

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตที่แน่นด้วยตัวเองที่มีเถ้าถ่านหินที่คัดขนาดเป็นส่วนผสม

ENGINEERING PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE WITH CLASSIFIED FLY ASH

ปฐพี ภูลับ (Patapee Pulub)

บัณฑิตปริญญาตรี

อยุทธิ์ วงษ์สวัสดิ์ (Ayut Wongsawat)

บัณฑิตปริญญาตรี

สมยศ วิวัฒน์พัฒนพงศ์ (Somyot Wiwatpatanapong)

บัณฑิตปริญญาตรี Email: somyot05@hotmail.com

ดร. สมิตร์ ส่งพิริยะกิจ (Dr. Smith Songpiriyakij)

อาจารย์ โครงการภาควิชาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ Email: sssy@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ : บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอผลการทดสอบเชิงวิศวกรรมของคอนกรีตที่ไหลได้ด้วยตัวเองที่มีเถ้าถ่านหินที่คัดขนาดเป็นส่วนผสม ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจะถูกแทนที่โดยเถ้าถ่านหินในอัตราร้อยละ 35 และ 55 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานร้อยละ 0.30, 0.35 และ 0.40 ตามลำดับ คอนกรีตรูปทรงกระบอกจะถูกทดสอบกำลังอัดที่อายุ 1, 3, 7, 28 และ 90 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่อายุ 28 และ 90 วัน ค่าการไหล และโมดูลัสการแตกหักก็ได้รายงานในงานนี้เช่นกัน ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่ใช้วัสดุผง 450 กก/ม³ และมีเถ้าถ่านหินคัดขนาดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 55 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30 ให้ค่ากำลังอัด เท่ากับ 480 กก/ซม² ที่อายุ 90 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าโมดูลัสการแตกหัก (Modulus of Rupture) ของคอนกรีตที่มีเถ้าถ่านหินผสมอยู่ในปริมาณร้อยละ 55 จะมีค่าที่น้อยกว่าคอนกรีตปกติประมาณร้อยละ 20 ถึงแม้ว่าจะมีกำลังอัดที่ใกล้เคียงกันก็ตาม การสูญเสียเนื่องจากการกัดกร่อนโดยแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 3 ของคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 มีค่าอัตราการสูญเสียน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35 และ 0.30 ที่อายุเดียวกัน

ABSTRACT: The objective of this paper is to show the engineering properties of self compacting concrete which the cement used was replaced by classified fly ash in the ratios of 35 and 55% by weight of cement. The water to binder ratio were 0.30, 0.35, and 0.40 respectively. Cylinder concretes were cast and tested at the ages of 1, 3, 7, 28, and 90 days. Not only Sulfuric Attack at 28 and 90 days were measured, modulus of rupture and flow ability were also reported. The tests revealed that concrete with binder of 450 kg/m³ which the cement was replaced by fly ash 55% by weight gave 480 ksc compressive strength at 90 days when w/b of 0.3 was employed. Whereas the modulus of rupture of 55% replacement mix was lower than the normal mix about 20%, compressive strength of those were same. Weight loss from sulfuric attack of the mixture with w/b of 0.4 were less than those of lower w/b of 0.35 and 0.30 at the same ages.

KEYWORD: SELF-COMPACTING CONCRETE, FLY-ASH, ENGINEERING PROPERTIES

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ประโยชน์ในงานด้านวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น การก่อสร้างถนนและเชื่อมด้วยวิธีคอนกรีตบดอัด [1] การผสมเถ้าถ่านหินทดแทนปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตขนาดใหญ่ เพื่อลดความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน [2] งานคอนกรีตเหลวที่ต้องการเทให้ไหลเข้าแบบได้เองโดยไม่ต้องใช้เครื่องสั่นสะเทือน เช่น การแก้ปัญหาอาคารทรุดตัวไม่เท่ากันของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยใช้คอนกรีตชนิดที่ไหลเข้าแบบได้ง่ายซึ่งมีส่วนผสมของเถ้าถ่านหินในปริมาณสูง [3] จะเห็นได้ว่าเถ้าถ่านหินสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีตได้เป็นอย่างดี

คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของเถ้าถ่านหินคอนกรีตด้านวิศวกรรมที่ได้มีการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ คือ ความสามารถในการทนทานต่อการกัดกร่อนต่อสารละลายทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดซัลฟูริก เช่น ในระบบระบายน้ำเสีย และฝนกรดในย่านอุตสาหกรรม ซึ่งจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อโครงสร้างคอนกรีต อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตที่มีเถ้าถ่านหินผสมอยู่จำนวนมาก ยังมีไม่มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคอนกรีตที่สามารถแน่นด้วยตัวเอง งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะนำเสนอผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการของคอนกรีตแน่นด้วยตัวเองที่มีเถ้าถ่านหินคัดขนาดและไม้คัดขนาดเป็นส่วนผสม ในด้านกำลังอัดและความคงทนของคอนกรีตต่อกรดซัลฟูริก

2. วัสดุที่ใช้และวิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- (1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ.พ. เท่ากับ 3.15
- (2) เถ้าถ่านหิน จากอำเภอแม่เมาะ ลำปาง ถ.พ. เท่ากับ 2.02
- (3) น้ำประปา
- (4) สารลดน้ำปริมาณสูง ASTM type G ประเภท Naphthalene

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ เถ้าถ่านหิน

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหิน จะเห็นว่าเถ้าถ่านหินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเถ้าถ่านหิน Class F ตามมาตรฐาน ASTM C 618

2.3 ความละเอียดของเถ้าถ่านหิน

โดยทั่วไปเถ้าถ่านหินจะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ มีทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร (0.001 มิลลิเมตร) จนถึง 150 ไมโครเมตร (0.15 มิลลิเมตร) เถ้าถ่านหินที่ใช้การศึกษานี้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 26 ไมครอน ก่อนการคัดขนาด และมีขนาดเฉลี่ย 16 ไมครอน หลังการคัดขนาด จากรายงานของ Mora และคณะ [4] พบว่าการแยกขนาดไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินเปลี่ยนไปมากนัก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

Chemical Composition (%)	Cement	Fly Ash
SiO ₂	22.1	55.2
Al ₂ O ₃	5.8	18.6
Fe ₂ O ₃	3.3	10.3
CaO	63.9	8.6
MgO	1.4	3.5
K ₂ O	0.4	2.4
Na ₂ O	0.06	0.1
SO ₃	2.6	1.1
LOI	1.1	0.5

2.4 สัญลักษณ์และสัดส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

สัดส่วนผสมของคอนกรีตจะใช้สัญลักษณ์ตามตารางที่ 2 ดังนี้ ตัวเลข 2 ตัวแรก แสดงน้ำหนักปูนซีเมนต์โดย 60 แทนปริมาณปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัม และ 45 แทนปริมาณปูนซีเมนต์ 450 กิโลกรัม ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร อักษรในลำดับต่อมาแสดงชนิดของเถ้าถ่านหิน CO คือปูนซีเมนต์ที่ไม่มีเถ้าถ่านหินผสม, CFA คือปูนซีเมนต์ที่มีเถ้าถ่านหินไม้คัดขนาดแทนที่, CFC คือปูนซีเมนต์ที่มีเถ้าถ่านหินที่คัดแทนที่ ตัวเลขตำแหน่งต่อมาแสดงปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ และตัวเลข 2 หลักสุดท้าย คืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เช่น 60CO-35 คือ คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ 600 กิโลกรัม ไม่มีเถ้าถ่านหินเป็นส่วนผสม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานร้อยละ 0.35 โดยน้ำหนัก และ 45CFC55-35 หมายถึง คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ 450 กก./ม³ ใช้เถ้าถ่านหินที่คัดขนาดแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 55 และมี w/b เท่ากับ 0.35 เป็นต้น

ตารางที่ 2 สัญลักษณ์และสัดส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ (กก.)	เถ้าลอย (กก.)	W/(C+F)
60CO-35	600	0	0.35
60CFA35-35	390	210	0.35
60CFA55-35	270	330	0.35
45CO-30	450	0	0.30
45CFC35-30	292.5	157.5	0.30
45CFA55-30	202.5	247.5	0.30
45CFC55-30	202.5	247.5	0.30
45CO-35	450	0	0.35
45CFC35-35	292.5	157.5	0.35
45CFA55-35	202.5	247.5	0.35
45CFC55-35	202.5	247.5	0.35
45CO-40	450	0	0.40
45CFC35-40	292.5	157.5	0.40
45CFC55-40	202.5	247.5	0.40



รูปที่ 2 การวัดค่าการไหลทางแนวราบ

2.5 การทดสอบ

ในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. โดยกำลังอัดของคอนกรีตจะทดสอบที่อายุ 1, 3, 7, 28 และ 90 วัน ตามลำดับ เมื่อตัวอย่างมีอายุ 28 วัน และทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่อายุ 28 และ 90 วัน ตามลำดับ และทดสอบการไหลแบบ U-FlowTest ดังรูปที่ 1 วัดการไหลตามรูปที่ 2 ส่วนตารางที่ 3 แสดงรายการทดสอบของงานวิจัยนี้



รูปที่ 1 ทดสอบการไหลของคอนกรีต

ตารางที่ 3 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

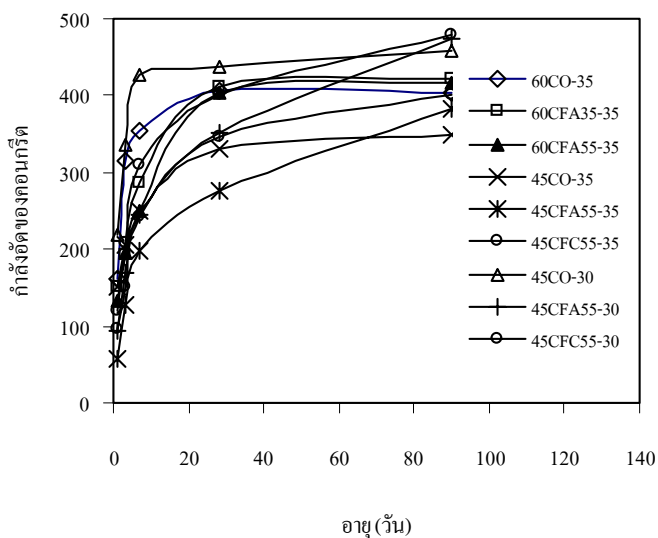
สัญลักษณ์	กำลังอัด	โมดูลัสการแตกหัก	การกัดกร่อน	Flow
60CO-35	X	X		X
60CFA35-35	X	X		X
60CFA55-35	X	X		X
45CO-30	X		X	X
45CFA55-30	X			X
45CFC35-30			X	
45CFC55-30	X		X	X
45CO-35	X		X	X
45CFA55-35	X			X
45CFC35-35			X	
45CFC55-35	X		X	X
45CO-40			X	
45CFC35-40			X	
45CFC55-40			X	

3 ผลการทดสอบ

3.1 กำลังอัดของคอนกรีต

จากตารางที่ 4 และรูปที่ 3 พบว่าคอนกรีตที่มีวัสดุประสานในส่วนผสมที่มากถึง 600 กก./ม³ ให้กำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่มีวัสดุประสาน 450 กก./ม³ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณ w/b ที่เท่ากันคือ 0.35 ก็ตาม ผลที่ได้อาจขัดแย้งกับ Abram's law ที่เสนอว่ากำลังอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับ w/b เท่านั้น อย่างไรก็ตามกรณีนี้คอนกรีตที่มีค่า w/b น้อย w/b อาจไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่มีผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีต เช่นตัวอย่าง 60CO-35 มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 405.4 กก./ซม² ในขณะที่ 45CO-35 รับกำลังอัดได้เพียง 330.0 กก./ซม² ที่อายุเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณา

คอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุประสานเท่ากันที่ 450 กก./ม³ พบว่าการลดปริมาณน้ำจาก 0.35 เป็น 0.30 จะให้ค่ากำลังอัดมากขึ้นในทุกกรณี ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Abram's law



รูปที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีต

ในกรณีที่คอนกรีตมีวัสดุประสานเท่ากันคือ 600 กก./ม³ มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากันแต่มีการแทนที่ขนาดเม็ดถ่านหินร้อยละ 35 พบว่าการแทนที่เม็ดถ่านหินที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดไม่มากนักในทุกช่วงเวลา เช่นที่อายุ 28 วัน 60CFA35-35 มีกำลังอัดเท่ากับ 412.5 กก./ชม² ในขณะที่ 60CFA55-35 มีกำลังอัด 404.5 กก./ชม² ซึ่งให้ค่ากำลังอัดใกล้เคียงกันมาก อาจสรุปได้ว่าชนิดของวัสดุผงในช่วงระหว่างการแทนที่ร้อยละ 35 ถึง 55 ในคอนกรีตที่มี w/b ที่ต่ำ ไม่มีผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีตมากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลง w/b ของตัวอย่าง 45CO-35, 45CFA55-35, และ 45CFC55-35 เป็นสัดส่วน 45CO-30, 45CFA55-30, และ 45CFC55-30 จะเห็นได้ว่าการลดลงของ w/b จาก 0.35 เป็น 0.30 ส่งผลกระทบอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต (ตารางที่ 4)

นอกจากนี้การเปลี่ยนขนาดอนุภาคของเม็ดถ่านหินที่ใช้ในคอนกรีตก็ส่งผลกระทบต่อพัฒนาการกำลังอัดของคอนกรีต เช่น 45CFA55-35 มีกำลังอัดที่อายุ 1 วัน เท่ากับ 56.0 กก./ชม² และเมื่อใช้เม็ดถ่านหินที่มีความละเอียดมากขึ้น เช่น 45CFC55-35 กำลังอัดก็จะเพิ่มมากขึ้นเป็น 97.0 กก./ชม² อย่างไรก็ตามเมื่อคอนกรีตมีอายุถึง 90 วัน กำลังอัดของคอนกรีตทั้งสองชนิดมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 4 กำลังอัดของคอนกรีต

ชนิดของตัว	กำลังรับแรงอัด (กก./ชม ²)				
	1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน	90 วัน
60CO-35	161.2	315.1	353.6	405.4	404.9
60CFA35-35	152.1	193.5	285.7	412.5	421.2
60CFA55-35	131.9	194.4	250.0	404.5	416.6
45CO-35	150.0	205.0	250.0	330.0	350.0
45CFA55-35	56.0	127.0	197.0	275.0	383.0
45CFC55-35	97.0	150.0	241.0	346.0	400.0
45CO-30	220.0	335.0	426.0	437.0	458.0
45CFA55-30	93.0	170.0	245.0	351.0	473.0
45CFC55-30	121.0	209.0	310.0	401.0	480.0

3.2 โมดูลัสการแตกหัก

จากตารางที่ 5 ผลการทดสอบพบว่าโมดูลัสการแตกหักของคานคอนกรีตขนาด 10x10x50 ซม. ที่อายุ 28 วันของคอนกรีต 60CO-35 มีค่าเท่ากับ 63.8 กก./ชม² และมีค่าลดลงเมื่ออัตราการแทนที่ของเม็ดถ่านหินเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 35 และ 55 คือเท่ากับ 61.4 กก./ชม² และ 50.9 กก./ชม² ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าโมดูลัสการแตกหักของตัวอย่าง 60CFA55-35 มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตปกติประมาณร้อยละ 20 ที่อายุ 28 วัน ในขณะที่กำลังอัดของตัวอย่างนี้มีค่าเกือบใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติที่อายุเดียวกัน ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้เม็ดถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงควรให้ความสำคัญระมัดระวังต่อการร้าวจากการรับหน่วยแรงดึง

ตารางที่ 5 โมดูลัสการแตกหักที่อายุ 28 วัน

ชนิดของตัวอย่าง	โมดูลัสการแตกหัก (กก./ชม ²)	ร้อยละของโมดูลัสการแตกหัก
60CO-35	63.8	100
60CFA35-35	61.4	96.2
60CFA55-35	50.9	79.8

3.3 ความทนทานของคอนกรีต

ผลการทดสอบความทนทานของคอนกรีตผสมเม็ดถ่านหินคัดขนาดและไม่คัดขนาดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 35 และ 55 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30, 0.35 และ 0.40 ตามลำดับ เมื่อนำไปแช่กรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตเมื่อแช่ในกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3

ชนิดของตัวอย่าง	ตัวอย่างขนาด	อัตราการสูญเสีย (ร้อยละ)	
		28 วัน	90 วัน
45CO-30	10x10x10 ซม.	7.680	7.810
45CFC35-30	10x10x10 ซม.	5.662	6.103
45CFC55-30	10x10x10 ซม.	2.110	2.643
45CO-35	10x10x10 ซม.	3.664	4.224
45CFC35-35	10x10x10 ซม.	2.382	2.762
45CFC55-35	10x10x10 ซม.	-0.412	0.266
45CO-40	10x10x10 ซม.	-0.179	0.632
45CFC35-40	10x10x10 ซม.	-0.463	0.091
45CFC55-40	10x10x10 ซม.	-1.353	-0.725

หมายเหตุ เครื่องหมาย – หมายถึงมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6 แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการใช้เถาถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณสูงสามารถเพิ่มความสามารถในการทนทานต่อกรดได้ดี อย่างไรก็ตามการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณ w/b ที่น้อยมีผลทำให้คอนกรีตสูญเสียน้ำหนักมากกว่าคอนกรีตที่มี w/b ที่มากกว่า เช่น ตัวอย่าง 45CFC35-30 สูญเสียน้ำหนักร้อยละ 6.103 ที่อายุ 90 วัน ในขณะที่ตัวอย่าง 45CFC35-40 สูญเสียเพียงร้อยละ 0.091 เท่านั้น จากรายงานผลการทดลองของ Fattuhi and Hughes [5,6,7] แสดงให้เห็นว่าปริมาณวัสดุผงที่มากในส่วนผสมจะทำให้ร้อยละการสูญเสียของคอนกรีตมากขึ้นไปด้วย เมื่อผนวกกับรายงานในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่าการใช้ w/b ที่ต่ำมากทำให้ข้อได้เปรียบจากการใช้เถาถ่านหินในปริมาณมากเพื่อต้านทานการกัดกร่อนจากกรดซัลฟูริกลดลง

3.4 การทดสอบการไหล

ทุกอัตราส่วนผสมสามารถผ่านการทดสอบแบบ U-Flow Test ตามรูปที่ 1 ได้ โดยภายในแบบทดสอบจะถูกแบ่งเป็นช่องมีความกว้างช่องละ 50 มม. จำนวน 4 ช่อง คอนกรีตที่ไหลได้ด้วยตัวเองสามารถไหลผ่านช่องดังกล่าวได้ จนมีระดับเดียวกัน และเมื่อวัดค่าการไหลแต่ละตามรูปที่ 2 ก็พบว่าค่าที่อยู่ในช่วงระหว่าง 60 ถึง 64 เซนติเมตร และไม่มี slump ในแนวตั้ง

ตารางที่ 7 เป็นการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้ Schmidt Hammer หลังจากปล่อยในตัวอย่าง 60CFA55-35 แข็งตัวอยู่ในแบบ เพื่อแสดงถึงความเป็นเนื้อเดียวกันของ

คอนกรีตทั้งสองฝั่งของเครื่องมือ U-Flow Test ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดที่ด้านขวาและซ้ายของแบบมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตนี้ไม่เกิดการแยกตัวระหว่างการไหลผ่านอุปสรรค

ตารางที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้ Schmidt Hammer

ตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัด (กก./ซม ²)							
	3 วัน		7 วัน		14 วัน		28 วัน	
	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย
60CFA55-35	204.3	204.1	256.1	254.9	287.8	258.5	413.7	412.9

4 สรุปผลการทดลอง

1. ไม่พบความแตกต่างของกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อมีปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์โดยเถาถ่านหินระหว่างร้อยละ 35 ถึง 50 เมื่อคอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ต่ำคือ 0.35 และ 0.30
2. โมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 20 เมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์โดยเถาถ่านหินเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 55 และไม่มีความสัมพันธ์ตรงกับกำลังอัดของคอนกรีต
3. นอกจากปริมาณวัสดุผงที่มากแล้ว ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสานที่น้อยถึง 0.30 ทำให้การทนทานต่อการกัดกร่อนของคอนกรีตน้อยลง
4. เถาถ่านหินที่แยกขนาดจะสามารถทำให้กำลังอัดที่อายุต้นของคอนกรีตเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อกำลังที่อายุปลายยังไม่ชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายชาคริต อุดลย์อารยะรังษี นายปริพัตร ตริตรอง นายพงษ์ธร ง่วนทอง นายอนุชิต หินแก้ว ที่ได้ช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

[1] สมชัย กกกำแหง, 2537 “การใช้เถาถ่านหินในต้นแม่เมาะเป็นส่วนสำคัญในการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัดที่ปากน้ำมูล,” เอกสารการประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรม วสท. ประจำปี 2537, หน้า CE-31- CE-53.

- [2] Kanazawa, K., Yamada K., Sogo, S., 1992, "Properties of Low-Heat Generating Concrete Containing Large Volumes of Blast-furnace Slag and Fly Ash," Proceedings of the 4th CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Istanbul, Turkey, pp. 97-117.
- [3] สมชัย กกก้าแหง. "ประสบการณ์การใช้คอนกรีตชนิดที่ไหลเข้าแบบได้ง่าย ซึ่งมีส่วนผสมของเถ้าลอยอยู่สูงในงานเสริมความแข็งแรงให้ฐานรากของอาคารสูง 15 ชั้น," การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1, 2546, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2546, หน้า 49-54.
- [4] Mora, P.E, Paya, J, Monzo, J., 1993, "Influence of different sized fractions of a fly ash on workability of mortars," Cement and Concrete Research, Vol. 23, pp. 917-924.
- [5] Fattuhi, N.I. and Hughes, B.P., 1983, "Effect of Acid Attack on Concrete with Different Admixtures or Protective Coatings," Cement and Concrete Research, Vol.13, pp. 655-665.
- [6] Fattuhi, N.I. and Hughes, B.P., 1988, "Ordinary Portland Cement Mixes with Selected Admixtures Subjected to Sulfuric Acid Attack," ACI Materials Journal, November-December, pp. 512-518.
- [7] Fattuhi, N.I. and Hughes, B.P., 1983, "The Performance of Cement Paste and Concrete Subjected to Sulfuric Acid Attack," Cement and Concrete Research, Vol.18, pp. 545-553.