บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบ

Basic Properties of Concrete 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

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาความข้นเหลวของตัวอย่างเพสต์ การก่อตัวของตัวอย่างเพสต์และกำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งมีวัสดุประสานที่ใช้เถ้าลอยและเถ้าแกลบเป็นส่วนผสมโดยแทนที่ในปูนซีเมนต์

ผลการศึกษาพบว่าความ ข้นเหลวของเพสต์ปูนซีเมนต์ ที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบมีค่ามากกว่าเพสต์ซีเมนต์ แต่เพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยมีความต้องการน้ำน้อยกว่าของเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วน ส่วนการก่อตัว (ระยะต้นและระยะปลาย) ของเพสต์ปูนซีเมนต์ แทนที่ด้วยเถ้าลอย แทนที่ด้วยเถ้าแกลบและแทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถ้าแกลบมีค่ามากกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วน นอกจากนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าแกลบมีผลทำให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตช่วงอายุที่น้อยมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน แต่เมื่อการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าแกลบอายุมากขึ้นกับให้ค่ามากกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ ล้วน (ถ้าแทนในปริมาณที่เหมาะสม) และการแทนที่ด้วยเถ้าลอยพบว่ามีกำลังอัดประลัยช่วงอายุต้นน้อยกว่าแต่เมื่ออายุคอนกรีตมากขึ้นมีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วนส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถ้าแกลบส่งผลให้กำลังอัดประลัยทั้งอายุต้นและอายุปลายของคอนกรีตมากกว่าหรือใกล้เคียงปูนซีเมนต์ล้วน (ถ้าแทนในปริมาณที่เหมาะสม)

คำสำคัญ : เถ้าลอย, เถ้าแกลบ, การก่อตัว, กำลังอัดประลัย

Abstract

This study was conducted to investigate the liquid concentration of paste samples. Formation of paste and compressive strength of concrete specimens of cementitious materials using fly ash and rice husk as substitute in Portland cement.

The results showed that the liquid concentration of Portland cement paste Replacing rice husk ash is more valuable than Portland cement paste. However, Portland cement paste replaced with fly ash has less water requirement than pure pectate cement. The formation (start and finish) of Portland cement paste replaced with fly ash replaced with rice husk ash and replaced with fly ash with rice husk ash was higher than that of Portland cement. In addition, replacing Portland cement. With rice husk ash, the compressive strength of concrete at lower age was significantly lower than that of Portland cement. But when replacing Portland cement. Older rice husk ash gave higher values than Portland concrete. The replacement of fly ash was found to be less compressive than the age of concrete, but at the age of the concrete, the values were similar when compared to the Portland cement. As a result, the compressive strength of the concrete is higher than that of Portland cement. (If instead of the right amount)

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

1. บทนำ

เนื่องจากปัญหาสภาวะโลกร้อนและกระแสการอนุรักษ์และกระแสการอนุรักษ์พลังงานรวมถึงสภาวะก ารแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจปัจจุบัน ทำให้มีการนำวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีตเพิ่มมาก [1]

สำหรับประเทศไทยได้มีการนำเถ้าลอยซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านหินในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนมาใช้ผลิตคอนกรีตผสมเถ้าลอยอย่างแพร่หลาย ทำให้เริ่มมีกา รนำเถ้าลอยมาใช้อย่างจริงจัง เถ้าลอยจึงกลายเป็นสินค้าที่ต้องสั่งข้ามปีและได้เข้ามามีบทบาทแทนที่ปูนซีเมนต์ทำให้ประเทศลดการใช้ปูนซีเมนต์ปีละกว่า 2,000 ล้านตัน ประหยัดเงินได้ปีละนับ 1,000 ล้านบาท [2]

นอกจากใช้เถ้าลอยผสมคอนกรีต แล้ว ปัจจุบันยังมีการนำเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบที่เหลือจากกระบวนการสี ผลทาง

เคมีพบว่าในเถ้าแกลบมีซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบร้อยละ 70-90 และเถ้าแกลบมีความพรุนและน้ำหนักเบามาก มีคุณสมบัติดูดซับดี อีกทั้งยังเป็นฉนวน ซึ่งเถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลานสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้บางส่วนในการทำคอนกรีต ได้ จากข้อดีของเถ้าแกลบดังกล่าวทำให้มีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้ในปริมาณมากขึ้น

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย เถ้าแกลบ ทราย น้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของเพสต์ หรือ วัสดุประสานที่ใช้ในการหาค่าความข้นเหลวปกติและการก่อตัว

ที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)			
		ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	เถ้าแกลบ	น้ำ
1	OPC	500	-	-	120
2	OPC-20FA	400	100	-	120
3	OPC-40FA	300	200	-	120
4	OPC-50FA	250	250	-	120
5	OPC-10RHA	450	-	50	120
6	OPC-15RHA	425	-	75	120
7	OPC-20RHA	400	-	100	120
8	OPC-20FA-10RHA	350	100	50	120
9	OPC-20FA-15RHA	325	100	75	120
10	OPC-20FA-20RHA	300	100	100	120
11	OPC-30FA-10RHA	300	150	50	120
12	OPC-30FA-15RHA	275	150	75	120
13	OPC-30FA-20RHA	250	150	100	120

ตางรางที่ 2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต ขนาด 15x15x15 ซม.^{3} จำนวน 3 โมล โดยน้ำหนัก เมื่ อใช้อัตราส่วน น้ำต่อวัสดุเท่ากับ 0.55 ที่ใช้สำหรับหากำลังอัดคอนกรีต

ที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กก.)					
		ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	เถ้าแกลบ	ทราย	หิน	น้ำ
1	OPC	1.020	-	-	2.12	4.40	0.56
2	OPC-20FA	0.816	0.204	-	2.12	4.40	0.56
3	OPC-40FA	0.612	0.408	-	2.12	4.40	0.56
4	OPC-50FA	0.510	0.51	-	2.12	4.40	0.56
5	OPC-10RHA	0.918	-	0.102	2.12	4.40	0.56
6	OPC-15RHA	0.867	-	0.153	2.12	4.40	0.56
7	OPC-20RHA	0.816	-	0.204	2.12	4.40	0.56
8	OPC-20FA-10RHA	0.714	0.204	0.102	2.12	4.40	0.56
9	OPC-20FA-15RHA	0.663	0.204	0.153	2.12	4.40	0.56
10	OPC-20FA-20RHA	0.612	0.204	0.204	2.12	4.40	0.56
11	OPC-30FA-10RHA	0.612	0.306	0.102	2.12	4.40	0.56
12	OPC-30FA-15RHA	0.561	0.306	0.153	2.12	4.40	0.56
13	OPC-30FA-20RHA	0.510	0.306	0.204	2.12	4.40	0.56

2.2 วิธีการทดสอบ

คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และเถ้าแกลบเป็นส่วนผสม

สำหรับคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และเถ้าแกลบ เป็นส่วนผสม ที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย ความข้นเหลวปกติของเพสต์ ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต มีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังนี้

2.2.1. ความข้นเหลวปกติของเพสต์

ความข้นเหลวปกติของเพสต์ (Normal Consistency) กระทำตามมาตรฐาน ASTM C187-98 [3] ด้วยเครื่องไวแคท (Vicat Apparatus)

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างการทดสอบอัดเข้าสู่บล็อกกรวย แล้วนำไ ปไว้ใต้เข็มทดสอบไวแคทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาด 10 ม.ม.

2. จับเวลาที่เข็มจมลงไป 10 ม.ม. ในเวลา 30 วินาที จะได้ค่าความเข้มข้นเหลวปกติของเพสต์นั้นๆ

2.2.2 ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์

ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ของเพสต์ ซึ่งทำการทดสอบหาระยะเวลาก่อตัวระยะต้น (Initial Setting Time) และระยะเวลาก่อตัวระยะปลาย (Final Setting Time) กระทำตามมาตรฐาน ASTM C 191-99 [4] ด้วยเครื่องมือไวแคท

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างการทดสอบอัดเข้าสู่บล็อกกรวย แล้วนำไปไว้ใต้ใต้เข็มทดสอบไวแคทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาด 1 ม.ม.

2. จับเวลาที่เข็มจมลงไปในทุกๆ 15 นาที จะได้ค่าการก่อตัวระยะต้นและระยะการก่อตัวปลายของเพสต์

2.2.3 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัย (Compressive Strength) ของคอนกรีตประยุกต์ใช้ตามมาตรฐาน ASTM C109 ที่อายุ 7 และ 28 วัน โดยใช้ตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม.^{3} ที่อายุ 7 และ 28 วัน

<u>ขั้นตอนในการทดสอบ</u>

1. ทำการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตและนำตัวอย่างไปทำการบ่มน้ำเป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน แล้วเมื่อครบกำหนดให้นำออกจากการบ่มน้ำ

2. นำคอนกรีตมาทดสอบหากำลังรับแรงอัดประลัยด้วยเครื่องทดสอบแรงอัด

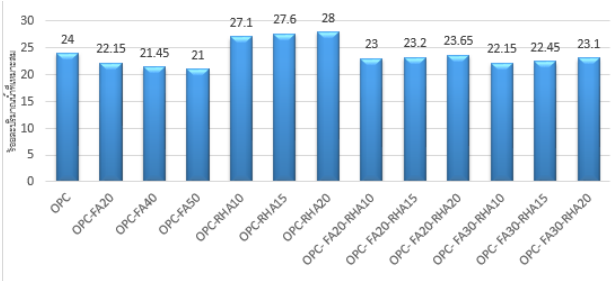
3. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

3.1 ปริมาณที่เหมาะสมของเพสต์

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์ , เพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ ร้อยละ 10, 15 และ 20, เพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอย ร้อยละ 20, 40 และ 50, เพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 20, เพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 20 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3 พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วนมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 24.00 และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอย ร้อยละ 20 ร้อยละ 40 และร้อยละ 50 ได้เท่ากับร้อยละ 22.15, 21.45 และ 21.00 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ดังกล่าวน้อยกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ปริมาณเถ้าลอยในปริ มาณที่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยมีอนุภาคที่กลมจึงช่วยในการลื่นไหล

ส่วนปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ ร้อยละ 10, 15 และ 20 ได้เท่ากับร้อยละ 27.10, 27.60 และ 28.00 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ล้วน ซึ่งในกรณีอาจเป็นเพราะความถ่วงจำเพาะของ เถ้าแกลบมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ จึงทำให้เพิ่มปริมาณมากขึ้นพื้นที่ผิวมาก จึงต้องการน้ำมากในการเคลือบผิว

กรณีเพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 20 พบว่าให้ค่าในทิศทางที่สอดคล้องกับการแทนที่ด้วยเถ้าลอยและเถ้าแกลบ กล่าวคือเพสต์ที่มีเถ้าลอยในปริมาณที่มากเป็นส่วนผสม จะทำให้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น ผลจากอนุภาคที่กลมของเถ้าลอย



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและเถ้าแกลบ

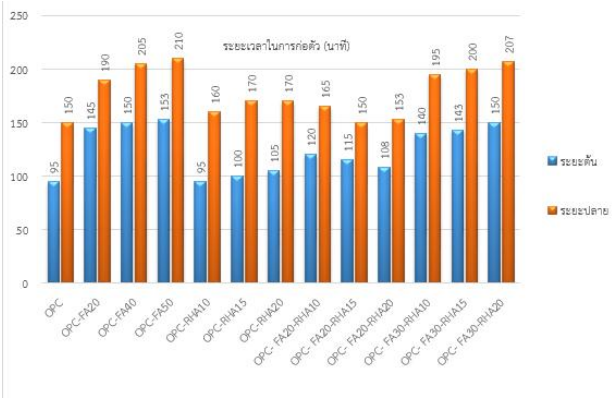
3.2 ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์

เวลาก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วน , เพสต์ปูนซีเมนต์ แทนที่ ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20, 40 และ 50, เพสต์ปูนซีเมนต์แท นที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20, เพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20, เพสต์ปูนซีเมนต์ แทนที่ด้วย เถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20 แสดงดังรูปที่ 4

จากรูป ที่ 4 พบว่าการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ร้อยละ 40 และร้อยละ 50 มีค่ามากกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง การไฮเดรชันจึงเกิดได้น้อย รวมทั้งปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดหลังหรือช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานต้องอาศัยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ในการทำปฏิกิริยาโดยที่แคลเซี ยมไฮดรอกไซด์นั้นเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ส่วนกรณีเพสต์ของปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ พบว่าเวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ทั้งหมดมีค่ามากกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วนโดยเฉพาะเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการแทนที่เถ้าแกลบไปลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงจึงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยลง ทำให้การก่อตัวนานขึ้น

สำหรับเวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถ้าแกลบ พบว่ายังมีค่ามากกว่าของเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของเถ้าลอยและเถ้าแกลบที่มีผลต่อเวลาการก่อตัวดังที่กล่าวมาแล้ว



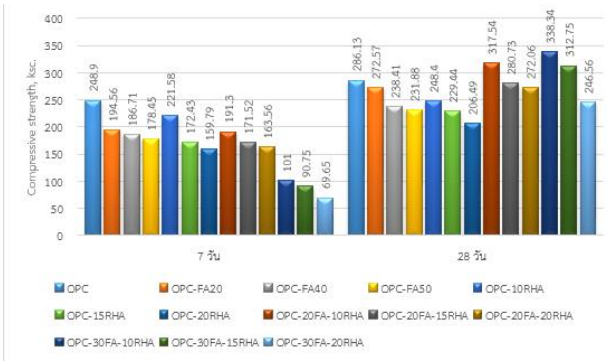
รูปที่ 4 เวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของเพสต์แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย และเถ้าแกลบ

3.3 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

รูปที่ 5 แสดงกำลังอัดประลัย (Compressive Strength) ของคอนกรีตที่ศึกษาในครั้งนี้ โดยศึกษากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

(ขนาด 15x15x15 ซม.^{3}) ซึ่งมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน, ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20, 40 และ 50, ปูนซีเมนต์แทนที่เถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20, ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20, ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับเถ้าแกลบร้อยละ 10, 15 และ 20 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุปกระสาน 0.55 โดยศึกษาที่อายุของตัวอย่างคอนกรีตที่ 7 วัน และ 28 วัน พบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน ของปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยมีแ นวโน้มจะน้อยกกว่าของปูนซีเมนต์ล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ด้วยเถ้าลอยปริมาณมาก เป็นเพราะปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดน้อยในคอนกรีตอายุน้อย

สำหรับคอนกรีตปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบที่ร้อยละ 10 พบว่ากำลังอัดประลัยคอนกรีตมีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ล้วน แต่พอเมื่อ เพิ่มการแทนที่เข้าไปในร้อยละที่มากขึ้นกำลังอัดประลัยของคอนกรีตแทนที่ด้วยเถ้าแกลบก็ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานน้อยลงส่วนเ มื่อแทนที่ด้วยปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถ้าแกลบ และให้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตสอดคล้องกับ การแทนที่ด้วยเถ้าลอยละผงหินปูน กล่าวคือถ้ามีเถ้าลอยและเถ้าแกลบผสมอยู่ในปริมาณมากแนวโน้มจะทำให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์ล้วน แต่ในทางกลับกันปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าแกลบเมื่อมีอายุที่มากขึ้น (28วัน) กับทำให้กำลังอัดประลัย มากขึ้นแต่ถ้าปริมาณเถ้าแกลบมากกำลังอัดประลัยก็จะลดลง ส่วนกรณีของปูนซีเมนต์ผสมด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถ้าแกลบ ให้ค่ากำลังอัดประลัยที่สูงมากกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่น้ำไปทำปฏิกิริยาไฮเดรชันภายในโมเลกุลที่บ่มอยู่ในน้ำในเวลาที่นานขึ้นจึงทำให้รับกำลังอัดประลัยได้มากขึ้น



รูปที่ 5 กำลังอัดประลัยของคอนกรีตควบคุม และแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและเถ้าแกลบ

4. สรุปผลการทดสอบ

1. ความต้องการน้ำของเพสต์ปูนซีเมนต์ที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบมีค่ามากกว่าเพสต์ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน แต่เพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอยมีความต้องการน้ำน้อยกว่าของเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วน

2. การก่อตัว (ระยะต้นและระยะปลาย) ของเพสต์ปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าลอย แทนที่ด้วยเถ้าแกลบและแทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถาแกลบมีค่ามากกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วน

3. การ แทนที่ ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบมีผลทำให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตช่วงอายุที่น้อยมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน แต่เมื่อการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบอายุมากขึ้นกับให้ค่ามากกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้ วน (ถ้าแทนในปริมาณที่เหมาะสม) และการแทนที่ด้วยเถ้าลอยพบว่ามีกำลังอัดประลัยช่วงอายุต้นน้อยกว่าแต่เมื่ออายุคอนกรีตมากขึ้นมีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วนส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าลอยร่วมกับเถ้าแกลบส่งผลให้กำลังอัด

5. กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรพันธ์ แสงสุวรรณ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านเงินทุนสำหรับการจัดทำโครงการวิจัยเรื่องคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบ แล ะให้คำปรึกษาแนะนำ ให้ข้อคิดเห็น ช่วยเหลือ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ดูและเอาใจใส่เป็นอย่างดี ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

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

[2] บรรณาธิการ . (2546). “วิจัยเถ้าลอยฯ จับขยะมาทำประโยชน์ ” Engineering Today, ปีที่ 1, ฉบับที่ 02.

[3] ASTM C187-16. (1999). Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste, ASTM International, West Conshohocken, PA.

[4] ASTM C191-99. (1999). Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, ASTM International, West Conshohocken, PA.