



การทนไฟของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเถ้าแกลบบดละเอียด

Fire resistance of reinforced concrete columns containing ground rice husk ash

ฉลอง ปะลาชิตัง, เรืองรุทธิ์ ชีระโรจน์

Chalong palachaitung, Raungrut Cheerarot

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ.มหาสารคาม 44150

Civil Engineering, Faculty of Engineer Mahasarakham University, Mahasarakham 44150 Thailand

* Corresponding author.E-mail: long_civil@hotmail.com

(Received: May 16, 2018 ;Revised :July 13, 2018 ; Accepted : July 19, 2018)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติการทนไฟของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเถ้าแกลบบดละเอียด ซึ่งออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 300, 500 และ 700 กก./ซม.² จากนั้นนำเถ้าแกลบตำมาบดละเอียดให้มีขนาดอนุภาคข้างตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ในอัตราส่วนน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แล้วนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทำการหล่อตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด $0.20 \times 0.20 \times 0.80$ ม.³ แล้วบ่มเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นระยะเวลา 90 วัน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อทำการทดสอบกำลังอัด แล้วนำผลที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ผ่านการเผา

จากผลการทดลองพบว่าการใช้เถ้าแกลบบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 สามารถช่วยพัฒนากำลังของคอนกรีตที่อายุ 90 วัน สูงกว่าคอนกรีตควบคุม ส่วนการใช้ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเล็กน้อย และเมื่อนำเสาคอนกรีตเสริมเหล็กมาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ากำลังอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดลดลงประมาณร้อยละ 45 ในทุกอัตราส่วนการออกแบบ สำหรับการใช้เถ้าแกลบบดละเอียดช่วยให้อัตราการลดลงของกำลังอัดเนื่องจากการเผาน้อยกว่าเสาคอนกรีตควบคุม โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของการใช้เถ้าแกลบบดละเอียดคือร้อยละ 20 เพราะจะทำให้กำลังอัดสูงกว่าเสาคอนกรีตควบคุม หลังการเผาประมาณร้อยละ 15 ถึง 20 จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการใช้เถ้าแกลบบดละเอียดสามารถเพิ่มความต้านทานการทนไฟของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้

คำสำคัญ : การทนไฟ, กำลังอัด, เถ้าแกลบบดละเอียด, เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก



Abstract

This research was to study the fire resistance of reinforced concrete columns containing ground rice husk ash. The designed compressive strengths of control concretes at 28 days were 300, 500 and 700 kg/cm². Rice husk ash was ground until the particles retaining on sieve No. 325 not more than 5% by weight. Portland cement type I was replaced by ground rice husk ash at 0, 10, 20 and 30% by weight. Reinforced concrete columns were cast at size of 0.20 x 0.20 x 0.80 m³. The samples were cured at 90 days and burned at 600 °C for 2 hours to test the compressive strength and compared with unburned reinforced concrete columns.

From the experimental result, it showed that the use of ground rice husk ash at 10 and 20% could improve the strength development of concrete at 90 days and were higher than that of control concrete while the use of 30% slightly lower than that one. After burned reinforced concrete columns at 600°C for 2 hours, it was found that the strength of columns were reduced approximately 45% of control columns without ground rice husk ash for all designed strengths. Usage of ground rice husk ash in reinforced concrete columns decreased the strength loss due to burning. The optimum usage of ground rice husk ash was 20% which it provided the strength higher than the burned column approximately 10 to 15%. From the result, it can be concluded that ground rice husk ash can increase the fire resistance of reinforced concrete columns.

Keywords : fire resistance, compressive strength, ground rice husk ash, reinforced concrete column



บทนำ

สมบัติการทนไฟของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก นับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับความปลอดภัยของการใช้งาน เนื่องจากเมื่อเกิดเพลิงไหม้อาคาร ผู้อยู่ในอาคารจำเป็นต้องมีระยะเวลาหนึ่งที่ใช้ในการหนีภัยหรือมีระยะเวลาเพียงพอสำหรับนักผจญเพลิงให้ความช่วยเหลือ และหลังเพลิงสงบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอาจได้รับความเสียหาย แม้ว่าโครงสร้างยังไม่วิบัติ แต่ความสามารถในการรับกำลังของโครงสร้างอาจเปลี่ยนแปลงไป เพราะหลังจากถูกเพลิงไหม้แล้ว จะมองเห็นเพียงผิวภายนอกของคอนกรีตเสริมเหล็กเท่านั้น ความแข็งแรงของคอนกรีตจะลดลง แต่ระบุไม่ได้ว่าโครงสร้างอาคารนั้นสามารถใช้งานอย่างปลอดภัยหรือไม่ หลังจากที่เกิดเพลิงไหม้ การวิเคราะห์เบื้องต้นเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะจะนำมาซึ่งการพิสูจน์หรือตรวจสอบในเชิงวิศวกรรม เมื่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็กถูกเพลิงไหม้หรืออยู่ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่ง กำลังอัดของคอนกรีตจะมีค่าลดลง และเหล็กเสริมที่อยู่ในคอนกรีตจะมีการสูญเสียกำลัง สมบัติของคอนกรีตหลังเสื่อมสภาพจากเพลิงไหม้มีความแปรปรวนค่อนข้างสูงขึ้นกับปัจจัยหลายประการเช่น ความรุนแรงของเพลิงไหม้หรือระยะเวลาของการเผาไหม้ (อัญวัฒน์ โพธิศิริ, 2558) สำหรับมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย กำหนดให้อาคารชั้นเดียวมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง อาคารหลายชั้นมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1½ ชั่วโมง อาคารขนาดใหญ่มีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ส่วนอาคารใต้ดินมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง (อัญวัฒน์ โพธิศิริ, 2558)

คอนกรีตมีส่วนประกอบหลัก คือ ปูนซีเมนต์ หิน และน้ำ นอกจากนี้อาจมีสารผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต คอนกรีตมีสมบัติการทนไฟได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การนำความร้อนของคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าเหล็กถึง 50 เท่าในอุณหภูมิที่สูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของคอนกรีตจะลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ส่วนที่เป็นซีเมนต์เพสต์จะหดตัวขณะที่มวลรวมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเพราะเป็นวัสดุเฉื่อย ซึ่งการหดตัวภายในคอนกรีต ที่ไม่สัมพันธ์กันนี้ทำให้เกิดคอนกรีตเกิดการแตกร้าว (Harmathy, 1993) และเมื่ออุณหภูมิประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide) ในคอนกรีตจะแตกตัวเป็นแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) ทำให้การระเหยของน้ำเพิ่มขึ้นดังนั้นคอนกรีตจึงเกิดการแตกร้าวมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สูงในคอนกรีตจะทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆ ที่บริเวณผิวนอกของคอนกรีต สีของคอนกรีตจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ถูกเผาไหม้ กำลังที่ลดลง จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ M.M. Shoaib and S.A. Ahmed (2001) เมื่อนำมอร์ตาร์ที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

แล้วทำให้เย็นตัวลงด้วยการแช่น้ำ ปลดปล่อยไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิห้อง และปล่อยไว้ในเตาเผา พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลงทุกรูปแบบของการเย็นตัว โดยมอร์ตาร์ที่เย็นตัวโดยการแช่น้ำทันทีที่มีค่าลดลงน้อยที่สุด รองลงมาคือเย็นตัวในเตาเผาและในอากาศตามลำดับ และจากงานวิจัยของทรงเกียรติ หาญสันติ และชัชชาติ สิทธิพันธุ์ (2544) ซึ่งได้ศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกไฟไหม้ พบว่ากำลังอัดของคอนกรีต ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมหลังการเผาไฟ กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมหลังเผาไฟ มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เผาไฟ ระยะหุ้มคอนกรีตมีส่วนสำคัญต่อเหล็กเสริมภายใน และชนิดของเหล็กเสริม ยังมีผลกระทบด้วย โดยเหล็กกลมจะสูญเสียกำลังยึดเหนี่ยวมากกว่าเหล็กข้ออ้อย

ถ้าแปลเป็นผลพลอยได้จะการใช้แปลเป็นเชื้อเพลิง ถ้าแปลส่วนใหญ่จะมีรูปร่างไม่แน่นอน มีรูพรุนสูง และขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดปูนซีเมนต์ ทำให้มีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากต้องการนำถ้าแปลมาใช้งานในคอนกรีต จำเป็นต้องบดถ้าแปลให้ละเอียดใกล้เคียงขนาดปูนซีเมนต์ และใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อให้ความสามารถในการเทจเดิม (พัชร อ่อนพรม, 2557) บุรฉัตร ฉัตรวิระ และวัชรกร วงศ์คำจันทร์ (2544) ได้ศึกษาพฤติกรรมทางกลของคอนกรีตผสมถ้าแปลละเอียด เปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา พบว่าถ้าแปลบดละเอียดมีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี สามารถใช้เป็นวัสดุประสานในคอนกรีตได้ ค่ายุบตัวของคอนกรีตผสมถ้าแปลมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา หน่วยน้ำหนักในสภาพสดของคอนกรีตผสมถ้าแปลลดลงเมื่อเพิ่มการแทนที่ กำลังอัดที่อายุ 28 วันขึ้นไปมีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา ไม่นดูลึดย่นต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาเล็กน้อย อุณหภูมิของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาในทุกส่วนผสม ซึ่งการใช้ถ้าแปลบดละเอียดในคอนกรีตจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของถ้าแปล อีกทั้งช่วยลดต้นทุนของคอนกรีตได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นแล้วว่าถ้าแปลบดละเอียดสามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตได้ดี แต่ยังขาดงานวิจัยในบางส่วนเกี่ยวกับคุณสมบัติการทนไฟของคอนกรีตผสมถ้าแปลและการประยุกต์สำหรับการรับกำลังอัดของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมถ้าแปลบดละเอียด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความมุ่งหมายที่จะศึกษาสมบัติการทนไฟของคอนกรีตเสริมเหล็กผสมถ้าแปลบดละเอียด

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการทนไฟของคอนกรีตเสริมเหล็กผสมถ้าแปลบดละเอียดในอัตราส่วนผสมต่างๆ และกำลังอัดที่ออกแบบคอนกรีตควบคุมต่างกัน



การเตรียมวัสดุและวิธีการทดลอง

1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ปูนซีเมนต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งเก็บและบรรจุไว้โดยไม่มี ความชื้น ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการใช้ตัวอย่างจำนวน 2 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.14 และมีปริมาณอนุภาคข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 16.51
2. ทรายใช้ทรายแม่น้ำ ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย มีค่าเท่ากับ 2.76 และการกระจายขนาดผลของทราย เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C136
3. หินใช้หินปูนย่อยโดยมีขนาดโตสุด $\frac{1}{2}$ นิ้ว และหินมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 6.32 และการกระจายขนาดผลของหิน เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C136
4. เถ้าแกลบ ใช้เถ้าแกลบจากบริษัทแบ่งมัน ภาพสินธุ์ จำกัด ตำบลคำบัง อำเภอยะผิง จังหวัดกาฬสินธุ์ นำไปบดด้วยเครื่องบดแบบตกรกระทุบ ได้ขนาดที่ค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 4.82 และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.26

5. น้ำ ใช้น้ำประปาสะอาดในการผสมคอนกรีต

6. สารผสมเพิ่ม ใช้นํ้ายาลดน้ำพิเศษ ชนิด F ตามมาตรฐาน ASTM C494

2. ส่วนผสมคอนกรีตและการหล่อตัวอย่าง

2.1 การหล่อตัวอย่างทรงกระบอก ทำการออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม เท่ากับ 300, 500 และ 700 กก./ซม.² ควบคุมค่ายุบตัว 10 ± 2 ซม. แล้วหล่อตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร สูง 0.20 เมตร จากนั้นนำเถ้าแกลบ บดละเอียดมาแทนที่ปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และทำการควบคุมค่าการยุบตัวให้ได้ 10 ± 2 ซม. ด้วยสารลดน้ำพิเศษ ถอดแบบที่อายุ 1 วัน บ่มในน้ำจนกระทั่งตัวอย่างมีอายุ 28 และ 90 วัน นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำแล้วผึ่งให้แห้ง ทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุมและคอนกรีตผสมเถ้าแกลบบดละเอียด ก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนผสมทั้งหมด ได้แสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 ส่วนผสมของคอนกรีต

ประเภทคอนกรีต	อัตราส่วนผสม (กก./ม. ³)					
	น้ำ	ปูนซีเมนต์	เถ้าแกลบบดละเอียด	ทราย	หิน	สารลดน้ำพิเศษชนิด F
CC300	200	285	0	841	1018	สูงสุด 2%
10RA300	203	257	28	837	1012	สูงสุด 2%
20RA300	203	229	57	833	1006	สูงสุด 2%
30RA300	206	200	86	829	1000	สูงสุด 2%
CC500	180	439	0	670	1024	สูงสุด 2%
10RA500	180	395	44	667	1020	สูงสุด 2%
20RA500	180	351	88	664	1015	สูงสุด 2%
30RA500	180	307	132	662	1011	สูงสุด 2%
CC700	160	533	0	644	1024	สูงสุด 2%
10RA700	160	480	53	641	1019	สูงสุด 2%
20RA700	160	426	107	637	1013	สูงสุด 2%
30RA700	160	373	160	634	1008	สูงสุด 2%

2.2 การหล่อตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำการผสมคอนกรีตเช่นเดียวกับข้อ 2.1 เพื่อหล่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดหน้าตัด 0.20x0.20 เมตร สูง 0.80 เมตร มีระยะหุ้ม 3 ซม. เหล็กรับแรงใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD30 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. (DB12) จำนวน 4 เส้น และใช้เหล็กปลอกเป็นเหล็กกลมชั้นคุณภาพ SR24 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (RB6) มีระยะห่างของเหล็กปลอก 20 ซม. จากนั้นทำการบ่มคอนกรีต

เสาอายุ 90 วัน แล้วทดสอบกำลังอัดด้วยค้อนกระแทก (Schmidt Hammer Test) จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเผาตัวอย่างแล้วเสร็จปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ ตรวจสอบด้วยสายตาดูการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวนอกของเสาคอนกรีต ทดสอบกำลังอัดด้วยค้อนกระแทก (Schmidt Hammer Test) อีกครั้ง แล้วจึงทำการนำตัวอย่างเสาไปทดสอบหาค่ากำลังอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงกด



ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

1. องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้ากลบ

จากตารางที่ 2 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลัก (Major oxides) ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกาออกไซด์ (SiO₂) อลูมินาออกไซด์ (Al₂O₃) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) ทั้ง 4 นี้รวมกันได้ร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์จึงเป็นสารประกอบหลักที่กำหนด

คุณสมบัติและคุณภาพของปูนซีเมนต์ เถ้ากลบมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่คือ SiO₂ ร้อยละ 90.2 Al₂O₃ ร้อยละ 0.67 Fe₂O₃ ร้อยละ 0.95 รวมร้อยละ 91.82 มีค่าการสูญเสียจากการเผาไหม้ LOI ร้อยละ 3.41 และ SO₃ ร้อยละ 0.21 ตาม ASTM C618 เถ้ากลบบดละเอียดที่ใช้ในการวิจัยนี้จึงมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้ากลบและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (%)	เถ้ากลบ (%)
Silicon dioxide (SiO ₂)	20.62	90.21
Aluminium oxide (Al ₂ O ₃)	5.22	0.67
Iron oxide (Fe ₂ O ₃)	3.10	0.95
Calcium oxide (CaO)	65.0	0.94
Magnesium oxide (MgO)	0.91	0.49
Sodium oxide (Na ₂ O)	0.50	0.12
Potassium oxide (K ₂ O)	0.07	3.75
Sulfur trioxide (SO ₃)	2.70	0.21
Loss on ignition (LOI)	1.13	3.41

2. การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้ากลบบดละเอียด

ผลเสีย

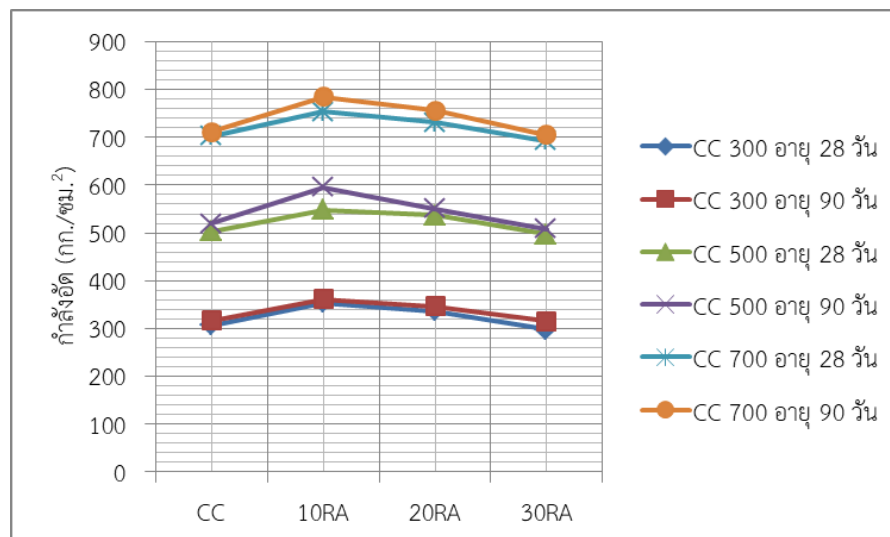
ผลการทดสอบกำลังอัดตัวอย่างรูปทรงกระบอกแสดงในตารางที่ 3 พบว่า CC300, CC500 และ CC700 มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 306, 503 และ 703 กก./ซม.² ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกำลังอัดที่ออกแบบไว้ และเมื่อแทนที่ด้วยเถ้ากลบบดละเอียดในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 พบว่าคอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 106 ถึง 112 เนื่องจากเถ้ากลบบดละเอียดมีอนุภาคเล็กกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นอนุภาคของเถ้ากลบบดละเอียดจึงช่วยอุดช่องว่างในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตแน่นขึ้นจึงรับกำลังอัดได้มากขึ้น (สมชาย อินทะตา, 2556) ส่วนปริมาณการแทนที่ ร้อยละ

30 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ากลบบดละเอียดในปริมาณที่สูงเกินไปจะทำให้ กำลังอัดของคอนกรีตลดลง และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น พบว่าคอนกรีตผสมเถ้ากลบบดละเอียดมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อยละ 2 ถึง 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเถ้ากลบบดละเอียดมีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานดังแสดงในภาพที่ 1 (ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547) ดังนั้นปริมาณการแทนที่ที่เหมาะสมสำหรับกำลังอัดสูงสุดคืออัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 10 แต่หากพิจารณาอัตราการแทนที่สูงสุดและให้กำลังอัดไม่น้อยกว่าคอนกรีตควบคุม ปริมาณการแทนที่ที่เหมาะสมคืออัตราการแทนที่ร้อยละ 20



ตารางที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตก่อนและหลังเผา

ประเภท คอนกรีต	กำลังอัด (กก./ซม. ²) - ร้อยละกำลังอัด					แรงตามแนวแกนเสา	
	ตัวอย่างทรงกระบอก			ตัวอย่างเสาด้วยค้อน กระแทก		(ตัน) - ร้อยละแรงตามแนวแกน	
	อายุ 28 วันไม่เผา	อายุ 90 วันไม่เผา	อายุ 90 วัน เเผา 2 ชม	อายุ 90 วัน ไม่เผา	อายุ 90 วัน เผา 2 ชม	อายุ 90 วัน ไม่เผา	อายุ 90 วัน เผา 2 ชม
CC 300	306-(100)	317-(100)	172-(54)	362-(100)	204-(56)	136.40-(100)	68.80-(50)
10RA300	344-(112)	361-(114)	213-(67)	398-(110)	211-(58)	149.60-(110)	85.20-(62)
20RA300	326-(106)	347-(109)	229-(72)	369-(102)	263-(73)	144.40-(106)	91.61-(67)
30RA300	298-(97)	315-(99)	179-(56)	345-(95)	226-(62)	131.60-(96)	71.60-(52)
CC 500	503-(100)	519-(100)	287-(55)	561-(100)	312-(56)	204.00-(100)	114.80-(54)
10RA500	548-(109)	595-(115)	352-(68)	624-(111)	376-(67)	237.60-(111)	140.80-(66)
20RA500	537-(107)	550-(106)	370-(71)	584-(104)	397-(71)	220.40-(103)	148.00-(69)
30RA500	497-(99)	508-(98)	330-(64)	552-(98)	352-(63)	210.00-(98)	132.00-(62)
CC 700	703-(100)	711-(100)	397-(56)	716-(100)	377-(53)	232.00-(100)	142.80-(62)
10RA700	753-(107)	785-(111)	489-(69)	791-(110)	465-(65)	258.00-(111)	162.60-(70)
20RA700	731-(104)	756-(107)	552-(78)	764-(107)	493-(69)	251.00-(108)	177.20-(76)
30RA700	692-(98)	705-(99)	445-(63)	710-(99)	457-(64)	240.00-(103)	158.00-(68)



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราการแทนที่ของเถ้าแกลบอายุ 28 และ 90 วัน

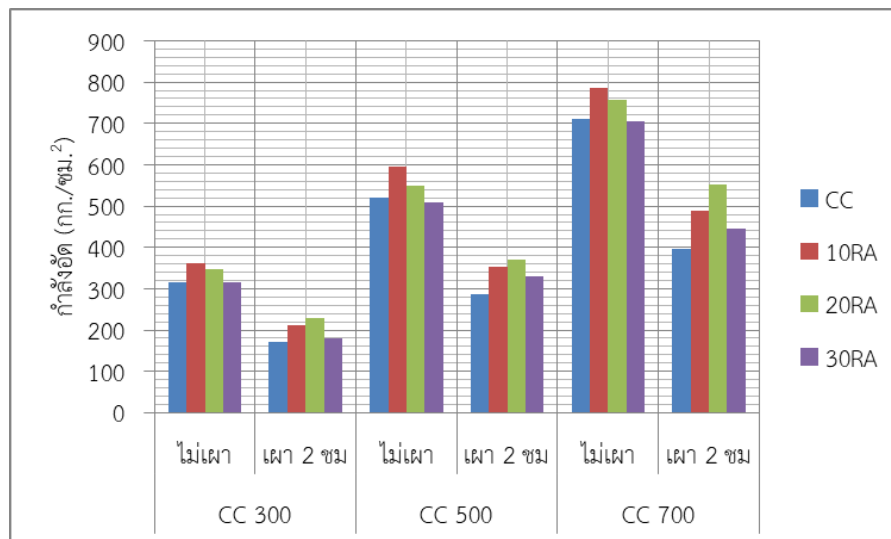


3. กำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอกก่อนและหลังการเผา

จากผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดคอนกรีตควบคุมก่อนเผาที่อายุ 90 วัน CC300, CC500 และ CC700 มีค่าเท่ากับ 317, 519 และ 711 กก./ซม.² เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ากำลังอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 172, 287 และ 397 กก./ซม.² โดยมีอัตราการลดกำลังคงเหลือคิดเป็นร้อยละ 54, 55 และ 56 ของคอนกรีตควบคุม เห็นได้ว่ากำลังอัดลดลงประมาณร้อยละ 45 เกือบเท่ากันทุกส่วนผสมที่ออกแบบ

เมื่อพิจารณาคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ากลบบดละเอียดหลังการเผาพบว่าการแทนที่ร้อยละ 10 ถึง 30 ด้วยเถ้ากลบบดละเอียดจะให้กำลังอัดหลังการเผาสูงกว่าคอนกรีตควบคุม

ทุกการออกแบบ โดยการแทนที่ร้อยละ 20 จะให้กำลังอัดคงเหลือสูงสุดในทุกการออกแบบ โดยมีกำลังอัดร้อยละ 72, 71 และ 78 ของคอนกรีตควบคุมก่อนการเผา ส่วนการแทนที่ร้อยละ 30 พบว่ากำลังอัดคงเหลือมีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุมหลังการเผา แม้ว่ากำลังอัดก่อนการเผาจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย นั้นแสดงให้เห็นว่าเถ้ากลบบดละเอียดช่วยในการทนไฟของคอนกรีตได้ เนื่องจากเถ้ากลบบดละเอียดจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์แล้วเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่มีสมบัติการทนไฟที่ดีกว่าจึงทำให้กำลังอัดคงเหลือหลังการเผาของคอนกรีตผสมเถ้ากลบบดละเอียดสูงกว่ันเอง (Tanyildizi, Harun and Coskun Ahmet, 2008) แสดงในภาพที่ 2

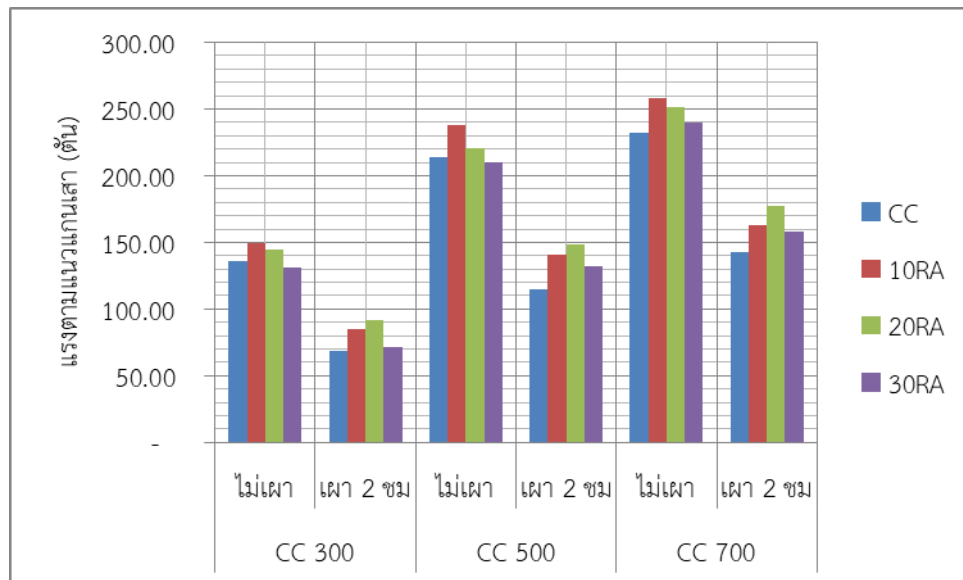


ภาพที่ 2 กำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอก ก่อนและหลังการเผา

4. กำลังอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนและหลังการเผา

ในการทดสอบกำลังอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจะทำการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้ค้อนกระแทกและการทดสอบแบบทำลายด้วยเครื่องทดสอบเนกประสงค์ จากผลการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กพบว่า แรงตามแนวแกนของเสาคอนกรีตควบคุม ที่อายุ 90 วัน แรงตามแนวแกนควบคุม มีค่าเท่ากับ 136, 204 และ 232 ตัน เมื่อเผาเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เสาคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีค่าแรงตามแนวแกนลดลง เท่ากับ 68.80, 114.80 และ 142.80 ตัน คิดเป็นอัตราลดกำลังคงเหลือร้อยละ 50 54 และ 62 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุมก่อนการเผา เห็นได้ว่าเมื่อคอนกรีตเสริมเหล็กมีกำลังอัดของคอนกรีตที่สูงขึ้น การทนไฟจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 สำหรับการทนไฟ

ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่แทนที่ด้วยเถ้ากลบบดละเอียดที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่ามีค่าแรงตามแนวแกนสูงกว่าคอนกรีตควบคุมหลังการเผา โดยในอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้ากลบบดละเอียดร้อยละ 10 และ 20 สามารถช่วยพัฒนาการทนไฟได้ประมาณร้อยละ 13 ถึง 34 ของคอนกรีตควบคุมหลังการเผา ปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้ากลบบดละเอียดร้อยละ 20 สามารถทำให้คอนกรีตทนไฟได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าผลการทดสอบการทนไฟที่ได้มีความสอดคล้องกันทั้งการทดสอบแบบทรงกระบอกทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทก และทดสอบแบบทำลาย ดังนั้นในการตรวจสอบอาคารหลังเพลิงไหม้สามารถใช้ค้อนกระแทกหรือการคอร์คอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัดเพื่อใช้ประเมินกำลังอัดของเสาจริงได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากการทดสอบเสาจริงไม่สามารถกระทำได้



ภาพที่ 3 กำลังอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนและหลังการเผา

5. วิเคราะห์การวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจากภาพถ่าย

การวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมพบว่า ตำแหน่งการวิบัติส่วนมากจะอยู่ที่โคนเสาและหัวเสา สอดคล้องกับคู่มือการเสริมเหล็ก (www.thaiseismic.com/wp-content) การวิบัติจะทำให้เหล็กแกนคด เหล็กปลอกง้างออกมองเห็นชัดเจน ซึ่งเกิดจากการเสียรูปทั้งเหล็กยื่นและเหล็กปลอก ดังแสดงในรูปภาพที่ 4

เมื่อนำเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเผาไฟอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าตำแหน่งวิบัติจะอยู่ที่หัวเสา เหล็กยื่นและเหล็กปลอกจะไม่ค่อยเสียรูปโดยระยะหุ้มของคอนกรีตเป็นสิ่งสำคัญมากเนื่องจากความร้อนทำลายสมบัติทางกายภาพคอนกรีต ทำให้แรงยึดเหนี่ยวของเหล็กจะหายไป สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (ธีรพจน์ ศุภวิริยะกิจ, 2544) การแตกร้าวเป็นแนวตั้ง

ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน เมื่อแทนที่ด้วยเส้นเกลียวคดเคี้ยวในปริมาณมากขึ้นการแตกร้าวก็มีมากขึ้น บ่งบอกถึงคอนกรีตสูญเสียกำลังอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปภาพที่ 5 ถึงภาพที่ 8

จากภาพที่ 9 ตัวอย่างเสาคอนกรีตถูกทาสีขาวเพื่อให้เห็นรอยร้าวที่ผิวชัดเจนขึ้น ตัวอย่างเสาควบคุมวิบัติที่หัวเสาเหล็กยื่นและเหล็กปลอกคดงอ แสดงในภาพที่ 9 (ก) เมื่อผ่านการเผาแล้ว นำตัวอย่างเสามาทดสอบ การตรวจพินิจความเสียหายด้วยสายตาทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการแตกร้าว พบว่าคอนกรีตเสียกำลัง (ทรงเกียรติ หาญสันติ, 2544) แต่เหล็กภายในยังปกติไม่เสียรูปแสดงในภาพที่ 9 (ข) และ (ค) เสาจะหดสั้นลงเล็กน้อย รอยร้าวสามารถบอกได้ถึงกำลังที่เหลือ จำนวนของรอยแตกร้าวที่หัวเสากระจายแบบไม่มีทิศทาง อัตราการขยายตัวของรอยร้าวและการหลุดร่อนของคอนกรีต คือลักษณะของการสูญเสียในเนื้อคอนกรีตเนื่องจากสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 4 แสดงการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนการเผา



เสา 600
0RA300



เสา 600
0RA500



เสา 600
0RA700

ภาพที่ 5 แสดงการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมหลังการเผา



เสา 600
10RA300



เสา 600
10RA500



เสา 600
10RA700

ภาพที่ 6 แสดงการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเถ้าแกลบบดละเอียดร้อยละ 10 หลังการเผา



เสา 600
20RA300



เสา 600
20RA500



เสา 600
20RA700

ภาพที่ 7 แสดงการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเถ้าแกลบบดละเอียดร้อยละ 20 หลังการเผา



ภาพที่ 8 แสดงการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเถ้าแกลบบดละเอียดร้อยละ 30 หลังการเผา



ก(ไม่เผา)



ข(เผา)



ค(เผา)

ภาพที่ 9 ลักษณะของเหล็กเสริมและเหล็กปลอกของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนและหลังการเผา

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การใช้เถ้าแกลบบดละเอียดสามารถช่วยพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตได้ โดยการแทนที่ร้อยละ 10 และ 20 จะมีค่า กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุม แต่เมื่อแทนที่ร้อยละ 30 กำลังอัด ของคอนกรีตจะต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเล็กน้อย ปริมาณการแทนที่ ที่เหมาะสมสำหรับกำลังอัดสูงสุดคืออัตราการแทนที่ร้อยละ 10 แต่หากพิจารณาอัตราการแทนที่ที่สูงสุดและให้กำลังอัดไม่น้อยกว่า คอนกรีตควบคุม ปริมาณการแทนที่ที่เหมาะสมคืออัตราการแทนที่ ร้อยละ 20
2. คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบด เติดยืดหลังการเผาพบว่า การแทนที่ร้อยละ 10-30 ด้วยเถ้าแกลบ บดละเอียดจะให้กำลังอัดหลังการเผาสูงกว่าคอนกรีตควบคุมหลัง

เผาทุกการออกแบบ โดยการแทนที่ร้อยละ 20 จะให้กำลังอัดคง เหลือสูงสุดในทุกการออกแบบ โดยมีกำลังอัดร้อยละ 72, 71 และ 78 ของคอนกรีตควบคุมก่อนการเผา

3. การใช้เถ้าแกลบบดละเอียดในอัตราส่วนการแทนที่ ร้อยละ 10 และ 20 สามารถช่วยพัฒนาการทนไฟได้ประมาณ ร้อยละ 13 ถึง 34 ของคอนกรีตควบคุมหลังการเผา และที่ปริมาณ การแทนที่ด้วยเถ้าแกลบบดละเอียดร้อยละ 20 สามารถทำให้ คอนกรีตทนไฟได้ดีที่สุด

4. ผลการทดสอบการทนไฟของคอนกรีตด้วยการ ทดสอบแบบทรงกระบอก และเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการ ทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระแทกและทดสอบแบบทำลาย จะให้ผลที่สอดคล้องกัน



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ สาขาวิชาศิลปะและการออกแบบ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือทดสอบ ในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ธัญวัฒน์ โพธิ์ศิริ, (2558) การออกแบบโครงสร้างเพื่อความปลอดภัยด้านอัคคีภัย. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- กานต์สินี แก้วเพ็ชร, พรพรรณ อริยะสุข และอัครา โชคเจริญมหาศาล (2558) รูปแบบรอยร้าวและกำลังของคอนกรีตที่เสียหายจากไฟ. ปริญญาานิพนธ์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- โครงสร้างอาคารกับอัคคีภัย !!! <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/fire/item>
- ทรงเกียรติ หายสันติ และซัชชาติ สิทธิพันธุ์ (2544) พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกไฟไหม้. วิทยานิพนธ์ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธีระพจน์ ศุภวิริยะกิจ. (2543) การศึกษาเปรียบเทียบกำลังยึดเหนี่ยวของเหล็กเสริมในคอนกรีตกำลังปกติกับคอนกรีตผสมเถ้าลอยหลังถูกไฟเผา. วิทยานิพนธ์ : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บุรฉัตร ฉัตรวิระ และวัชรกร วงศ์คำจันทร์ (2544 : 327-342) พฤติกรรมทางกลของคอนกรีตผสมเถ้ากลบละเอียด : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ปฐมเมศ วัฒนิตพจมาน และทีฆทัศน์ หทัยพิทักษ์. (2558) “การทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้าง คสล. ซึ่งออกแบบตามกฎกระทรวงฉบับที่ 60,” ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, ชลบุรี
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2547). ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต. กรุงเทพฯ : บริษัทเอสซีซีซีเมนต์ จำกัด.
- ภคพล ช่างยันต์ และเรืองรุชต์ ชีระโรจน์. “การใช้เถ้าขาน้อยในคอนกรีตกำลังสูง,” ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13 หน้า 251-256. ชลบุรี

- ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด และอมร พิมานมาศ การออกแบบอาคารด้านอัคคีภัย : พฤติกรรมของวัสดุภายใต้อัคคีภัยโยธาสาร : ปีที่ 24 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2555 กำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายหลังการเผาไฟ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
- สมชาย อินทะตา (2556) ความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลานบดละเอียด. ปริญญา. คุชภักดิ์บัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- เอกชัย กลิ่นบุบผา, จิรศักดิ์ สุพรมวัน และรัฐพล สมนา. (2558). “คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตหลังการเผาด้วยอุณหภูมิสูง,” ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, ชลบุรี
- ASTM C 109 : Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens),” 1997 Annual Book of ASTM Standard. 4(1) : 71-75, 1997 A.
- ASTM C 136-01 : Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,” Annual Book of ASTM Standards. 4(2) : 84-87, 1997 F.
- ASTM C 496-96 : Standard the Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards. 4(2) : 273-276, 2001 L.
- ASTM C 618 -97 : Standard the Test Method for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 127-01 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate,” Annual Book of ASTM Standards. 4(2) : 68-73, 1997 C.
- ASTM C 128-01 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate,” Annual Book of ASTM Standards. 4(2) : 74-79, 1997 D.
- Manjit Singh and Mridul GargBanthia. “Durability of Cementing Binders Based on Fly Ash and other Wastes,” Construction and Building Materials. 21(11) : 2012-2016, 2007.



- Mindess, S. and J.F. Young. Concrete. New Jersey : Prentice-Hall, 1981.
- Nemkumar Banthia and Sidney Mindess. "Water Permeability of Cement Paste," Cement and Concrete Research. 19(5) : 727-736, 1989.
- Neville, A.M. "Chloride Attack of Reinforced Concrete : an Overview," Material and Structures. 28(1) : 63-70, 1995.
- Pollock, D.J. "Concrete Durability Tests Using the Gulf Environment on Deterioration and Repair of Reinforced in the Arabian Gulf," The Bahrain Society of Engineering. 4(1) : 427-441, 1985.
- Tanyildizi, Harun and Coskun, Ahmet. "Performance of Lightweight Concrete with Silica Fume After High Temperature," Construction and Building Materials. 22(10) : 2124-2129 ; October, 2008.