

ผลของวิธีการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตคุณภาพสูงหลังถูกไฟเผา
ที่ระดับความรุนแรงปานกลาง

Effects of Curing Methods on Compressive Strength of High Performance Concrete
Subjected to Moderate Fire Severity

เผด็จ งามเจริญ

บริษัท ช.การช่าง จำกัด (มหาชน)

วินัย อวยพรประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยรังสิต

อรรถ เปรมปรีดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลของวิธีการบ่มต่อการฟื้นกำลังอัดของคอนกรีตคุณภาพสูงหลังจากถูกไฟเผาที่ระดับความรุนแรงปานกลาง คอนกรีตที่ใช้มีส่วนผสมของสารลดปริมาณน้ำจำนวนมากในอัตราร้อยละ 1 ของซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.4 ค่าความยุบตัวประมาณ 20 ซม. การทดสอบใช้ตัวอย่างแท่งลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. จำนวน 336 ก้อน โดยมีกำลังอัดเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน ประมาณ 500 กก./ตร.ซม. จากนั้นนำแท่งตัวอย่างอายุ 28 วัน มาเผาไฟที่อุณหภูมิ 200°C, 300°C, 400°C และ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM E119 ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดจะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 92, 90, 84 และ 76 ของกำลังอัดก่อนการเผาไฟ ตามลำดับ แต่เมื่อนำคอนกรีตที่ถูกเผาไฟไปทำการบ่มด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่า การบ่มคอนกรีตในน้ำและการบ่มชื้น ทำให้คอนกรีตฟื้นกำลังอัดใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 90-96 ของกำลังอัดก่อนการเผาไฟ การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีตและการบ่มแห้งในอากาศทำให้คอนกรีตฟื้นกำลังอัดได้ประมาณร้อยละ 87-93 และ 80-93 ของกำลังอัดก่อนการเผาไฟ ตามลำดับ

ABSTRACT

This article presents effects of curing methods on ultimate compressive strength of high performance concrete which was subjected to fire of moderate severity. The experiments were carried out by using concrete having 1 percent of superplasticizer, a W/C ratio of 0.4 (slump 20 cm) and f_c' was not less than 500 ksc. Total of 336 cube specimens with 15 X 15 X 15 cm were used in the experiments. The one hour fire tests were in accordance with ASTM E119 at 200°C, 300°C, 400°C and 500°C. It was found that the remaining compressive strength of specimens after fire exposure were 92%, 90%, 84% and 76% as compared to their initial compressive strength, respectively. The heated cubes were then cured by water, moist, membrane and air for 30 days. The compressive strengths of heated cubes duly water and moist cured were 90-96% of their initial compressive strength. Where as the compressive strengths for cubes cured by membrane and air were 87-93% and 80-93% of their initial strengths, respectively.

RECEIVED 10 JUNE, 1999

ACCEPTED 8 OCTOBER, 2001

1. บทนำ

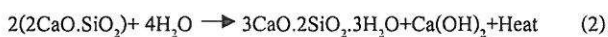
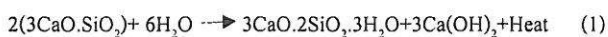
เป็นที่ทราบกันดีว่า ความร้อนทำให้คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนแปลงได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า คอนกรีตที่ถูกไฟเผาอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 200°C ขึ้นไป ความสามารถในการรับแรงอัดจะมีแนวโน้มลดลง [1] แต่เนื่องจากตำแหน่งต่าง ๆ ภายในอาคารที่เกิดเพลิงไหม้นั้น ไม่จำเป็นต้องได้รับผลเสียหายจากการเผาไหม้เท่ากัน ทั้งนี้อาจมีโครงสร้างบางส่วนถูกไฟไหม้รุนแรงไม่มากนัก กล่าวคือมีอุณหภูมิขณะเผาไหม้ไม่เกิน 500°C [2] ในกรณีเช่นนี้ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงไม่มาก และหากทิ้งไว้เป็นระยะเวลาที่ยาวนานประมาณ 5-6 เดือน คอนกรีตจะพัฒนากำลังอัดกลับคืนมาได้ในระดับหนึ่ง [3,4] แต่จะไม่เท่ากับกำลังอัดก่อนถูกไฟเผา

จะเห็นได้ว่า ไม่มีงานวิจัยใดที่กล่าวถึงวิธีการฟื้นกำลังอัดของคอนกรีตหลังจากถูกไฟเผาโดยวิธีการบ่มต่าง ๆ กัน ให้สามารถฟื้นกำลังอัดมีค่าใกล้เคียงกับความสามารถในการรับกำลังอัดก่อนถูกไฟเผาภายในระยะเวลาอันสั้น และในกรณีของคอนกรีตคุณภาพสูง (High Performance Concrete:HPC) ซึ่งเป็นที่นิยมในการก่อสร้างอาคารสูงทั่วไป กำลังอัดที่ลดลงหลังจากถูกไฟเผาที่ระดับความรุนแรงปานกลางและกำลังอัดที่ฟื้นกลับคืนมาหลังจากการบ่มโดยวิธีการต่าง ๆ กัน จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ปฏิกริยาไฮเดรชัน (Hydration)

แคลเซียมซิลิเกต ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของซีเมนต์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) หรือ CSH ดังสมการที่ (1) และ สมการที่ (2) [5]



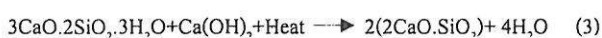
CSH มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวสานกัน ทำให้เนื้อซีเมนต์เพสต์มีความพรุนลดลง คอนกรีตจึงมีคุณสมบัติในการรับกำลังอัดได้ดี

2.2 อิทธิพลของไฟต่อคอนกรีต

อิทธิพลของความร้อนจากเพลิงไฟทำให้คอนกรีตได้รับผลกระทบดังต่อไปนี้

การเสื่อมสภาพของคอนกรีต

เมื่อคอนกรีตถูกไฟเผา แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) จะสูญเสียน้ำเนื่องจากความร้อนกลายเป็นแคลเซียมซิลิเกต เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ดีไฮเดรชัน (Dehydration) [6] ดังสมการที่ (3) และ สมการที่ (4) [5]



การเสื่อมสภาพนี้จะพบในคอนกรีตที่ถูกไฟเผาดังแต่ระดับความรุนแรงปานกลางเป็นต้นไป [2]

รอยร้าวและการหลุดกะเทาะ

การร้าวและการหลุดกะเทาะของคอนกรีตเมื่อถูกไฟเผามีสาเหตุมาจาก [6]

1. แรงดันไอน้ำ เมื่อคอนกรีตได้รับความร้อนอย่างรวดเร็ว น้ำส่วนเกินที่อยู่ในโพรงหรือช่องว่างจะเดือดกลายเป็นไอ ไอน้ำจะดันผิวโดยรอบของโพรง หากแรงดันมีมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์เพสต์ก็จะทำให้เกิดรอยร้าวตามเนื้อซีเมนต์เพสต์และผิวสัมผัสของมวลรวม บางครั้งรุนแรงถึงขั้นหลุดกะเทาะได้

2. การขยายตัวของวัสดุ ส่วนผสมของคอนกรีตแต่ละชนิดมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นไม่เท่ากัน หินปูนและทรายมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นใกล้เคียงกัน ประมาณ $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ส่วนซีเมนต์มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเป็นสองเท่าของหินปูนและทราย คือประมาณ $13 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ดังนั้น หากอุณหภูมิยิ่งสูงมากเพียงใด การขยายตัวของวัสดุก็จะแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดรอยร้าวเล็ก ๆ ในซีเมนต์เพสต์และผิวสัมผัสกับมวลรวมหยาบมากขึ้น

3. แผนการทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 : การทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน

ส่วนที่ 2 : การทดสอบเผาไฟตามมาตรฐาน ASTM E119 [7] เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 200°C, 300°C, 400°C และ 500°C

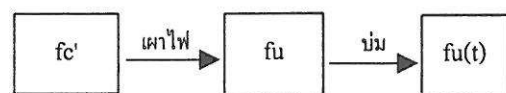
ส่วนที่ 3 : การทดสอบกำลังอัดหลังถูกไฟเผา

ส่วนที่ 4 : แท่งตัวอย่างหลังจากถูกไฟเผานำมาบ่ม 4 วิธีการ คือ

1. การบ่มแห้งในอากาศ
2. การบ่มขึ้นด้วยน้ำ
3. การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต
4. การบ่มในน้ำ

ส่วนที่ 5 : การทดสอบกำลังอัดหลังการบ่มที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน , 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน

ขั้นตอนการทดลองสามารถแสดงในรูปของแผนภาพดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพการทดสอบ

โดย fc' คือกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน

fu คือกำลังอัดหลังถูกไฟเผาอายุ 1 วัน

$fu(t)$ คือกำลังอัดหลังการบ่มที่ระยะเวลาดังกล่าว

และ $\frac{fu(t) \times 100}{fc'}$ คือร้อยละของการฟื้นกำลังอัด

4. การทดสอบ

4.1 วัสดุที่ใช้

1. หินปูน (1/2 นิ้ว) แหล่งกาญจนบุรี
2. ทรายแม่น้ำ แหล่งกาญจนบุรี
3. ปูนซีเมนต์ Type I
4. Superplasticizer
5. น้ำยาบ่มคอนกรีตชนิด Water-Based

4.2 การออกแบบส่วนผสม

ส่วนผสมคอนกรีตที่ผลิตได้ในเชิงพาณิชย์ ต่อ 1 ลบ.ม. ของคอนกรีตคุณภาพสูง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมต่อ 1 ลบ.ม.

ซีเมนต์ (กก.)	หิน (กก.)	ทราย (กก.)	น้ำ (ลิตร)	Super plasticizer (ลิตร)	Slump (ซม.)
400	1,080	840	160	4	20

4.3 จำนวนแท่งตัวอย่าง

คอนกรีตรูปทรงแปดหน้าขนาด 15x15x15 ซม. ที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนทั้งสิ้น 336 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 84 แท่งตัวอย่าง ใช้ในแต่ละอุณหภูมิที่ทดสอบ ดังการสรุปในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจำแนกแท่งตัวอย่างที่การทดสอบอุณหภูมิ 200°C

fc' ก่อนเผาไฟ		จำนวนแท่งตัวอย่าง				
		6	6	6	6	6
ทดสอบกำลังอัด หลังเผาไฟ 1 วัน		3	3	3	3	3
200°C	เวลา (วัน)	บ่มแห้ง	บ่มชื้น	น้ำยาบ่ม	บ่มน้ำ	
	7	3	3	3	3	
	15	3	3	3	3	
	30	3	3	3	3	
	60	3	3	3	3	

4.4 การทดสอบกำลังอัด

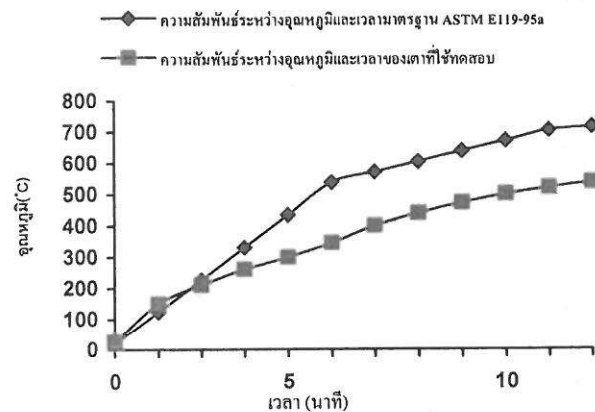
แท่งตัวอย่างที่จะทดสอบมี 3 สภาพ คือ

1. สภาพแท่งตัวอย่างก่อนถูกไฟเผาไหม้ ใช้ทดสอบหาลำดับอายุ 28 วัน
2. สภาพแท่งตัวอย่างอายุ 1 วัน หลังถูกไฟเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 200°C, 300°C, 400°C, และ 500°C ใช้ทดสอบหาลำดับที่ลดลงหลังจากถูกไฟเผา
3. สภาพแท่งตัวอย่างที่ถูกบ่มในน้ำ, บ่มชื้น, บ่มแห้งในอากาศ และบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต ใช้ทดสอบหาการฟื้นตัวของกำลังอัดหลังการบ่ม

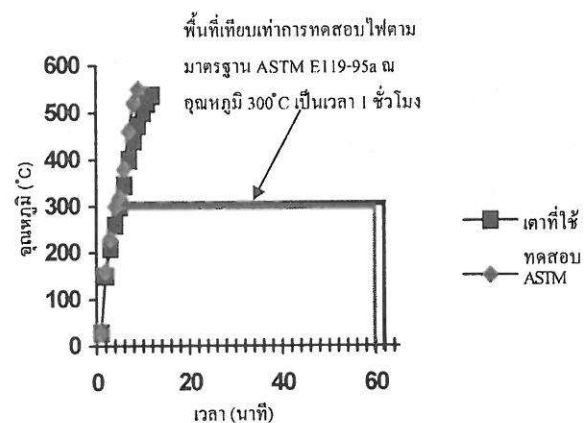
4.5 การทดสอบเผาไฟแท่งตัวอย่าง

เตาเผาเซรามิกที่ใช้ในการทดสอบเป็นเตาเผาของบ้านเมตตา จ.นครราชสีมา สามารถเผาให้มียุณหภูมิสูงถึง 1,500°C โดยใช้ น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง ความร้อนในเตาเผาถูกควบคุมโดยชุดควบคุมเชื้อเพลิง (Fuel Control) และชุดควบคุมอัตราการพ่น (Speed Control) ที่ติดตั้งอยู่ข้างหัวพ่น การวัดอุณหภูมิในเตาเผาสามารถวัดได้โดยใช้ Pyrometer มีลักษณะเป็นแท่งทองแดงหุ้มด้วยเซรามิก

เนื่องจากความรุนแรงของเพลิงไหม้ในเตาแตกต่างจากมาตรฐาน ASTM E119-95a ดังแสดงในรูปที่ 2 การทดสอบเผาไฟที่อุณหภูมิสูงกว่า 200°C จึงต้องแปลงความรุนแรงของเตาเผาให้เสมือนหนึ่งกับการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E119-95a เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นการทดสอบที่อุณหภูมิ 300°C, 400°C และ 500°C เวลาที่ใช้ในการเผาไฟจะเป็น 62 นาที, 65 นาที และ 67 นาที ตามลำดับ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 อุณหภูมิกับเวลาของเตาเผาและมาตรฐาน ASTM E119



รูปที่ 3 การแปลงความรุนแรงเสมือนที่อุณหภูมิ 300°C

เมื่อทำการเผาไฟจนถึงเวลาที่กำหนดก็จะปล่อยให้อุณหภูมิภายในเตาเผาตกลง แล้วจึงนำแท่งตัวอย่างไปทดสอบตามขั้นตอนต่อไป

4.6 การบ่มแห้งตัวอย่างหลังถูกไฟเผา

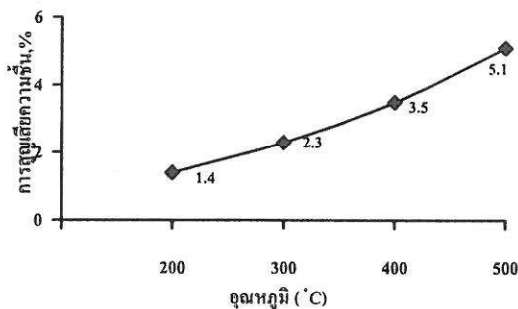
แห้งตัวอย่างจะบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน, 15 วัน, 30 วัน และ 60 วัน จึงจะนำไปทดสอบกำลังอัด วิธีการบ่มแห้งตัวอย่างเป็นดังนี้

1. การบ่มแห้งในอากาศ แห้งตัวอย่างจะนำมาผึ่งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้องจนมีอายุครบกำหนดจึงนำไปทดสอบ
2. การบ่มขึ้น แห้งตัวอย่างจะถูกคลุมด้วยกระสอบป่านที่ขึ้นน้ำเสมอ เมื่อครบกำหนดจึงนำไปทดสอบหาล้างอัด
3. การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต แห้งตัวอย่างจะถูกบ่มขึ้นด้วยน้ำ 3 วัน จึงนำมาบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต แล้วทิ้งไว้ในอากาศปกติและคอยติดตามบันทึกเมื่อสังเกตเห็นว่าสีของน้ำยาบ่มคอนกรีตเริ่มซีดจาง
4. การบ่มในน้ำ แห้งตัวอย่างจะนำไปบ่มในบ่อบ่มคอนกรีตจนมีอายุครบตามกำหนดจึงนำมาทดสอบหาล้างอัด

5. ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

5.1 น้ำหนักของแห้งตัวอย่าง

แห้งตัวอย่างหลังการทดสอบเผาไฟจะมีน้ำหนักลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การสูญเสียน้ำหนักของแห้งตัวอย่าง

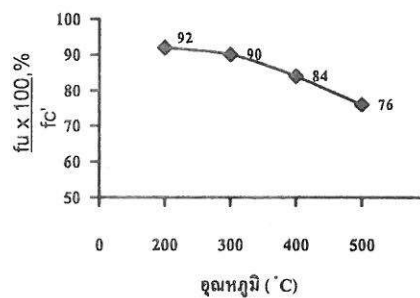
น้ำหนักที่ลดลงของแห้งตัวอย่างเกิดจากการสูญเสียที่แทรกอยู่ในโพรงและในซีเมนต์เพสต์โดยความร้อนจากการเผาไฟ

5.2 กำลังอัดที่ลดลงหลังถูกเผาไฟ

กำลังอัดของแห้งตัวอย่างอายุ 1 วัน หลังจากถูกเผาไฟแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5

ตารางที่ 3 กำลังอัดของแห้งตัวอย่างอายุ 1 วัน หลังถูกไฟเผา

อุณหภูมิ (°C)	f_c' (กก/ซม ²)	f_u (กก/ซม ²)	(%)
200	569	525	92
300	569	512	90
400	566	478	84
500	583	446	76



รูปที่ 5 กำลังอัดที่ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิการเผาไฟ

การลดกำลังอัดหลังถูกไฟเผามีผลมาจากสาเหตุที่สำคัญดังนี้คือ

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ความร้อนทำให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตแปรสภาพเป็นน้ำและแคลเซียมซิลิเกต ที่มีความสามารถรับกำลังได้ไม่มาก จึงเป็นเหตุให้คอนกรีตรับกำลังอัดได้น้อย

แรงดันไอน้ำ เมื่ออุณหภูมิของคอนกรีตสูงขึ้น น้ำส่วนเกินที่อยู่ในช่องว่างหรือโพรงของซีเมนต์เพสต์จะกลายเป็นไอ หากแรงดันของไอน้ำมากกว่ากำลังรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ ก็จะทำให้เกิดรอยร้าวในเนื้อซีเมนต์เพสต์ ความสามารถในการรับแรงอัดจึงลดลง

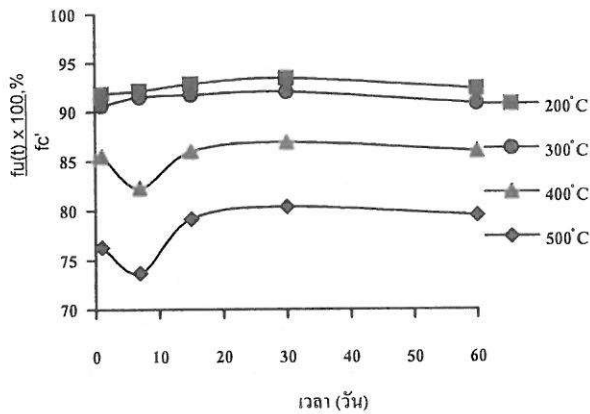
การขยายตัวเชิงเส้น ซีเมนต์ ทราย และหินปูนมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นต่างกัน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การขยายตัวของวัสดุจะแตกต่างกันมากทำให้เกิดรอยร้าวในซีเมนต์เพสต์และสัมผัสกับมวลรวมหยาบ ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเหนี่ยวของซีเมนต์เพสต์ลดลง ความสามารถในการรับกำลังอัดจึงลดลงไปด้วย

จากการทดสอบเผาไฟ สามารถสังเกตเห็นรอยร้าวบริเวณผิวของแห้งตัวอย่างที่การทดสอบอุณหภูมิ 500°C ส่วนการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C 300°C, และ 400°C จะไม่สามารถสังเกตเห็นรอยร้าวที่ผิวแห้งตัวอย่าง

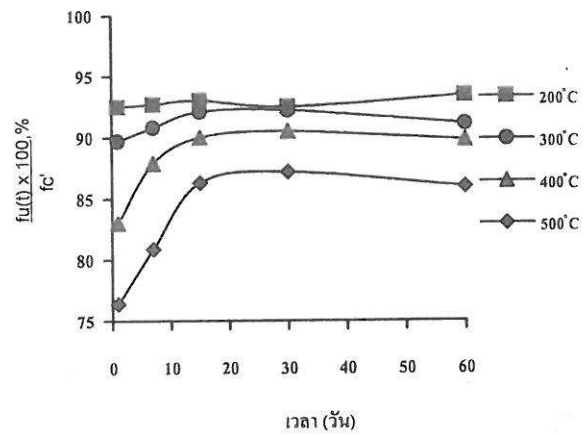
5.3 การฟื้นกำลังอัด แห้งตัวอย่างจะฟื้นกำลังอัดหลังการบ่มด้วยวิธีต่างๆ ดังผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 4 ถึงตารางที่ 7 เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบการฟื้นกำลังอัดตามอุณหภูมิที่ถูกเผาไฟ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 9

ตารางที่ 4 กำลังอัดหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 200°C จำแนกตามวิธีการบ่ม

เวลา (วัน)	บ่มแห้ง			บ่มขึ้น			บ่มด้วยน้ำยาบ่ม			บ่มในน้ำ		
	f_c'	$f_u(t)$	%	f_c'	$f_u(t)$	%	f_c'	$f_u(t)$	%	f_c'	$f_u(t)$	%
7	559	515	92	580	550	95	561	520	93	574	551	96
15	559	519	92	580	551	95	561	522	93	574	553	96
30	559	522	93	580	550	95	561	519	93	574	550	96
60	559	516	92	580	553	95	561	524	93	574	552	96



รูปที่ 6 การฟื้นกำลังอัดหลังการบ่มแห้งในอากาศ



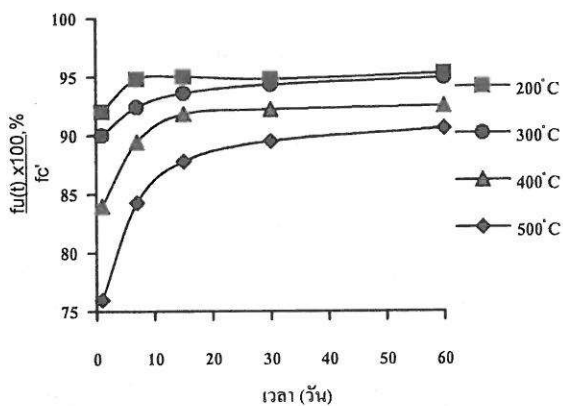
รูปที่ 8 การฟื้นกำลังอัดหลังการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต

ตารางที่ 5 กำลังอัดหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300°C จำแนกตามวิธีการบ่ม

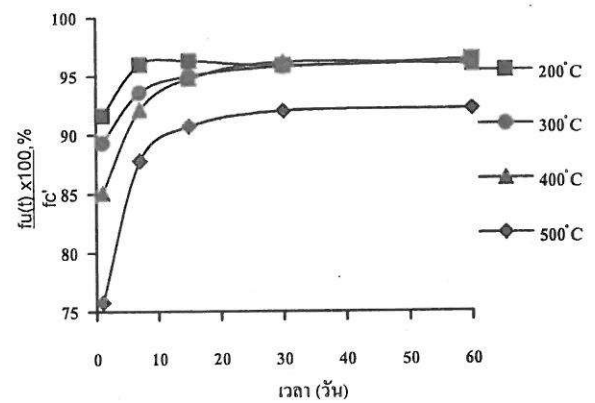
เวลา (วัน)	บ่มแห้ง			บ่มชื้น			บ่มด้วยน้ำยาบ่ม			บ่มในน้ำ		
	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%
7	575	526	92	564	521	92	554	503	91	582	545	94
15	575	527	92	564	528	94	554	510	92	582	552	95
30	575	529	92	564	532	94	554	511	92	582	560	96
60	575	522	91	564	535	95	554	509	92	582	561	96

ตารางที่ 7 กำลังอัดหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 500°C จำแนกตามวิธีการบ่ม

เวลา (วัน)	บ่มแห้ง			บ่มชื้น			บ่มด้วยน้ำยาบ่ม			บ่มในน้ำ		
	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%
7	562	414	74	588	496	84	593	480	81	590	518	88
15	562	445	79	588	510	88	593	512	86	590	535	91
30	562	452	80	588	526	90	593	517	86	590	543	92
60	562	447	80	588	534	91	593	510	86	590	544	92



รูปที่ 7 การฟื้นกำลังอัดหลังการบ่มชื้น



รูปที่ 9 การฟื้นกำลังอัดหลังการบ่มในน้ำ

ตารางที่ 6 กำลังอัดหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 400°C จำแนกตามวิธีการบ่ม

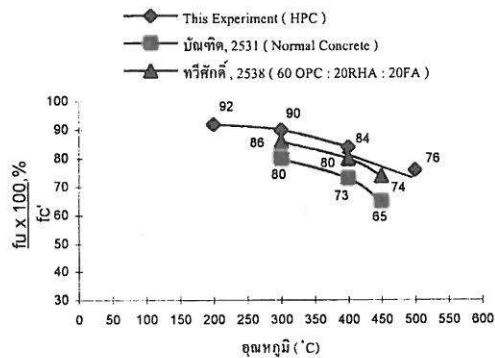
เวลา (วัน)	บ่มแห้ง			บ่มชื้น			บ่มด้วยน้ำยาบ่ม			บ่มในน้ำ		
	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%	f _c '	f _u (t)	%
7	566	466	82	580	525	89	570	501	88	542	510	94
15	566	487	86	580	539	92	570	513	90	542	515	95
30	566	488	86	580	541	92	570	516	91	542	520	96
60	566	487	86	580	543	93	570	512	90	542	520	96

ผลทดสอบพบว่า หลังการเผาไฟระหว่างอุณหภูมิ 200°C - 300°C การบ่มชื้นและการบ่มในน้ำให้ผลการฟื้นตัวของกำลังอัดได้สูงและมีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณร้อยละ 95-96 ของกำลังอัดก่อนการเผาไฟ ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 9 ส่วนการบ่มแห้งในอากาศและการบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต คอนกรีตจะฟื้นกำลังอัดได้ใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 91-93 ของกำลังอัดก่อนเผาไฟ ตามลำดับ ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 8 หลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 400°C และ 500°C การบ่มในน้ำให้ผลการฟื้นตัวของกำลังอัดได้สูงกว่า

การบ่มประเภทอื่น กำลังอัดที่เพิ่มขึ้นของแท่งตัวอย่างหลังจากการบ่มเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Rehydration) โดยน้ำจะกลับเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมซัลเฟตที่เกิดจากการสลายตัวระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ปฏิกิริยาระหว่างน้ำและแคลเซียมซัลเฟตก่อให้เกิดแคลเซียมซัลเฟตไฮเดรตหรือ CSH เช่นเดียวกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์

การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีตจะยอมให้ความชื้นเข้าไปทำปฏิกิริยาในช่วงแรกเท่านั้น แต่หลังจากจุดนั้นด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีตแล้ว น้ำยาบ่มคอนกรีตนี้จะก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม (Film) บาง ๆ ป้องกันความชื้นไม่ให้เล็ดลอดออกจากเนื้อคอนกรีต ขณะเดียวกันก็ป้องกันไม่ให้ความชื้นจากภายนอกเข้าสู่เนื้อในแท่งตัวอย่าง ทำให้การพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นไม่มาก

ส่วนการบ่มแห้งในอากาศหลังจากความชื้นถูกใช้หมดไป คอนกรีตจะยังคงเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อไปได้โดยอาศัยความชื้นในอากาศ แต่เนื่องจากความชื้นในอากาศมีค่าไม่มากและไม่สม่ำเสมอ จึงเป็นสาเหตุให้การเพิ่มกำลังอัดของวิธีการบ่มแห้งในอากาศมีค่าน้อยและไม่สม่ำเสมอด้วย



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบผลการวิจัยกำลังอัดหลังถูกไฟเผา

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองในลักษณะคล้ายคลึงกันโดยนักวิจัยอื่น ๆ ดังรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าคอนกรีตคุณภาพสูงมีแนวโน้มในการลดกำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตชนิดอื่นเมื่อถูกเผาไฟ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจาก

1. ความแน่นตัวและที่บ่มน้ำ สารลดปริมาณน้ำจำนวนมากที่ผสมลงไปนคอนกรีตนอกจากทำให้คอนกรีตไหลลื่นแล้ว ยังได้นำส่วนเกินออกจากส่วนผสมทำให้ความพรุนของซีเมนต์เฟสคือน้อยลง ช่องว่างที่เกิดขึ้นมีขนาดและปริมาณน้อยกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป จึงทำให้คอนกรีตประเภทนี้แน่นตัวและที่บ่มน้ำ ดังนั้น เมื่อขนาดและปริมาณช่องว่างในซีเมนต์เฟสคือน้อย แรงดันน้ำในช่องว่างจึงส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์เฟสคือน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตทั่วไป

2. ขนาดของมวลรวมหยาบ คอนกรีตคุณภาพสูงมีส่วนผสมเป็นหินปูนขนาดใหญ่สุด 1/2 นิ้ว ขณะที่คอนกรีตทั่วไปผสมหินปูนขนาดใหญ่สุด 3/4 นิ้ว ดังนั้นความแตกต่างของการขยายตัวเชิงเส้นในคอนกรีตคุณภาพสูงจึงเกิดขึ้นไม่มาก ส่งผลให้รอยร้าวในซีเมนต์เฟส

และผิวสัมผัสกับมวลรวมหยาบที่เกิดจากการขยายตัวมีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตชนิดทั่วไป กำลังอัดที่คงเหลือจึงมีมากกว่า

6. สรุปผล

จากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ

1. คอนกรีตที่ถูกไฟเผาจะลดความสามารถในการรับกำลังอัดลงตามระดับของอุณหภูมิที่เผาไหม้ที่สูงขึ้น เมื่อคอนกรีตที่ถูกไฟเผาได้รับการบ่มด้วยน้ำ แท่งตัวอย่างจะฟื้นกำลังอัดได้เร็วและมากกว่าวิธีการบ่มประเภทอื่น เช่น การบ่มชื้น การบ่มด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต และการบ่มแห้งในอากาศ ทั้งนี้การฟื้นกำลังอัดของคอนกรีตที่ถูกไฟเผาโดยการบ่มเป็นผลมาจากน้ำที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Rehydration)

2. คอนกรีตที่ถูกไฟเผาจะสามารถพัฒนากำลังอัดกลับคืนมาได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากรอยร้าวในเนื้อคอนกรีตเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้คอนกรีตถูกไฟเผาสูญเสียกำลังอัดไปอย่างถาวร

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาให้การอนุเคราะห์ในการจัดทำแท่งตัวอย่าง รวมทั้งผู้ปกครองบ้านเมตตา อ.เมือง จ.นครราชสีมา ที่กรุณาให้ใช้เตาเผาเซรามิกเพื่อใช้ในการเผาแท่งตัวอย่างคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zoldners, N.G., 1960, Effect of High Temperatures on Concrete Incorporating Different Aggregates, Mines Branch Research Report R.64, Ottawa.
- [2] Krampf, L. and A. Haksever, 1995, Possibilities of Assessing the Temperatures Reached by Concrete Building Elements During a Fire, In Evaluation and Repair of Fire Damage to Concrete, Michigan, USA, pp.117-120.
- [3] ทวีศักดิ์ วินทะไชย, 2538, การศึกษากำลังที่แปรเปลี่ยนตามเวลาของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเฝ้าเกลบและซีเฝ้าลอยหลังจากถูกไฟไหม้ที่ระดับความรุนแรงปานกลาง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 65-66.
- [4] บัณจิต เกษรมาลา, 2531, กำลังที่แปรเปลี่ยนตามเวลาของคอนกรีตหลังจากถูกไฟไหม้ที่ระดับความรุนแรงปานกลาง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 81-83.
- [5] Copelan, L.E. and Kantro, D.L., 1968, Hydration of Portland Cement, Proc. Symp. Chem. Cement, Tokyo, pp.387-401.
- [6] Butcher, E.G. and Parnell, A.C., 1983, Designing for Fire Safety, John Wiley and Sons, New York, pp.74-83.
- [7] Annual Book of ASTM Standards, 1996, ASTM E119 Standard Test Method for Fire Tests of Building Construction and Materials, Vol. 4.02, Easton, USA.