

ผลกระทบของเถ้าแกลบขาวละเอียดมากที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

EFFECT OF VERY FINE GROUND WHITE RHA ON
MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETEบุรฉัตร ฉัตรวีระ^[1] และ ณรงค์ศักดิ์ มากุล^[2]

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์: (+662) 564-3001-9 ต่อ 3105 โทรสาร: (+662) 564-3010

E-mail: ^[1]cburacha@engr.tu.ac.th and ^[2]shinomomo7@hotmail.com

บทคัดย่อ :

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของเถ้าแกลบขาวละเอียดมาก (WRHA) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตอิฐมอญที่ใช้เถ้าแกลบเป็นเชื้อเพลิงที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต โดยเถ้าแกลบขาวมีพื้นที่ผิวจำเพาะในรูปของค่าความละเอียดด้วยวิธีเบลมเท่ากับ 15,640 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม คุณสมบัติที่ทำการศึกษารวมประกอบด้วยหน่วยน้ำหนักในสภาพสด ค่าการยุบตัวเริ่มต้น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น กำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน โดยมีตัวแปรหลักคือ สัดส่วนการแทนที่ของเถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.6 และอัตราส่วนโดยปริมาตรเศษต่อปริมาตรช่องว่างค่าสุดของมวลรวมที่สภาวะอัดแน่น (γ) เท่ากับ 1.2, 1.4 และ 1.6 ตามลำดับ จากการทดสอบ พบว่าหน่วยน้ำหนักในสภาพสดและค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบขาวละเอียดมากมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ ในขณะที่โมดูลัสยืดหยุ่นที่ 28 วัน และกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบขาวละเอียดมากเท่ากับร้อยละ 20 และ 30 ที่อายุ 28 และ 60 วัน มีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติ นอกจากนี้อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติและมีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าแกลบขาวละเอียดในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพิ่มขึ้น

ABSTRACT:

The objective of this research was to study the effects of very fine ground White Rice Husk Ash (WRHA), a by-product from brick production from which rice husk was used as fuel, on mechanical properties of concrete. The specific surface area of WRHA as Blaine fineness was equal to 15,640 cm²/g. The tested properties of concrete were unit weight in fresh state, initial slump, temperature rise, compressive strength, and modulus of elasticity at 28 days. The main variables were the percentage replacements of WRHA in Portland

cement type I by weight were 0, 10, 20, and 30%. Water to binder ratio (w/b) equal to 0.6, and the ratios of paste volume to the minimum volume of void content in compacted aggregates (γ) were 1.2, 1.4, and 1.6 respectively. The tested results indicated that unit weight and initial slump of very fine ground WRHA concrete were lower than those of the conventional concrete. Whereas modulus of elasticity at 28 days and compressive strength of concrete that was replaced Portland cement with WRHA equal to 20% and 30% at 28 and 60 days were higher than those of the normal concrete. Furthermore, the maximum temperature rise of concrete containing WRHA was lower than those of the conventional concrete and had also tentatively decreased when the percentage replacements of WRHA in Portland cement were increased.

1. บทนำ

จากการศึกษาวิจัยและพัฒนาเพื่อนำเถ้าแกลบมาใช้งานทางด้านซีเมนต์และคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง [1,2,3] พบว่าเถ้าแกลบทั้งที่มาจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมอญซึ่งโดยปกติจะได้เถ้าแกลบที่มีสีขาวอันเป็นผลเนื่องมาจากระบวนการเผาเป็นแบบระบบเปิด (Opened-Burning Process) เถ้าแกลบจากโรงสีข้าวและจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้เถ้าแกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการเผาแบบระบบปิด (Closed-Burning Process) ทำให้เถ้าแกลบที่ได้มีสีดำน้อยมีข้อด้อย โดยเถ้าแกลบจากแหล่งผลิตจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ หยิบและมีความพรุนสูงทำให้ศักยภาพการใช้งานทางด้านซีเมนต์ต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าแกลบเพิ่มเติม โดยเริ่มต้นจะต้องเป็นวิธีการที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยและไม่ซับซ้อนในทางปฏิบัติซึ่งพบว่า การบดให้มีความละเอียดที่เพิ่มขึ้นนับเป็นทางเลือกหนึ่งดังที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยทำการบดเถ้าแกลบให้มีความละเอียดสูงด้วยเครื่องบดชนิด Comparatively Low Cost ดังแสดงรูปที่ 1 และศึกษาผลกระทบที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

RECEIVED 26 March, 2004

ACCEPTED 31 May, 2004

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบของเจ้าแกลบขาวละเอียดมากที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

3. วิธีการศึกษา

3.1 ขอบเขตของการศึกษา

3.1.1 การแทนที่ของเจ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเจ้าแกลบ) (w/b) เท่ากับ 0.6 และอัตราส่วนโดยปริมาตรเพื่อต่อปริมาตรช่องว่างต่ำสุดมวลรวมที่อัดแน่น (γ) ที่ 1.2, 1.4 และ 1.6 ตามลำดับ

3.1.2 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ศึกษาประกอบด้วยหน่วยน้ำหนักในสภาพสด ค่าการยุบตัวเริ่มต้น ค่าลึงอัด ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีต

3.2 รายละเอียดการทดสอบ

3.2.1 วัสดุที่ใช้

3.2.1.1 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.2.1.2 เจ้าแกลบ ใช้เจ้าแกลบขาวจากโรงเผาอิฐ จังหวัดพระนครศรีอยุธยาทำการบดด้วยเครื่องบดชนิด Comparatively Low Cost ที่มีความเร็วในการหมุนเท่ากับ 52 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการบดเท่ากับ 240, 270, 300 และ 360 นาที โดยใช้ตัวกลางบดเป็นเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9, 12 และ 15 มม. จำนวน 45, 45 และ 35 เส้น ตามลำดับ ความยาว 750 มม. ซึ่งคิดปริมาตรของตัวกลางรวมได้ร้อยละ 6 ของปริมาตรถึงบด รวมทั้งทำการหุ้มด้วยท่อยางเพื่อป้องกันเสียงดังจากการบด

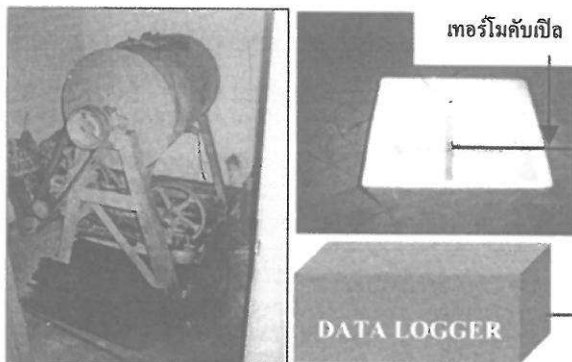
3.2.1.3 มวลรวมละเอียด ใช้ทรายแม่น้ำซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.74 และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 1.9

3.2.1.4 มวลรวมหยาบ ใช้หินปูนซึ่งมีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 20 มิลลิเมตร และมีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 0.86

3.2.2 วิธีการทดสอบ

3.2.2.1 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตในสภาพสดตามมาตรฐาน ASTM C 138 [4] และ ASTM C 143 [5] ตามลำดับ

3.2.2.2 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตใช้ตัวอย่างขนาด 260 x 300 x 400 มม. ซึ่งทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณกึ่งกลางของตัวอย่างเพื่อวัดอุณหภูมิ โดยใส่คอนกรีตในกล่องโฟมแล้วครอบด้วยกล่องไม้อัดหนา 10 มม. และอุดรอยต่อด้วยดินน้ำมัน ทำการบันทึกอุณหภูมิโดยใช้ Data Logger เป็นเวลา 5 วัน การติดตั้งเครื่องมือทดสอบแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 เครื่องบดชนิด
Comparatively Low Cost

รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องมือ
วัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีต

3.2.2.3 การทดสอบหาค่าลึงอัดที่อายุ 3, 7, 28 และ 60 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C 39 [6] โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 ซม. สูง 20 ซม.

3.2.2.4 การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C 469 [7]

3.2.3 สัดส่วนของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

สัดส่วนของคอนกรีตแสดงในตารางที่ 1 โดยกำหนดสัญลักษณ์ (OPC/RHA)X(Y,Z) คือ คอนกรีตซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ล้วน (OPC) หรือคอนกรีตผสมเจ้าแกลบ (RHA) ที่มีการแทนที่เจ้าแกลบร้อยละ X โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยมีค่า Y เท่ากับ Z และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเจ้าแกลบ) เท่ากับ Z

ตารางที่ 1 สัดส่วนของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ (กก./ม.)

สัญลักษณ์ ส่วนผสม	ปูน ซีเมนต์ (กก.)	เจ้าแกลบ (กก.)	น้ำ (กก.)	มวลรวม ละเอียด (กก.)	มวลรวม หยาบ (กก.)
OPC(1.2,0.6)	304	0	183	903	963
RHA10(1.2,0.6)	274	30	183	903	963
RHA20(1.2,0.6)	244	60	183	903	963
RHA30(1.2,0.6)	214	90	183	903	963
OPC(1.4,0.6)	357	0	215	840	896
RHA10(1.4,0.6)	321	36	215	840	896
RHA20(1.4,0.6)	285	72	215	840	896
RHA30(1.4,0.6)	249	108	215	840	896
OPC(1.6,0.6)	410	0	246	777	829
RHA10(1.6,0.6)	369	41	246	777	829
RHA20(1.6,0.6)	328	82	246	777	829
RHA30(1.6,0.6)	287	123	246	777	829

4. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

4.1 คุณสมบัติของเถ้าแกลบขาวละเอียดมาก

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

จากผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าเถ้าแกลบมีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในปริมาณมากที่สุด ในขณะที่การบดเถ้าแกลบให้มีความละเอียดสูงขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพที่เห็น ค่าความต้องการน้ำมีค่าคงที่เมื่อเวลาที่ใช้ในการบดมากกว่า 240 นาที ขึ้นไป นอกจากนี้ค่าดัชนีกำลังที่อายุ 7 และ 28 วันของมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบที่ผ่านการบดเป็นเวลามากกว่า 300 นาที มีค่ามากกว่ามอร์ตาร์ปกติซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบ ซึ่งผ่านการบดที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

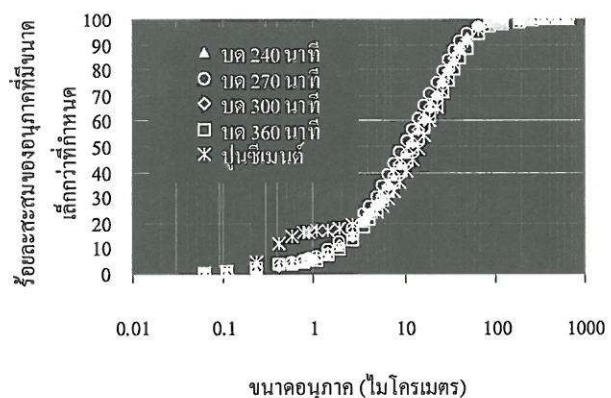
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	ชนิดของเถ้าแกลบ				
		ไม่บด	บด 240 นาที	บด 270 นาที	บด 300 นาที	บด 360 นาที
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
SiO_2	21.85	95.36	93.80	93.30	93.65	94.43
Al_2O_3	5.39	1.22	1.60	2.10	1.86	1.21
Fe_2O_3	2.10	0.23	2.40	2.50	2.74	2.44
CaO	65.91	1.05	1.40	1.40	1.31	0.95
MgO	1.16	0.36	0.40	0.40	0.34	0.31
K_2O	0.31	1.40	1.70	1.70	1.71	1.97
SO_3	2.51	0.38	0.40	0.30	0.26	0.19
LOI	0.96	2.52	2.10	2.40	2.20	2.14
คุณสมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ความชื้น (ร้อยละ)	0.19	0.95	0.70	0.80	0.80	0.84
พื้นที่ผิว (cm^2/g)	3,250	หยาบ	12,200	12,470	13,800	15,640
ความถ่วงจำเพาะ	3.11	2.00	2.20	2.20	2.20	2.20
ดัชนีกำลัง (ร้อยละ)						
ที่ 7 วัน	100	32	83	88	102	104
ที่ 28 วัน	100	39	98	98	105	105

ตารางที่ 2 (ต่อ) องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบ ซึ่งผ่านการบดที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

คุณสมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ความต้องการน้ำ (ร้อยละ)	100	151	105	105	105	105
ความหนาแน่นรวม (กก./ล.)	1.03	0.17	0.54	0.58	0.56	0.56

4.1.2 การกระจายขนาดผลึกของอนุภาคเถ้าแกลบ

เมื่อพิจารณาการกระจายขนาดผลึกของเถ้าแกลบซึ่งผ่านการบดที่เวลา 240, 270, 300 และ 360 นาที เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าเวลาที่ใช้ในการบดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อนุภาคเถ้าแกลบที่มีขนาดอยู่ในช่วง 2 ถึง 100 ไมโครเมตร มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับ และมากกว่าปูนซีเมนต์ ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตรปริมาณน้อยกว่าปูนซีเมนต์



รูปที่ 3 การกระจายขนาดผลึกของอนุภาคเถ้าแกลบที่ผ่านการบดที่เวลา 240, 270, 300 และ 360 นาที เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

4.1.3 หลักเกณฑ์ในการนิยามเถ้าแกลบละเอียดมาก

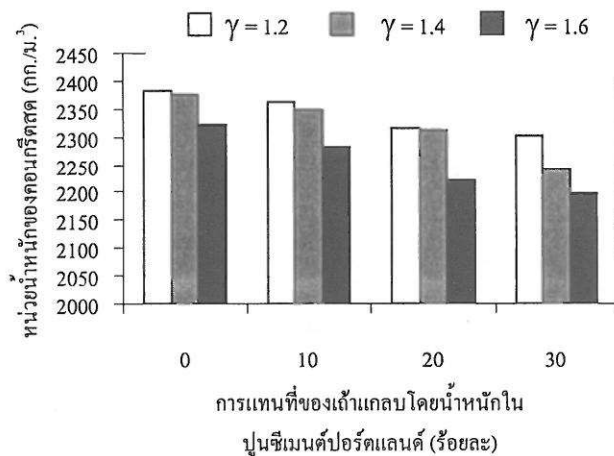
จากผลการทดสอบการกระจายขนาดผลึก พบว่าเถ้าแกลบซึ่งผ่านการบดที่เวลาเท่ากับ 240, 270, 300 และ 360 นาที ตามลำดับ มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10 ถึง 12 ไมโครเมตร โดยตามมาตรฐานของ North Atlantic Treaty Organization Advanced Science Institute (NATOASI)

ได้นิยามอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวว่า ผงละเอียดมาก (Ultra-Fine Powder) [8] ดังนั้นถ้าเราเพิ่มความละเอียดดังกล่าวจึงเป็น เถ้ากลบละเอียดมาก (Very Fine Ground White Rice Husk Ash) และในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเถ้ากลบที่เวลาในการบดเท่ากับ 360 นาที ซึ่งมีความละเอียดสูงที่สุด (ความละเอียดด้วยวิธีเบลนเท่ากับ 15,640 ซม.²/ก.)

4.2 คุณสมบัติของคอนกรีตสด

4.2.1 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด

ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดแสดงในรูปที่ 4 พบว่าการแทนที่เถ้ากลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพิ่มขึ้นทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสำหรับทุกค่า γ มีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะเถ้ากลบมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตปกติ ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่า γ ทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงเช่นเดียวกัน อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของค่า γ ซึ่งหมายถึงปริมาณของเถ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มวลรวมซึ่งมีสัดส่วนมากที่สุดในคอนกรีตมีปริมาณลดลง

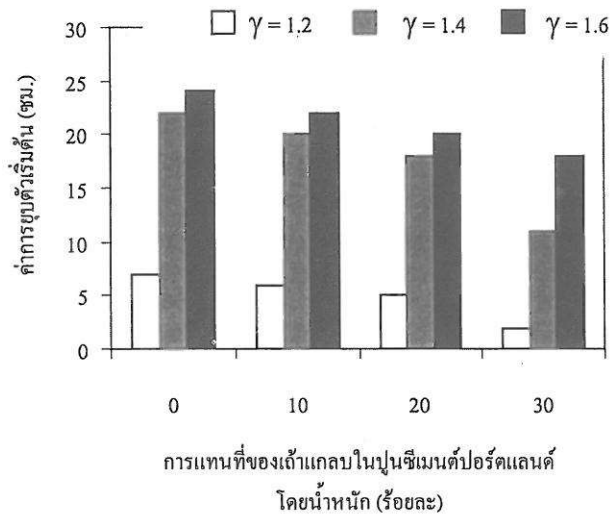


รูปที่ 4 หน่วยน้ำหนักในสภาพสดของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมเถ้ากลบขาวละเอียด

4.2.2 ค่าการยุบตัวเริ่มต้น

ในรูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบของค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.6 พบว่าสัดส่วนของการแทนที่ของเถ้ากลบในปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลของความละเอียดของเถ้ากลบ (ความละเอียดด้วยวิธีเบลนเท่ากับ 15,640 ซม.²/ก.) ที่มีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (3,250 ซม.²/ก.) ทำให้น้ำอิสระซึ่งถูกใช้ในการเคลือบอนุภาคเพื่อลดความเสียดทานระหว่างอนุภาคของเถ้ากลบมากขึ้น นอก

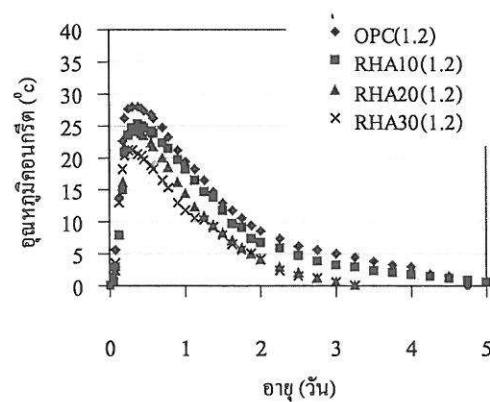
จากการเพิ่มขึ้นของค่า γ (ปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น) ส่งผลให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น



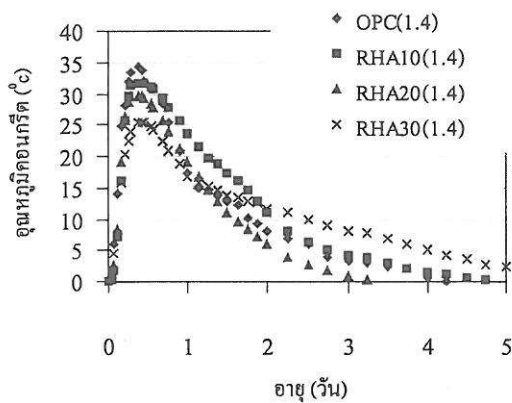
รูปที่ 5 ค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตผสมเถ้ากลบเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ

4.2.3 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีต

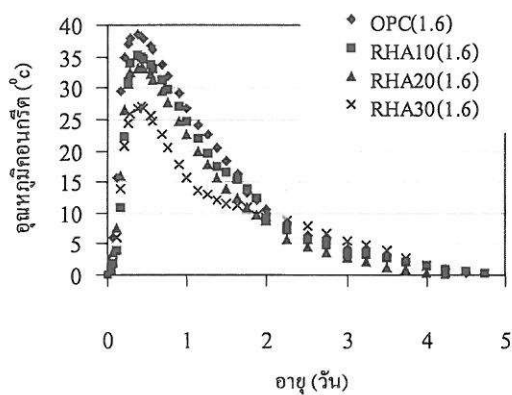
ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ของคอนกรีต ดังในรูปที่ 6 พบว่าในช่วงต้นที่อุณหภูมิของคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่ผสมเถ้ากลบมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (ความชันของอุณหภูมิกับเวลาที่ผ่านไป) น้อยกว่าคอนกรีตปกติ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการแทนที่ของเถ้ากลบทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลงส่งผลให้ปริมาณของไตรแคลเซียมซัลเฟต (C_3S) และไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) ลดลงจึงมีผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ลดลงตามไปด้วย ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดของคอนกรีตผสมเถ้ากลบมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าคอนกรีตปกติ และช่วงที่อุณหภูมิลดลงพบว่าคอนกรีตมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิน้อยกว่าคอนกรีตปกติ



(ก) คอนกรีตที่มีค่า γ เท่ากับ 1.2



(ข) คอนกรีตที่มีค่า γ เท่ากับ 1.4



(ค) คอนกรีตที่มีค่า γ เท่ากับ 1.6

รูปที่ 6 อุณหภูมิของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีเท่ากับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.6

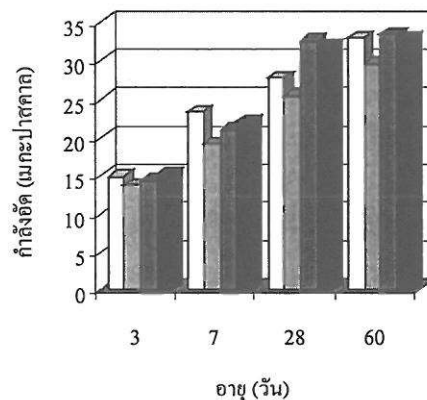
4.3 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

4.3.1 กำลังอัด

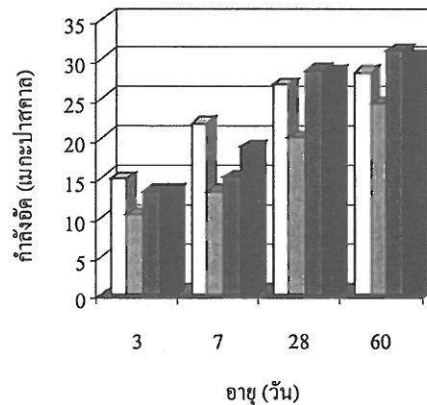
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตในรูปที่ 7 พบว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรเศษตต่อปริมาณของมวลต่ำสุดมวลรวมที่อัดแน่น (γ) ที่ 1.2 (รูปที่ 7 (ก)) และมีสัดส่วนการแทนที่ของเถ้าแกลบบดละเอียดมากในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เท่ากับร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดที่อายุ 3 วัน น้อยกว่าคอนกรีตปกติ ในขณะที่ร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบขาวละเอียดมากเท่ากับ 20 และ 30 ให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคของเถ้าแกลบที่มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคของเถ้าแกลบสามารถเข้าไปเติมในช่องว่าง (Filling Effect) ระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ทำให้คอนกรีตมีความแน่นขึ้นซึ่งหมายถึงกำลังรับแรงที่เพิ่มขึ้น [9] ในขณะที่การแทนที่ของเถ้าแกลบที่ร้อยละ 10 มีปริมาณไม่พอเพียงที่เข้าไปอุดช่องว่างได้มากพอและกำลังอัดของ

คอนกรีตที่อายุ 7 วัน มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน นอกจากนั้นกำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ซึ่งทำการแทนที่เถ้าแกลบเท่ากับร้อยละ 20 มีค่าสูงสุด ทั้งนี้เพราะเถ้าแกลบเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้ปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C-S-H) เพิ่มขึ้นประกอบกับความละเอียดของเถ้าแกลบที่มีมากกว่าปูนซีเมนต์จึงส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น

สำหรับกำลังอัดของคอนกรีตที่มีค่า γ เพิ่มขึ้นจาก 1.2 เป็น 1.4 (รูปที่ 7 (ข)) และ 1.6 (รูปที่ 7 (ค)) ซึ่งการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับคอนกรีตที่มีค่า γ เท่ากับ 1.2 แต่มีกำลังอัดที่ลดลง ทั้งนี้เพราะการเพิ่มขึ้นของปริมาณเศษตทำให้คอนกรีตมีความพรุนมากขึ้น



(ก) คอนกรีตที่ γ เท่ากับ 1.2

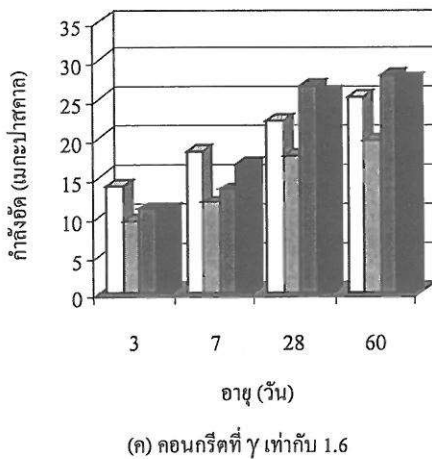


(ข) คอนกรีตที่ γ เท่ากับ 1.4



หมายเหตุ

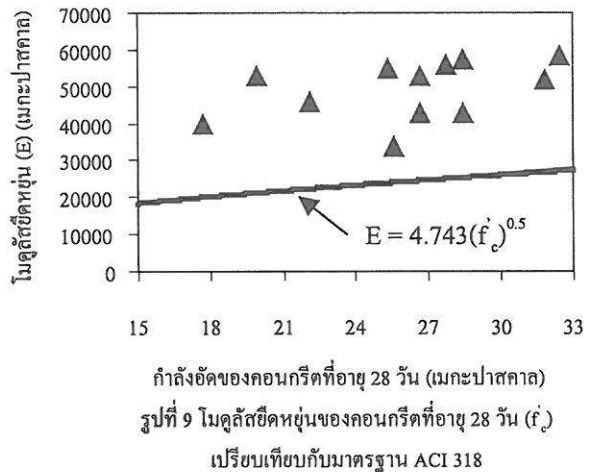
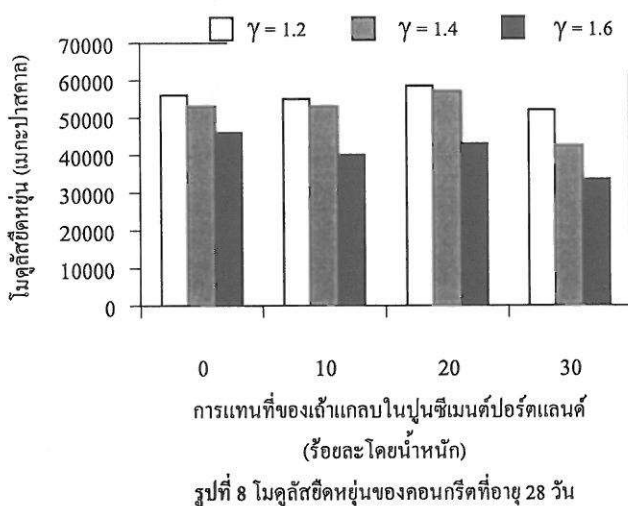
- คอนกรีตปกติ
- คอนกรีตซึ่งทำการแทนที่เถ้าแกลบร้อยละ 10
- คอนกรีตซึ่งทำการแทนที่เถ้าแกลบร้อยละ 20
- คอนกรีตซึ่งทำการแทนที่เถ้าแกลบร้อยละ 30



รูปที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตปกติและผสมเถ้าแกลบขาวที่กำหนดค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.6 และมีค่า γ เท่ากับ 1.2, 1.4 และ 1.6

4.3.2 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

สำหรับผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน แสดงในรูปที่ 8 พบว่าสำหรับคอนกรีตซึ่งมีสัดส่วนที่ค่า γ เท่ากับ 1.2 และ 1.4 โดยแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นจุดเหมาะสมของการทำปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าแกลบภายใต้คอนกรีตที่มีปริมาณเพสต์ (γ) ค่าหนึ่ง ทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมากกว่าคอนกรีตปกติและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมเถ้าแกลบมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ACI 318 [10] ดังแสดงในรูปที่ 9



5. สรุปผลการศึกษา

- คุณสมบัติของคอนกรีตในสภาพสดประกอบด้วย หน่วยน้ำหนัก ค่าการยุบตัวเริ่มต้นและอุณหภูมิสูงสุดของคอนกรีตของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพิ่มขึ้น
- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ 28 วัน และกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าแกลบขาวละเอียดมากเท่ากับร้อยละ 20 และ 30 ที่อายุ 28 และ 60 วัน มีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติของเถ้าแกลบ และรวมทั้งคุณกองกิจ แนวกิจ คุณรัฐพงษ์ วิมลโสภณกิตติ และคุณจักรี สุวรรณกุล ที่ช่วยเหลือทดสอบในส่วนของการทดสอบงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. บรรณานุกรม

- [1] Columnna, V.B., The Effect of Rice Husk Ash in Cement and Concrete Mixes, Master's Thesis No. 678, AIT, 1974.
- [2] Zhang, M. and Malhotra, V.M., High Performance Concrete Incorporation Rice Husk Ash as a Supplementary Cementing Material, ACI Material Journal 93, pp. 235 – 236, 1996.
- [3] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, จักรพันธ์ วงษ์พา และสุรพันธ์ สุขนธิ์, การพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เพื่อใช้ในงานคอนกรีต, เอกสารประกอบการประชุมวิศวกรรมโยธาครั้งที่ 8, หน้า MAT 163 - 172, 2545.
- [4] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 138: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air

- Content (Gravimetric) of Concrete”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [5] American Society for Testing and Materials, “ASTM C 143: Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [6] American Society for Testing and Materials, “ASTM C 39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [7] American Society for Testing and Materials, “ASTM C 469: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compressive”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [8] Eldrup, M. et al., Reduction of Surface Oxide on Ultra-Fine FeNi Particle, In Mechanical Properties and Deformation Behavior of Materials Having Ultra-Fine Microstructures, pp. 571 – 577, 1993
- [9] Neville A.M., Properties of Concrete, Fourth Edition, Pitman Books Limited, London, England, 1995.
- [10] American Concrete Institute, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI Committee 318), Michigan, USA, 2002.