ธีรศักดิ์ นราพิทักษ์[1], ณัฐภัทร น้อยพินิจ[1] และพิพัฒน์ขำบัว[1]

จักรพันธ์ แสงสุวรรณ[2], อนุรักษ์ เทพกรณ์[2]

[1]นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

[2]อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ , กำลังอัดประลัยของตัวอย่างมอร์ต าร์ซึ่งมีวัสดุประสานที่ใช้เถ้าลอยและเถ้าแกลบเป็นส่วนผสมโดยแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ผลการศึกษาพบว่า ค่าก ารไหลแผ่ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าลอย , แทนที่ด้วยเถ้าแกลบและแทนที่ด้วยเถ้าลอยร่ วมกับเถ้าแกลบมีค่ามากกว่ามอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน นอกจากนี้พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยเถ้าแกลบ มีผลทำให้กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ช่วงอายุต้นมีแนวโน้มน้อยกว่า แต่เมื่ออายุมากขึ้นกับให้ใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน แต่กำลังอัดประลัยของมอร์ต าร์เถ้าลอยช่วงอา ยุต้นน้อยกว่า แต่เมื่ออายุมอร์ต าร์มากขึ้นมีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

คำสำคัญ : เถ้าลอย, เถ้าแกลบ, การไหลแผ่, กำลังอัดประลัย

Abstract

This study was conducted to study the morphological distribution of the mortar. Compaction of mortar specimens of cementitious materials using fly ash and rice husk as substitute in Portland cement.

The results showed that the flow rate of Portland cement mortar was replaced by fly ash, replaced with rice husk ash and replaced with fly ash with the husk ash than that of mortar. In addition, the replacement of Portland cement With rice husk ash, the morphological strength of the mortar was significantly lower. But at the age of adjoining, when comparing mortar mortar Portland The compressive strength of fly ash mortar was lower At the age of mortar, the values were close to those of Portland Cement.

Keywords: Fly ash, Rice husk ash, Flow, Compressive strength.

1. บทนำ

เนื่องจากปัญหาสภาวะโลกร้อนและกระแสการอนุรักษ์และกระแสการอนุรักษ์พลังงานรวมถึงสภาวะการแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจปัจจุบัน ทำให้มีการนำวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์มาใช้ใ นอุตสาหกรรมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น [1]

สำหรั บประเทศไทยได้มีการนำเถ้าลอยซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านหินในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนมาใช้ผลิตคอนกรีตผสมเถ้าลอยอย่างแพร่หลาย ปริมาณเถ้าลอยที่มีอยู่ในประเทศไทยโดยเฉพาะเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีปริมาณสูงถึง 3 ล้านตันต่อปีหากนำมาใช้จะ เกิดประโยชน์ต่อประเทศอย่างมาก ซึ่งในอดีตการใช้เถ้าลอยยังคงมีปัญหาเรื่องการควบคุมคุณภาพและความสม่ำเสมอขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย ในปี พ .ศ. 2533 เป็นต้นมาได้มีการปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติของเถ้าลอยให้มีความสม่ำเสมอทำให้เริ่มมีการนำเถ้าลอยมาใช้อย่างจริงจัง เถ้าลอยจึงกลายเป็นสินค้าที่ต้องสั่งข้ามปีและได้เข้ามามีบทบาทแทนที่ปูนซีเมนต์ทำให้ประเทศลดการใช้ปูนซีเมนต์ปีละกว่า 2,000 ล้านตัน ประหยัดเงินได้ปีละนับ 1,000 ล้านบาท

นอกจากใช้เถ้าลอยผสมคอนกรีต แล้ว ปัจจุบันยังมีการนำเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบที่เ หลือจากกระบวนการสีข้าว ปีๆ หนึ่ง ประเทศไทยได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 4 ล้านตัน เมื่อนำแกลบมาเผาจะเหลือขี้เถ้าแกลบประมานร้อยละ 20 ของน้ำหนักเดิม ผลทางเคมีพบว่าในเถ้าแกลบมีซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบร้อยละ 70-90 และเถ้าแกลบมีความพรุนและน้ำหนักเบามาก มีคุณสมบั ติดูดซับดี [2] อีกทั้งยังเป็นฉนวน ซึ่งเถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลานสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้บางส่วนในการทำคอนกรีต ได้ จากข้อดีของเถ้าแกลบดังกล่าวทำให้มีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้ในปริมาณมากขึ้น

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการ ศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ผงหินปูน ทราย น้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน มอก .80-2517 โดยเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่และไม่จับตัวเป็นก้อน

2. เถ้าลอย จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

3. เถ้าแกลบ ที่ผ่านการเผาไหม้ นำมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325

4. ทราย ใช้ทรายที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

5. น้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำประปา

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของมอร์ต าร์ที่ใช้ในการห าค่าการไหลและใช้อัตราส่วนน้ำต่อ วัสดุเท่ากับ 0.55 สำหรับหากำลัง รับแรงอัดของมอร์ตาร์

ที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กก.)				
		ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	เถ้าแกลบ	ทราย	น้ำ
1	OPC	0.40	-	-	1.16	0.22
2	OPC-20FA	0.32	0.08	-	1.16	0.22
3	OPC-40FA	0.24	0.16	-	1.16	0.22
4	OPC-50FA	0.20	0.20	-	1.16	0.22
5	OPC-10RHA	0.36	-	0.04	1.16	0.22
6	OPC-15RHA	0.34	-	0.06	1.16	0.22
7	OPC-20RHA	0.32	-	0.08	1.16	0.22
8	OPC-20FA-10RHA	0.28	0.08	0.04	1.16	0.22
9	OPC-20FA-15RHA	0.26	0.08	0.06	1.16	0.22
10	OPC-20FA-20RHA	0.24	0.08	0.08	1.16	0.22
11	OPC-30FA-10RHA	0.24	0.12	0.04	1.16	0.22
12	OPC-30FA-15RHA	0.22	0.12	0.06	1.16	0.22
13	OPC-30FA-20RHA	0.20	0.12	0.08	1.16	0.22

2.2 วิธีการทดสอบ

คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และเถ้าแกลบเป็นส่วนผสม

สำหรับคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และเถ้าแกลบ เป็นส่วนผสม ที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย ร้อยละการไหลแผ่ของมอร์ต าร์ และกำลังอัด ประลัยของม อร์ต าร์ มีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังนี้

2.2.1 การไหลแผ่ของมอร์ตาร์

การไหลแผ่ (Flow Value) ของมอร์ต าร์ ซึ่งกระทำตามมาตรฐาน ASTM C 124 [3] ด้วยโต๊ะทดสอบการไหล (Flow Table)

ขั้นตอนการทดลอง

หลังจากทำการผสม มิกซ์ที่จะทำการทดสอบ (ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย เถ้าแกลบ) มอร์ตาร์ตามมาตรฐานแล้ว ให้ทำการทดสอบการไหลแผ่ตามวิธีการดังกล่าวต่อไปนี้

1. ใส่มิกซ์ที่จะทำการทดสอบ (ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย เถ้าแกลบ) มอร์ตาร์ลงในโมลด์ (Flow Mold) เป็น 2 ชั้น

2. หมุนให้ท่อนของ โต๊ะทดสอบการไหล (Flow Table) สูง (1.27 มม.) กระแทก 25 ครั้ง ใน 15 วินาที เสร็จแล้ว วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไหลแผ่อยู่บนแท่นจำนวน 4 ค่าตามแนวเส้น นำค่ามารวมกันจนกระทั่งได้การไหลแผ่

2.2.2 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์

กำลังอัดประลัย (Compressive Strength) ของมอร์ต้าร์ ซึ่งประยุกต์ใช้จากมาตรฐาน ASTM C109 โดยใช้ตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม.^{3} ที่อายุ 7 และ 28 วัน

ขั้นตอนในการทดสอบ

1. ทำการเตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์ และนำตัวอย่างไปทำการบ่มน้ำเป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน แล้วเมื่อครบกำหนดให้นำออกจากการบ่มน้ำ

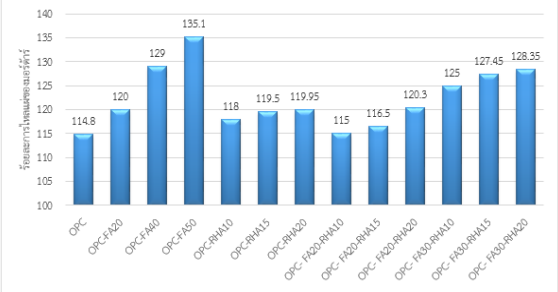
2. นำตัวอย่างมอร์ตาร์มาทดสอบหาแรงอัดประลัยด้วยเครื่ องทดสอบแรงอัด

3. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

3.1 การไหลแผ่ของมอร์ตาร์

ค่าการไหลแผ่ (flow value) ของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน มอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าลอ ยและเถ้าแกลบ แสดงดังรูปที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่เท่ากัน คืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่า กับ 0.55 พบว่า การไหลแผ่ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าลอยนั้นกลับให้ ค่าการไหลแผ่ที่มากกว่าของมอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ล้วนแทนที่ด้วยเถ้าลอยนั้นกลับให้ ค่าการไหลแผ่ที่มากกว่าของมอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณการแทนที่เถ้าลอยที่มากขึ้น ทั้งนี้เพราะอนุภาคของเถ้าลอยที่กลมจึงช่วยในการลื่นไหลทำให้ค่าการไหลแผ่มากขึ้น ในขณะที่การไหลแผ่ของมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบมีค่ามากกว่ากว่าของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน แ ต่น้อยกว่ามอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าลอย

ส่วนกรณีแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถ้าแกลบก็ให้ผลสอดคล้องกับกรณีแทนที่ด้วยเถ้าลอยหรือเถ้าแกลบอย่างเดียว



รูปที่ 1 ค่าการไหลของมอร์ตาร์ควบคุมและมอร์ตาร์แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและเถ้าแกลบ

3.2 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์

ตารางที่ 2 และรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 6 แสดงผลการศึกษากำลังอัดประลัยของมอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน , มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20, 40 และ 50, มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่เถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20, มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20, มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 อธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 2 กำลังอัดประลัยตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบที่บ่มในน้ำอายุ 7 วัน และ 28 วัน

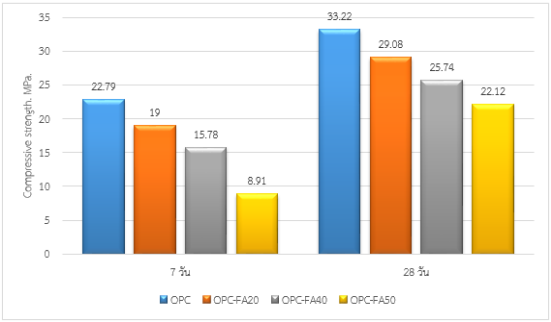
ที่	สัญลักษณ์	กำลังอัดประลัย (MPa)	
		7 วัน	28 วัน
1	OPC	22.79	33.22
2	OPC-FA20	19.00	29.08
3	OPC-FA40	15.78	25.74
4	OPC-FA50	8.91	22.12
5	OPC-RHA10	15.90	27.26
6	OPC-RHA15	9.61	22.07
7	OPC-RHA20	8.74	19.00
8	OPC- FA20-RHA10	9.66	20.13
9	OPC- FA20-RHA15	7.85	18.31
10	OPC- FA20-RHA20	6.44	16.05
11	OPC- FA30-RHA10	8.70	19.02
12	OPC- FA30-RHA15	7.76	16.87
13	OPC- FA30-RHA20	4.44	15.21

จากรูปที่ 2 พบว่ากำลังอัดประลัยของมอร์ต าร์ปูนซีมเนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ ด้วยเถ้าลอยทั้งร้อยละ 20, 40 และ 50 ให้ค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนโดยเฉพาะเมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 50 จะให้ค่าค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง การไฮเดรชั่นจึงเกิดน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออายุมากขึ้นการพัฒนากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลาน

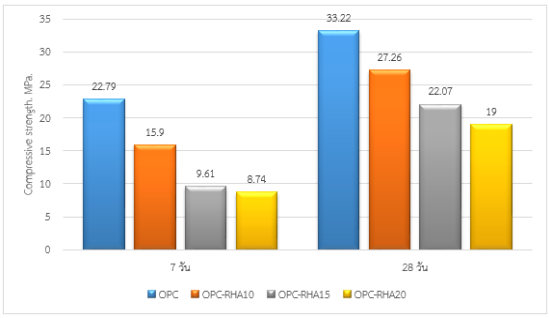
กำลังอัดประลัยของมอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แ ทนที่ด้วยเถ้าแกลบแสดงดังรูปที่ 3 พบว่ากำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ (รูปที่ 3) เมื่อแทนที่ด้วยร้อยละที่มากขึ้น จะให้ค่าค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง การไฮเดรชั่นจึงเกิดน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออายุมากขึ้นการพัฒนากำลัง อัดประลัยของมอร์ต าร์ผสมแกลบจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลาน

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบ เทียบระหว่า งกำลังอัดประลัยของตัวอย่างมอร์ตาร์เถ้าลอยกับมอร์ต าร์เถ้าแกลบ (รูปที่ 4) พบว่ากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์เถ้าลอย มีค่ามากกว่าของมอร์ตาร์เถ้าแกลบ

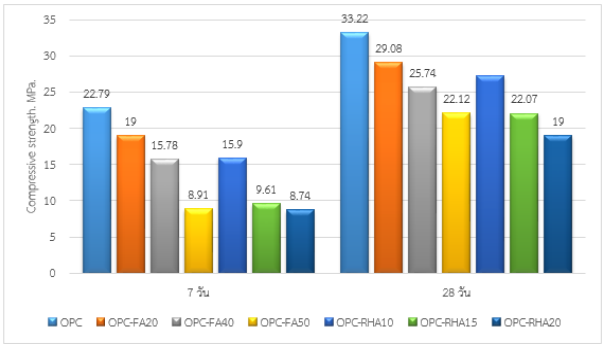
ส่วนรูปที่ 5 และ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอั ด ประลัยกับอายุของตัวอย่างมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และ มอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้ า ลอยร่วมกับเถ้าแกลบ พบว่ามอร์ต าร์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 20 และร้อยละ 30ร่วมกับเถ้าแกลบทั้งร้อยละ 10, 15 และ 20 ทุกสัดส่วนที่ศึกษาในครั้งนี้ให้ค่ากำลังอัดประลัยที่น้อยกว่าของปูนซีเมนต์



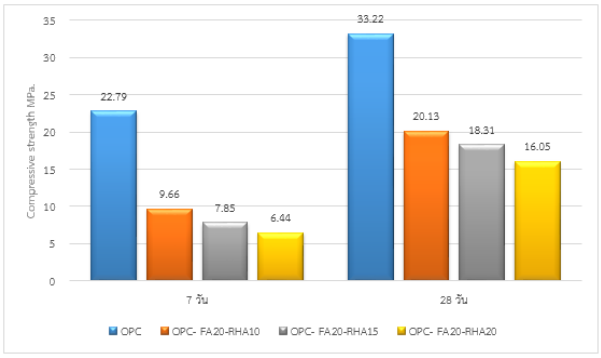
รูปที่ 2 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ควบคุมและแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20, 40 และ 50



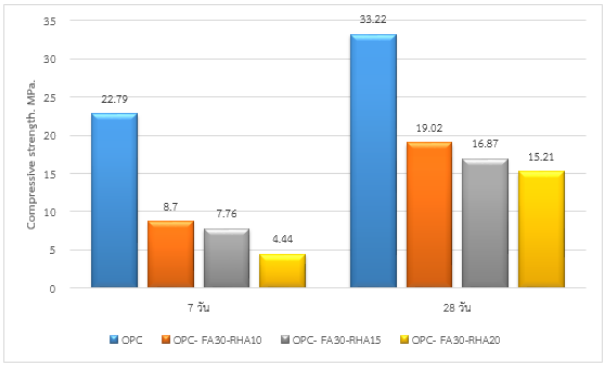
รูปที่ 3 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ควบคุมและแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20



รูปที่ 4 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์แทนที่ด้วยเถ้าลอยและเถ้าแกลบ



รูปที่ 5 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์คอนกรีตควบคุมและแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20



รูปที่ 6 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์คอนกรีตควบคุม และแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20

4. สรุปผลการทดสอบ

1. ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยเถ้าลอย แทนที่ด้วยเถ้าแกลบและแทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถาแกลบมีค่ามากกว่ามอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

2. การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบมีผลทำให้กำลังอัดประลัยของมอร์ ตาร์ช่วงอายุ ที่น้อยมีแนวโน้มที่ต่ำกว่ามอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ล้วน แต่เมื่ อการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าแกลบอายุ มากขึ้นกับให้ค่าใกล้เคียงมอร์ต าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน (ถ้าแทนในปริมาณที่เหมาะสม) และการแทนที่ด้วยเถ้าลอยพบว่ามีกำลังอัดประลัยช่วงอ ายุต้นน้อยกว่าแต่เมื่ออายุมอร์ตาร์มากขึ้นมีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรี ยบเทียบมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถ้าแกลบส่งผลให้กำลังอัดประลัยทั้งอายุต้นและอายุปลายของมอร์ตาร์อายุน้อยกว่ามอร์ต้าร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

5. กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรพันธ์ แสงสุวรรณ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านเงินทุนสำหรับการจัดทำโครงการวิจัยเรื่องคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบ และให้คำปรึกษาแนะนำ ให้ข้อคิ ดเห็น ช่วยเหลือ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ดูและเอาใจใส่เป็นอย่างดี ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือ อีกทั้งยังให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และสถานที่ใน การดำเนินการวิจัย ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ . (2543). ความคงทนของคอนกรีต , พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท จุดทอง จำกัด , กรุงเทพมหานคร

[2] ปิติ สุคนธสุขกุล. (2549). คอนกรีตขั้นพื้นฐาน, พิมพ์ครั้งที่ 2, ศูนย์ผลิตตำราเรียน , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , กรุงเทพมหานคร.

[3] ASTM C124. (1971). Standard Test Method of Test for Flow of Portland-Cement Concrete by Use of the Flow Table, ASTM International, West Conshohocken, PA.