กำลังอัดและการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ผ่านการเผา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

Compressive strength and permeability of concrete with rice-husk ash exposed to various temperatures.

ณัฏฐพงษ์ ลาดบัตร,[1] มณีรัตน์ องค์วรรณดี,[2] สหลาภ หอมวุฒิวงศ์[3*]

Natthapong Ladbat,[1] Maneerat Ongwandee,[2] Sahalaph Homwuttiwong[3*]

บทคัดย่อ

บทความนี้ เสนอการศึกษาทดลองพฤติกรรมของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง (200 300 และ 400 องศาเซลเซียส) โดยทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต ผลจากการทดลองพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบมีค่ามากขึ้นและมากกว่าคอนกรีตควบคุมในสภาวะปกติ และหลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบมีค่าลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อัตราการแทนที่ร้อยละ 10 พบว่ามีค่าการซึมผ่านน้ำน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตควบคุมในสภาวะปกติ และเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ค่าการซึมผ่านน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : กำลังอัด การซึมผ่านน้ำของคอนกรีต เถ้าแกลบ

Abstract

This paper present the results of an experimental investigation on the behavior of concrete with rice-husk ash after exposed to different high temperatures (200 300 and 400 ^{o}C). Deterioration of compressive strength and water permeability of concrete was measured. The results obtained showed that the strength of concrete reduced after exposure to high temperatures compared with control concrete and tended to decrease with increasing percentage of replacement of Portland

---

[1]นิสิตปริญญาโท, [2, 3]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[1]Undergraduate student, [2,3] Lecturer, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai, District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

** Corresponding author: Sahalaph Homwuttiwong, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai, District, Maha Sarakham 44150, Thailand.*

cement Type I by rice-husk ash. The replacement at 10% exhibited the lowest permeability and lower than the controlled concrete. The water permeability tended to increase with increasing temperature.

Keywords: compressive strength water permeability rice-husk ash

บทนำ

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อเกิดเพลิงไหม้แล้ว ตัวอาคารก็จะเกิดความเสียหายและการสูญเสียกำลังทั้งในส่วนของคอนกรีตตลอดจนแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต การตรวจสอบอาคารภายหลังจากไฟไหม้นั้น โดยทั่วไปจะใช้วิธีการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เช่น วิธี Rebound Hammer Test หรือวิธี Ultrasonic Pulse Velocity Test ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย (Nondestructive testing) ซึ่งคุณสมบัติด้านความคงทนของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในระยะยาวนั้น ยังมีอีกหลายปัจจัยที่มีความสำคัญและต้องคำนึง เช่น ค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต เพราะเมื่อคอนกรีตได้รับอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่ง สมบัติทางกลของคอนกรีต เช่น กำลังรับแรงอัด ปริมาณการเสียรูป และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ[1–3] อีกทั้งน้ำในคอนกรีตจะระเหยออก เป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตหดตัวและแตกร้าว น้ำและอากาศภายนอกจึงเข้าไปสัมผัสกับผิวเหล็กเสริมได้เร็วกว่าคอนกรีตในสภาพปกติ ทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมและเป็นสาเหตุทำให้อาคารวิบัติ

เถ้าแกลบเป็นผลพลอยได้จากการเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชีวมวล ของบริษัท ร้อยเอ็ดกรีน ซึ่งจังหวัดร้อยเอ็ดและจังหวัดใกล้เคียงในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้นั้นมีผลผลิตข้าวเปลือกประมาณ 2 ล้านตันต่อปี จึงเกิดแกลบซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 4 แสนตันต่อปี ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ดังนั้นการศึกษาการนำเถ้าแกลบมาแทนที่ปูนซีเมนต์จึงเป็นการปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตและเป็นการจัดการวัสดุเหลือใช้อีกทางหนึ่ง

ความสามารถในการทนไฟของคอนกรีตนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ประเภทของปูนซีเมนต์ ชนิดของมวลรวม ขนาดขององค์อาคาร ระยะเวลาและอุณหภูมิสูงสุดที่คอนกรีตสัมผัสความร้อน รวมทั้งวิธีการลดความร้อนของคอนกรีตภายหลังการสัมผัสความร้อน[4–5] ซึ่งโดยทั่วไปคอนกรีตนั้นมีความสามารถในการต้านทานการนำความร้อนได้ประมาณ 2 ชั่วโมง ก่อนที่เหล็กเสริมภายในจะเข้าสู่อุณหภูมิวิกฤต[6] แต่อาคารในอุตสาหกรรมที่มีความเสี่ยงต่อความเสียหายที่เกิดจากความร้อนสูง เช่น ในอุตสาหกรรมเคมี, อุตสาหกรรมโลหะหรือโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ วัสดุที่สามารถต้านทานความร้อนสูงได้ดีนั้น จึงมีความสำคัญในการใช้เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างของอาคารเหล่านั้นมากขึ้น[7]

วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและการหล่อตัวอย่าง

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1, มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำ, มวลรวมหยาบใช้หินปูนย่อยขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 20 มิลลิเมตร, เถ้าแกลบ จากโรงไฟฟ้าร้อยเอ็ดกรีน โดยทำการบดเพื่อปรับปรุงขนาดของอนุภาคให้มีขนาดค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐาน เบอร์ 325 และค้างบนตะแกรงร่อนไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ตารางสัดส่วนผสมคอนกรีตควบคุมและคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ แสดงดัง Table 1

ตัวอย่างการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้เตรียม โดยการหล่อตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 x 200 มิลลิเมตร ถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบ่มชื้นที่อายุ 60 วัน และเมื่อครบอายุทดสอบแล้ว นำก้อนตัวอย่างมาผึ่งไว้ในอากาศให้แห้ง แล้วเผาก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 200 300 และ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังการเผาทำการลดอุณหภูมิของก้อนตัวอย่างแบบทันทีทันใดโดยการแช่น้ำเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการเช็ดก้อนตัวอย่างให้แห้งเพื่อทดสอบกำลังอัดและการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆแล้วนั้น ก่อนทำการทดสอบจะทำการหล่อผิวหน้าให้สม่ำเสมอด้วยกำมะถัน

การทดสอบค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต จะทำการตัดก้อนตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 x 40 มิลลิเมตร แล้วหล่อด้วยอีพอกซีโดยรอบก้อนตัวอย่างความหนา 25 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันน้ำซึมออกด้านข้าง แล้วนำก้อนตัวอย่างประกอบเข้าชุดทดสอบการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต ความดันที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 0.5 บาร์[8] แล้วทำการวัดปริมาตรน้ำที่ซึมผ่านคอนกรีต และสมการในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีต ดังสมการที่ 1

Table 1: Concrete mix proportions (kg/m^3)

Mixes	Cement	Rice-hush ash	Aggregate		Water	W/B	Slump (mm)
			Fine	Coarse			
CT	381	-	703	1050	210	0.55	10
RHA10	343	38	687	1050	210	0.55	11
RHA20	305	76	662	1050	210	0.55	13
RHA30	267	114	655	1050	210	0.55	15

$$K = \rho LgQ / PA \quad (1)$$

เมื่อ

K = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีต (m/s)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

Q = อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)

L = ความหนาของตัวอย่างคอนกรีต (m)

P = ความดันน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างคอนกรีต (N/m^2)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีต (m^2)

ผลการทดลอง

เมื่อทำการเผาคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 60 นาที สภาพของคอนกรีตหลังการเผาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ซึ่งจะทำให้คอนกรีต

เกิดการเปลี่ยนแปลงคือ เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส คอนกรีตไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีและไม่เกิดรอยร้าว ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส คอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีแดงส้มและมีรอยร้าวเล็กน้อย และที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส คอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงของสีเป็นสีแดงส้มเข้ม มีการแตกร้าวและแตกร่อน และเมื่อมีการลดอุณหภูมิของคอนกรีตทันทีหลังการเผาโดยการนำคอนกรีตไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 10 นาที ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวมากขึ้น แต่หากไม่มีการเผาก้อนคอนกรีตจะมีรูปร่างและลักษณะที่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา[9]

Figure 1 Physical property of concrete with rice-husk ash after exposed to various temperatures.

กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ

เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบ ที่อายุการบ่ม 60 วัน พบว่ามีค่าแปรผกผันกับปริมาณการแทนที่ โดยคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบที่ร้อยละ 10 20 และ 30 มีกำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 391, 366, 360 ksc ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละ 141 125 และ 123 ksc เมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุมในสภาวะปกติ ตามลำดับ เนื่องมาจากเถ้าแกลบมีอนุภาคที่เล็กหลังการบดจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดียิ่งขึ้นจึงส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น ดังแสดง Table 2

Table 2 : Compressive strength of concretes and the percentage after exposure to high temperature

Mixed	Compressive strength(MPa), Normalized compressive strength (%)							
	Unheated		200 °C		300 °C		400 °C	
	ksc	(%)	ksc	(%)	ksc	(%)	ksc	(%)
CT	292	100	267	91	239	82	210	72
RHA10	391	100	311	80	309	79	197	50
RHA20	366	100	285	78	261	71	159	43
RHA30	360	100	197	72	159	64	155	43

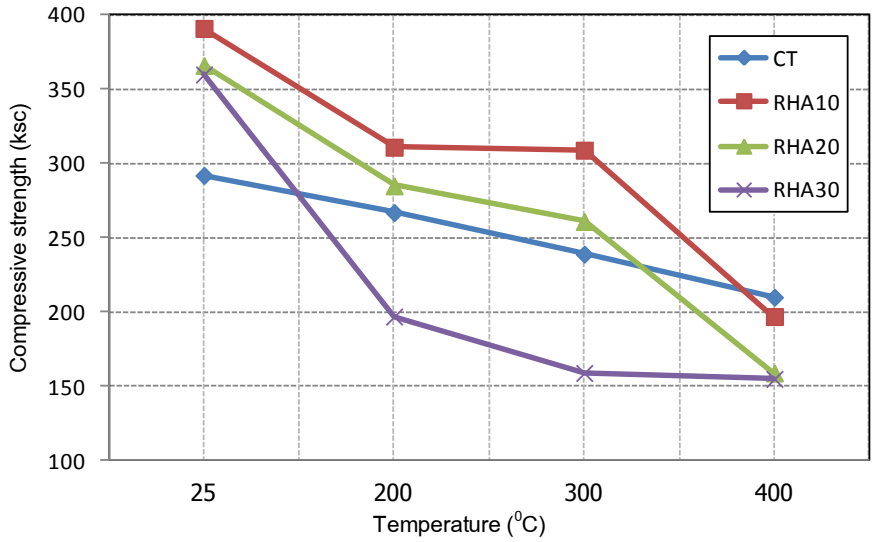

Figure 2 compressive strength of concretes exposed to various temperatures

เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิและระยะ 60 นาที พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าแปรผกผันกับค่าอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ส่งผลให้คอนกรีตมีการสูญเสียกำลังรับแรงอัดเนื่องจากการเผามากที่สุด คือคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 30 มีกำลังคงเหลือคิดเป็นร้อยละ 43 เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนส่วนผสมเดียวกันที่ในสภาวะปกติ และคอนกรีตที่มีการสูญเสียกำลังรับแรงอัดเนื่องจากการเผาน้อยที่สุด คือคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบที่ร้อยละ 10 ซึ่งมีกำลังคงเหลือคิดเป็นร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ส่วนผสมเดียวกันในสภาวะปกติ

เมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ พบว่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบมีกำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตทั่วไปที่อายุเดียวกันในสภาวะปกติ การลดลงของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผ่านการเผาในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกันเกิดขึ้นเนื่องจากคอนกรีตที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้คอนกรีตเกิดการสูญเสียน้ำภายในคอนกรีต ซึ่งน้ำในคอนกรีตถ้ามีมากจะทำให้รับกำลังได้น้อยลงแต่ถ้ามีในปริมาณที่พอดีจะช่วยทำให้คอนกรีตไม่แห้งจนเกินไป และไม่เกิดรอยร้าว เมื่อถูกเผาในช่วงอุณหภูมิหนึ่งและหลังจากเกิดการสูญเสียน้ำจนหมดเนื้อคอนกรีตจะถูกทำลายโดยความร้อน จึงทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวภายในเนื้อคอนกรีตและการลดอุณหภูมิของคอนกรีตแบบทันทีโดยการแช่น้ำส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังที่ลดลงอย่างมาก[6]

สัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีต

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบกับคอนกรีตควบคุม ดังแสดง Table 3 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อมีการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบในที่การแทนที่ร้อยละ 10 ที่อายุการบ่ม 60 วัน มีค่าเท่ากับ 0.025 x 10^{-9} เมตร/วินาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตควบคุมในสภาวะปกติ เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กของเถ้าแกลบหลังจากการบดและด้วยปริมาณการแทนที่ที่เหมาะสมนั้นทำให้

เข้าไปแทรกช่องว่างของคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีความทึบน้ำมากขึ้น และเนื่องจากการเกิดขึ้นของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลานที่สมบูรณ์ของคอนกรีตส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำมีค่าลดลง และการแทนที่ของเถ้าแกลบในคอนกรีต ที่ร้อยละ 20 และ 30 มีค่าเท่ากับ 0.69 x 10^{-9} เมตร/วินาที และ 1.46 x 10^{-9} เมตร/วินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่และมีค่ามากกว่าคอนกรีตควบคุม

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบ ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆเป็นระยะเวลา 60 นาที จากผลการทดลองพบว่า เมื่อคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบผ่านการเผาทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตมีค่าแปรผันตรงกับอุณหภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆเป็นระยะเวลา 60 นาที คือ RHA10 เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 2.24 x 10^{-9} เมตร/วินาที ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่มีค่ามากที่สุดเมื่อผ่านการเผาต่างๆเป็นระยะเวลา 60 นาที คือ RHA30 เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 398 x 10^{-9} เมตร/วินาที เนื่องจากคอนกรีตที่ผ่านการเผานั้นจะเกิดการสูญเสียน้ำและทำให้เกิดโพรงอากาศแทนที่น้ำที่สูญเสียไป อีกทั้งมวลรวมในคอนกรีตเกิดการขยายตัวเนื่องจากความร้อน จึงทำให้คอนกรีตนั้นสูญเสียคุณสมบัติการยึดเกาะและทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวทั้งภายในและภายนอก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้คอนกรีตมีค่าการซึม
ผ่านที่มากขึ้น

Table 3 : Water permeability of concretes and the percentage after exposure to various temperatures

Mixed	Water permeability x 10^{-9} (k, m/sec), Normalized of water permeability (k_{25}/k_t)							
	Unheated (25 °C)		200 °C		300 °C		400 °C	
	k	(k_{25}/k_{25})	k	(k_{200}/k_{25})	k	(k_{300}/k_{25})	k	(k_{400}/k_{25})
CT	0.03	1	0.08	3	2.55	184	5.03	184
RHA10	0.02	1	2.24	91	115	7,683	189	7,680
RHA20	0.69	1	2.48	4	107	389	268	389
RHA30	1.46	1	4.11	3	189	273	398	273

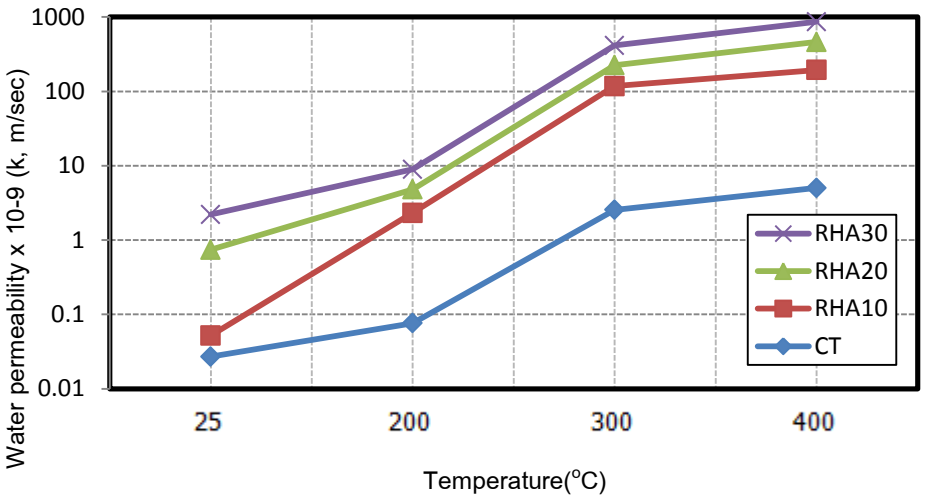

Figure 3 Water permeability concretes exposed to various temperatures

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบนั้น เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาพบว่า RHA10 RHA20 และ RHA30 มีแนวโน้มของค่าการซึมผ่านน้ำลดลงเมื่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อคอนกรีตผสมเถ้าแกลบและเมื่อนำคอนกรีตไปเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผามากขึ้น

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 สามารถเพิ่มค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตได้สูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่สภาวะปกติ โดยการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 10 ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ 391 ksc

2.การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ ในอัตราส่วน 20 และ 30 มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตควบคุมในสภาวะปกติ

3. คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบเมื่อผ่านการเผาทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงและมีแนวโน้มลดลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา

4. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบในอัตราส่วน 20 และ 30 มีค่าการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตมากกว่าคอนกรีตควบคุม แต่คอนกรีตที่มีปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 ให้ค่าการซึมผ่านน้ำใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมในสภาวะปกติ

5.คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบเมื่อผ่านการเผาทำให้ค่าการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตมีค่าเพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์และสถานที่ ในการทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Sakr, K. El-Hakim, E. Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties. Cement and Concrete Research 2005; 35: 590–596.
2. Oktar, O.N. Moral, H. Tasdemir, M.A., Factors determining the correlation between concrete properties, Cement and Concrete Research 1996; 26: 1629-1637.
3. Lin, W.M. Lin, T.D. and Powers-Couche, L.J., Microstructures of fire-damaged concrete, ACI Materials Journal 1996; 93: 199-205.
4. Poon, C.S. Azhar, S. Anson, M. and Wong, Y.L., Comparison of the strength and durability performance of normal and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures, Cement and Concrete Research 2001; 31: 1291–1300.
5. Husem, M., The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance Concrete, Fire Safety Journal 2006; 41: 155–163.
6. Greepala, V. and Nimityongskul, P., “Flexural Strength and Toughness of Ferrocement after Exposure to Fire.” In 12th National Convention on Civil Engineering, Phitsanulok, Thailand 2001; May 2-4.
7. Bingol, AF. Gul, R., Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures, Indian Journal of Engineering and Materials Sciences 2004; 11: 68–72.
8. Concrete Society, Permeability testing of site concrete, a review of methods and experience, The concrete society Report 1987; 31.
9. Emmons, P.H.,Concrete Repair and Maintenance Illustrated, R.S. Means Company, Inc., 1993.