



ผลกระทบของอุณหภูมิที่สูงต่อการทนไฟของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียด Effect of High Temperatures on Fire Resistance of Concrete Containing Ground Bagasse Ash

ศักดิ์ราวุธ ทองออน, เรืองรุชต์ ชีระโรจน์

Sakrawut Thongon, Raungrut Cheerarot

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

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

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

(Received: May 18, 2018 ; Revised : July 12, 2018 ; Accepted : July 23, 2018)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการทนไฟของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียดที่อุณหภูมิต่างๆ โดยออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 300 กก./ซม.² เถ้าขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และนำไปบดให้มีขนาดอนุภาคค้ำงบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ในอัตราส่วนน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทำการหล่อตัวอย่างรูปทรงกระบอกแล้วบ่มที่อายุ 90 วัน จากนั้นทำการทดสอบกำลังอัดก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 200, 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชม. ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตหลังการเผาจะขึ้นกับอุณหภูมิที่เผา ระยะเวลา และการแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยบดละเอียด โดยอุณหภูมิและระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้นทำให้กำลังอัดลดลง การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดเป็นส่วนผสมในคอนกรีตสามารถช่วยพัฒนาในด้านกำลังอัดและการทนไฟของคอนกรีตได้ในทุกอุณหภูมิ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับกำลังอัดก่อนการเผา คือ อัตราการแทนที่ร้อยละ 10 ซึ่งให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ของคอนกรีตควบคุม และอัตราส่วนการแทนที่ที่เหมาะสมสำหรับการทนไฟ คือ อัตราการแทนที่ร้อยละ 20 ซึ่งให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ของคอนกรีตควบคุมหลังการเผา

คำสำคัญ : การทนไฟ, กำลังอัด, เถ้าขานอ้อย, อุณหภูมิที่สูง



Abstract

This research was to study the properties of fire resistance of concrete with bagasse ash at different temperatures. Designed compressive strength of control concrete at 28 days was 300 kg/cm^2 . Bagasse ash from sugar mills was improved quality by burning at a temperature of 400°C and ground to a particle size retaining on standard sieve No. 325 less than 5% by weight to replace Portland cement type I at the rate of 0, 10, 20, and 30 by weight. Casting the cylindrical sample was cured at 90 days and then tested for strength before and after burned at 200 , 400 , 600 , and 800°C for 1, 2, 3, and 4-hour, respectively.

The results showed that the compressive strength of concrete after burning depend on the temperature, the period of burning and replacement of ground bagasse ash. The temperature and period of burning increase while compressive strength of concrete declines. Use of ground bagasse ash as an ingredient in concrete, can improve the strength and fire resistance of concrete in all temperatures. The optimum usage of ground bagasse ash for the higher compressive strength of concrete before burning was 10% replacement which its compressive strength increased 12% of control concrete. For fire resistance, the optimum usage was 20% replacement which provided the higher compressive strength about 10% of control concrete after burning.

Keyword : fire resistance, compressive strength, bagasse ash, high temperature



บทนำ

การเกิดเพลิงไหม้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โครงสร้างอาคารคอนกรีตเกิดการวิบัติ ซึ่งหากเกิดเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูงมากและในระยะเวลาที่นานพอจะมีผลกระทบต่อการทำงานของคอนกรีตและเหล็กเสริมให้ต่ำลง โดยเริ่มจากเมื่อคอนกรีตได้รับความร้อนมากกว่า 300 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะทำให้สมบัติของคอนกรีตเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น สีของคอนกรีตจะเริ่มเข้มขึ้น เนื้อคอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ มวลรวมเสียสภาพการยึดเกาะ เกิดรอยแตกร้าวเป็นต้น และเมื่อคอนกรีตสัมผัสไฟไหม้โดยตรงเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงขึ้นไป กำลังของคอนกรีตจะลดลงอย่างมาก อาจทำให้กำลังลดลงเหลือน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังของคอนกรีตก่อนเพลิงไหม้ (มอก. 1334, 2539) สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็กกับกรณีเกิดเพลิงไหม้ เมื่อเกิดเพลิงไหม้ความร้อนจะเริ่มสูงขึ้นอย่างช้าๆ ในเวลาประมาณครึ่งชั่วโมงความร้อนจะกระจายเข้าไปถึงเหล็กเสริมในคอนกรีต ทำให้เหล็กเสริมเริ่มมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง ขณะที่คอนกรีตที่อยู่ภายในเหล็กปลอก ยังคงมีกำลังลดลงไม่มาก และในชั่วโมงที่ 3 เหล็กเสริมอาจเหลือกำลังเพียงร้อยละ 40 เมื่อเทียบก่อนเพลิงไหม้ ส่วนกำลังของคอนกรีตที่อยู่ภายในเหล็กปลอก จะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 50 เมื่อเทียบก่อนเพลิงไหม้ (Greepala และ Nimityongskul, 2007) ยิ่งไปกว่านั้น การล้าของเหล็กเสริมจะส่งเสริมให้เกิดการแอ่นตัวของโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างไม่มีเสถียรภาพและอาจเกิดการวิบัติได้ตลอดเวลาจากการศึกษาของ Omer Arioz (2007) ได้พบว่าระดับอุณหภูมิมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยการทดลองอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 200 ถึง 400 องศาเซลเซียส พบว่าคอนกรีตจะเกิดรอยแตกร้าวที่มองเห็นชัดเจนเพียงเล็กน้อย แต่สีของคอนกรีตจะเริ่มเปลี่ยนไปเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 600 องศาเซลเซียส ถึง 800 องศาเซลเซียส จะสังเกตพบรอยแตกร้าวที่ผิวคอนกรีตได้อย่างชัดเจน และเนื้อคอนกรีตจะไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันได้นอกจากนี้ Tanyildizi และ Coskun (2008) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสูงต่อกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาผสมซิลิกาฟุ่ม โดยการแทนที่ด้วยซิลิกาฟุ่มในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าซิลิกาฟุ่มช่วยป้องกันการลดลงของกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงได้

เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash หรือ Sugar Cane Bagasse Ash) เป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทราย ในปัจจุบันได้มีหลายงานวิจัยที่นำเถ้าชานอ้อยมา

ประโยชน์ในการเป็นวัสดุก่อสร้าง โดยเฉพาะการใช้เป็นวัสดุปอชโซลานเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เถ้าชานอ้อยที่ได้มาจากโรงงานอุตสาหกรรมและไม่ว่าผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพจะไม่สามารถเป็นวัสดุปอชโซลานได้ เนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของชานอ้อยทำให้มีปริมาณคาร์บอนที่สูงและมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่เมื่อเทียบกับอนุภาคของปูนซีเมนต์ ส่งผลให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นและกำลังอัดที่ลดลง (เพ็ญชาย เวียงใต้ และเรืองรุชต์ ชีระโรจน์, 2550) ดังนั้นจึงมีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ปรับปรุงคุณภาพของเถ้าชานอ้อยเพื่อให้สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอชโซลานได้ เช่น การนำเถ้าชานอ้อยไปเผาให้สมบูรณ์อีกครั้งจะทำให้จำนวนซิลิกาและอลูมินาออกไซด์มากขึ้นทำให้เถ้าชานอ้อยมีสมบัติทางเคมีที่สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปอชโซลานเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีตได้ (Hernandez และคณะ, 1998) นอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพด้วยการบดเถ้าชานอ้อยให้ละเอียดมากขึ้น ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ทำให้เถ้าชานอ้อยมีสมบัติเป็นวัสดุปอชโซลานที่ดีขึ้นและสามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตได้ ซึ่งการนำเถ้าชานอ้อยมาใช้ให้เกิดประโยชน์จะเป็นการสร้างมูลค่าให้กับเถ้าชานอ้อยอีกทั้งเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีต และยังช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย (สุวิมล สัจจาฉนิษฐ์ และอาทิมา ดวงจันทร์, 2547) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาการทนไฟของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการทนไฟของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการใช้เถ้าชานอ้อยในคอนกรีตดียิ่งขึ้น

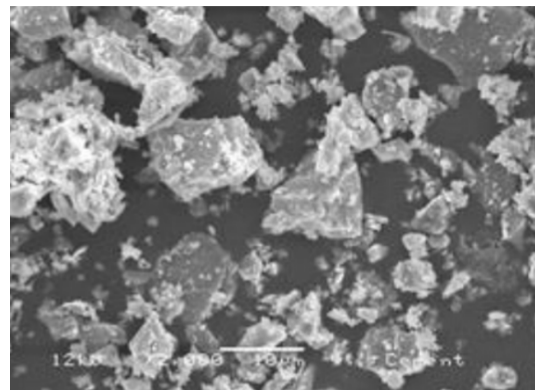
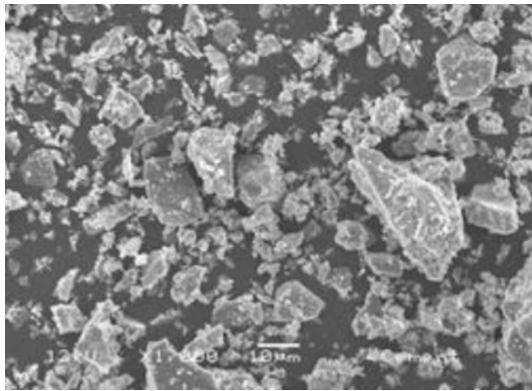
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการทนไฟของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียดที่อุณหภูมิต่างๆ และหาอัตราส่วนการแทนที่ที่เหมาะสมของเถ้าชานอ้อยบดละเอียดในคอนกรีต

วิธีดำเนินงานวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

ในงานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากการทดสอบพบว่าปูนซีเมนต์ที่ใช้มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14 และเมื่อถ่ายภาพขยายโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีรูปร่างลักษณะโดยส่วนมากเป็นเหลี่ยมเป็นมุม พื้นผิวค่อนข้างเรียบ เนื้อแน่นไม่มีรูพรุน ดังแสดงในภาพที่ 1



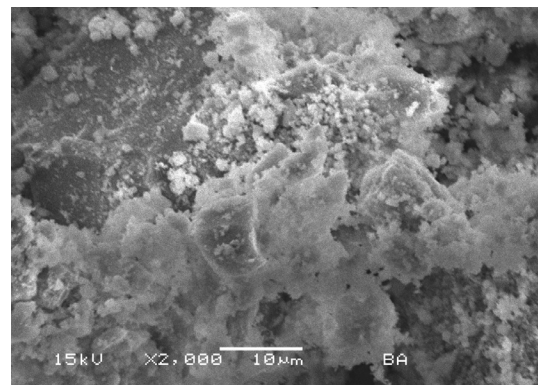
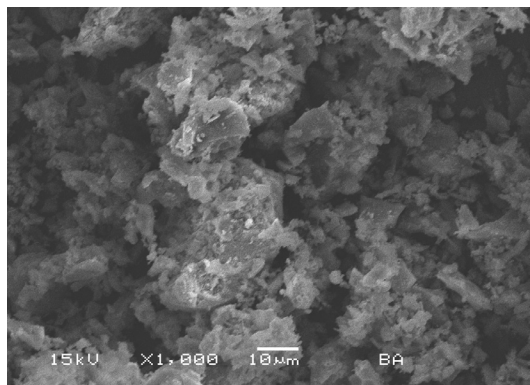
ภาพที่ 1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ กำลังขยาย 1,000 และ 2,000 เท่า

ทราย ใช้ทรายแม่น้ำนำมาล้างทำความสะอาดจากการทดสอบพบว่ามีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.54 ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวแห้ง เท่ากับ 2.57 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเท่ากับ 2.62 ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของทราย เท่ากับร้อยละ 1.20 และค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย มีค่าเท่ากับ 2.75

หิน ใช้หินปูนย่อย โดยนำมาล้างทำความสะอาดจากการทดสอบพบว่ามีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.71 ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวแห้งเท่ากับ 2.73 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเท่ากับ 2.74 และร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของหินเท่ากับร้อยละ 0.37 ค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 7.18 โดยการกระจายตัวของทั้งหินและทรายอยู่ภายในขอบเขตบน-ล่าง ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 136

สารผสมเพิ่มที่ใช้เป็นสารลดน้ำพิเศษ ชนิด F เพื่อช่วยเพิ่มค่ายุบตัวให้ได้ตามที่ต้องการ

เถ้าขานอ้อย (Bagasse Ash) ที่ใช้น้ำจากโรงน้ำตาลวังขนาย และนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาเพิ่มที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดแบบตกรกระแทบให้ได้ขนาดที่ค้ำบนตระแกรมาตรฐาน เบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 5 เนื่องจากวัสดุปอซโซลานที่มีความละเอียดสูงสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้ดี (รัฐพล สมณา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2554) และจากการถ่ายภาพขยาย พบว่า ลักษณะทางกายภาพเถ้าขานอ้อยบดละเอียดมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมเป็นมุม ไม่แน่นอนผิวขรุขระ คล้ายภาพถ่ายขยายของปูนซีเมนต์ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายขยายอนุภาคเถ้าขานอ้อยบดละเอียดกำลังขยาย 1,000 และ 2,000 เท่า

ตาราง 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าขานอ้อย พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบสูงที่สุดคือร้อยละ 64.98 และมีองค์ประกอบของ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และ เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) อยู่ร้อยละ 20.61, 5.25 และ 3.08 ตามลำดับ ส่วนเถ้าขานอ้อยหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเผาเพิ่มและบดให้มีขนาดเล็กลงพบว่ามีปริมาณ

ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) สูงถึงร้อยละ 74.81 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี ผลรวมของซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และ เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) มีค่าเท่ากับร้อยละ 83.44 นอกจากนี้มี ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา เท่ากับร้อยละ 0.91 และ 3.50 ตามลำดับ ตาม ASTM C 618 สามารถจัดเถ้าขานอ้อยหลังการปรับปรุงคุณภาพนี้ได้เป็นวัสดุปอซโซลาน Class N



ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าขาน้อย

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ร้อยละ)	เถ้าขาน้อย (ร้อยละ)
SiO ₂	20.61	74.81
Al ₂ O ₃	5.25	4.74
Fe ₂ O ₃	3.08	3.89
CaO	64.98	2.46
MgO	0.92	3.76
K ₂ O	0.08	3.13
Na ₂ O	0.51	0.81
Mn ₂ O ₃	0.72	1.18
SO ₃	2.74	0.91
LOI	1.12	3.50

การเตรียมส่วนผสมคอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทำการออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 300 ชม./กก.² จากการทดสอบพบว่ากำลังอัดที่ได้คือ 311 ชม./กก.² ซึ่งใกล้เคียงกับกำลังที่ออกแบบไว้ จากนั้นนำเถ้าขาน้อยบดละเอียดมาแทนที่ปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน แล้วนำไปหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. โดยใช้สารลดน้ำพิเศษชนิด F เพื่อควบคุมให้ค่าการยุบตัวอยู่ระหว่าง 10 ± 2 ซม. และถอดแบบหลังการหล่อคอนกรีตเมื่ออายุครบ 24 ชม. แล้วนำตัวอย่างไปบ่มในน้ำจืดมีอายุ 90 วัน และนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำแล้วผึ่งให้แห้ง

แบ่งตัวอย่างเป็นสองส่วนคือเผาและไม่เผา สำหรับการเผ่าจะใช้เตาเผาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงโดยเร่งอุณหภูมิการเผาให้เร็วที่สุดโดยไม่ให้เปลวไฟสัมผัสกับก้อนตัวอย่าง จากนั้นเริ่มการเผาที่อุณหภูมิ 200, 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนด คือ 1, 2, 3 และ 4 ชม. ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าที่อุณหภูมิการเผา 800 องศาเซลเซียส ส่งผลให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดลดลงถึงร้อยละ 90 (Chan และ คณะ, 2000) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกอุณหภูมิสูงสุดสำหรับการเผ่าตัวอย่างคอนกรีต 800 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างไปทดสอบหาค่ากำลังอัดก่อนและหลังการเผ่าพร้อมทั้งสังเกตสีผิวและรอยร้าวก่อนของตัวอย่าง โดยส่วนผสมของคอนกรีตชนิดต่างๆ ได้แสดงในตาราง 2 โดยแต่ละอุณหภูมิและเวลาการเผ่าจะใช้ตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 3 ก้อน รวมเป็น 204 ก้อนตัวอย่าง

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต

ประเภทคอนกรีต	อัตราส่วนผสม (กก./ม. ³)					
	น้ำ	ปูนซีเมนต์	เถ้าขาน้อยบดละเอียด	ทราย	หิน	สารผสมเพิ่มชนิด F
CC-300	200	285	0	841	1018	Maximum 2%
10BG300	203	257	28	837	1012	Maximum 2%
20BG300	203	229	57	833	1006	Maximum 2%
30BG300	206	200	86	829	1000	Maximum 2%

CC = Ground Control Concrete, BG = Bagasse Ash



ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ตาราง 3 แสดงกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 90 วัน ก่อนและหลังเผา พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 90 วัน มีค่าเท่ากับ 330 กก./ซม.² หลังจากแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยบดละเอียดในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 371 และ 354 กก./ซม.² หรือคิดเป็นร้อยละ 112 และ 107 ตามลำดับ ซึ่งกำลังอัดมีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุม แสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดสามารถเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตได้เนื่องจากเถ้าขานอ้อยบดละเอียดมีสมบัติการเป็นวัสดุปอซโซลานนั่นเอง (สุวิมล สัจจาณิษฐ์ และ อาทิตยา ดวงจันทร์, 2547) เมื่อใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 จะให้กำลังอัดเท่ากับ 325 กก./ซม.² หรือคิดเป็นร้อยละ 98 ของคอนกรีตควบคุม ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเล็กน้อย เมื่อพิจารณาอัตราส่วนการแทนที่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กำลังอัดสูงสุด พบว่าปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 เป็นค่าที่ดีที่สุด

หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชม. พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุมจะลดลงไปประมาณร้อยละ 20 หรือค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่ลดลงคือร้อยละ 5 องศาเซลเซียส/ชม. และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่ลดลงประมาณ 10 องศาเซลเซียส/ชม. และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 600 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่ลดลงประมาณ 20 องศาเซลเซียส/ชม. ซึ่งเห็นได้ว่าในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส อัตราการลดลงของกำลังอัดจะลดลงเป็นเท่าตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 200 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบว่ากำลังอัดที่ลดลงมีความแตกต่างจากอุณหภูมิของช่วงอื่นๆ โดยมีการลดลงของกำลังอัดประมาณเท่าตัวในทุกๆ ชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการเผาที่สูงจะทำให้แคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วจึงทำให้กำลังอัดลดลงเร็วกว่าในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Tanyildizi และ Coskun (2008)

ตารางที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 90 วัน ก่อนและหลังเผา

กำลังอัด (กก./ซม. ²) - (ร้อยละกำลังอัด)					
ประเภทคอนกรีต	ไม่เผา	เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส			
		1 ชม.	2 ชม.	3 ชม.	4 ชม.
CC-300	330 - (100)	314 - (95)	298 - (90)	283 - (86)	268 - (81)
10BG300	371 - (112)	325 - (98)	309 - (94)	304 - (92)	288 - (87)
20BG300	354 - (107)	336 - (102)	318 - (96)	318 - (96)	302 - (92)
30BG300	325 - (98)	309 - (94)	293 - (89)	278 - (84)	264 - (80)
ประเภทคอนกรีต	ไม่เผา	เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส			
		1 ชม.	2 ชม.	3 ชม.	4 ชม.
CC-300	330 - (100)	290 - (88)	256 - (78)	225 - (68)	198 - (60)
10BG300	371 - (112)	312 - (95)	274 - (83)	241 - (73)	212 - (64)
20BG300	354 - (107)	326 - (99)	287 - (87)	253 - (77)	222 - (67)
30BG300	325 - (98)	283 - (86)	252 - (76)	221 - (67)	195 - (59)

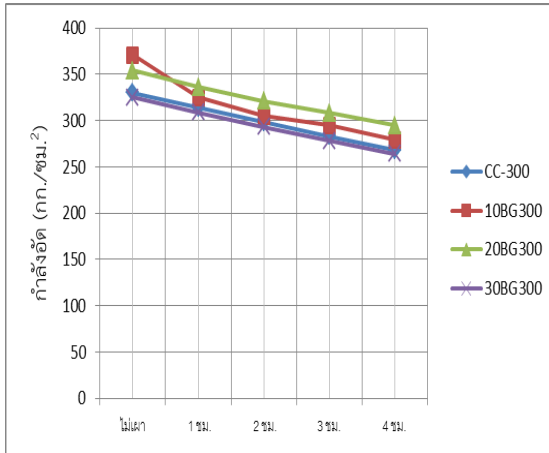


ตารางที่ 3 (ต่อ) กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 90 วัน ก่อนและหลังเผา

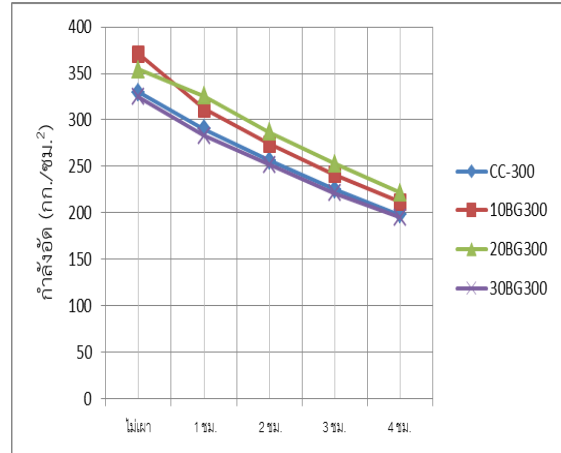
กำลังอัด (กก./ซม ²) - (ร้อยละกำลังอัด)					
ประเภทคอนกรีต	ไม่เผา	เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส			
		1 ซม.	2 ซม.	3 ซม.	4 ซม.
CC-300	330 - (100)	264 - (80)	193 - (58)	141 - (43)	103 - (31)
10BG300	371 - (112)	283 - (86)	207 - (63)	151 - (46)	110 - (33)
20BG300	354 - (107)	297 - (90)	217 - (66)	158 - (48)	115 - (35)
30BG300	325 - (98)	260 - (79)	190 - (58)	139 - (42)	101 - (31)
ประเภทคอนกรีต	ไม่เผา	เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส			
		1 ซม.	2 ซม.	3 ซม.	4 ซม.
CC-300	330 - (100)	162 - (49)	79 - (24)	40 - (12)	19 - (6)
10BG300	371 - (112)	173 - (52)	85 - (26)	42 - (13)	23 - (7)
20BG300	354 - (107)	182 - (55)	89 - (27)	45 - (14)	25 - (8)
30BG300	325 - (98)	159 - (48)	78 - (24)	37 - (11)	16 - (5)

เมื่อพิจารณาของผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิในการเผาพบว่าอัตราการลดลงของกำลังอัดแปรผันกับอุณหภูมิที่สูงเพิ่มขึ้น กล่าวคือยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการลดลงของคอนกรีตจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะเวลาการเผาของคอนกรีตในภาพที่ 3 และค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอุณหภูมิการเผาของคอนกรีตในภาพที่ 4 สำหรับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสานหลังการเผาพบว่า กำลังอัดมีค่าลดลงในรูปแบบเช่นเดียวกันกับคอนกรีตควบคุมตามที่แสดงในภาพที่ 3 และ 4 โดยที่คอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียดในอัตราการแทนที่ร้อยละ 20 จะให้กำลังอัดหลังการเผาสูงที่สุดในทุกช่วงอุณหภูมิการเผาและระยะเวลาการเผา โดยกำลังอัดหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 200, 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส

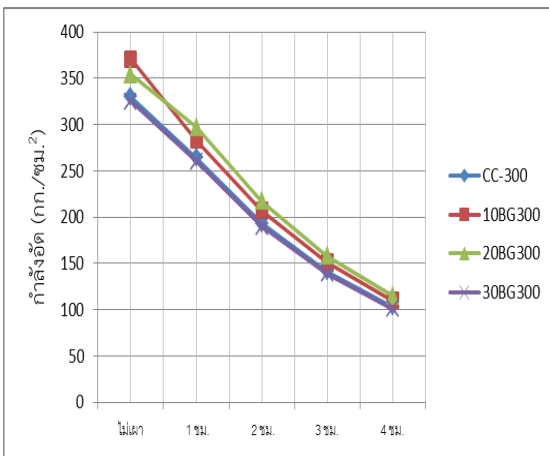
เป็นเวลา 4 ชม. มีค่ากำลังอัดร้อยละ 92, 67, 35 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งการทนไฟที่เพิ่มขึ้นมานี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก ทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความสามารถทนไฟได้น้อยทำปฏิกิริยากลายเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่มีการทนไฟที่สูงขึ้น (Tanyildizi และ Coskun, 2008) ส่วนการใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดในอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 พบว่ามีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมในทุกช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาการเผาเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้เป็นการใช้ปริมาณแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยมากเกินไปทำให้ปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงและแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกมีปริมาณชดเชยไม่เพียงพอ ซึ่งการแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยบดละเอียดที่สูงขึ้นทำให้ผลรวมของกำลังอัดลดลง (เพ็ญชาย เวียงใต้ และ เรืองรุชต์ ชีระโรจน์, 2550)



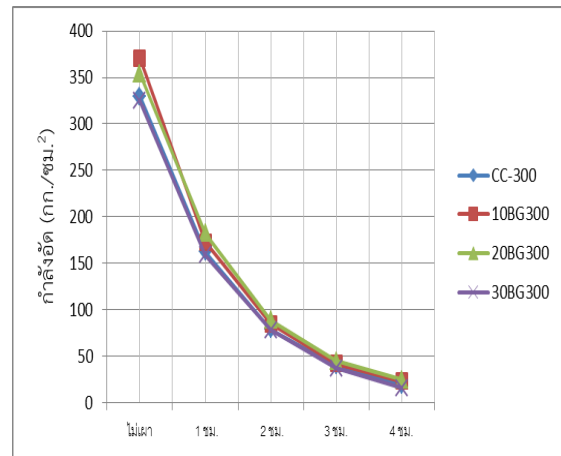
(ก) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส



(ข) อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

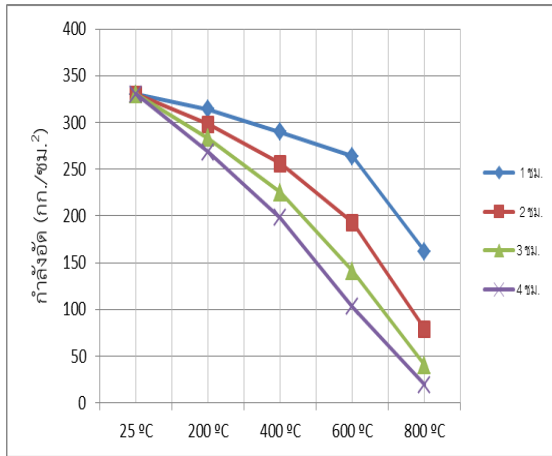


(ค) อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

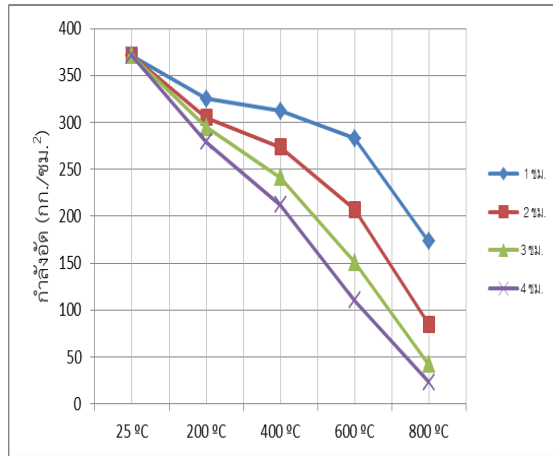


(ง) อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

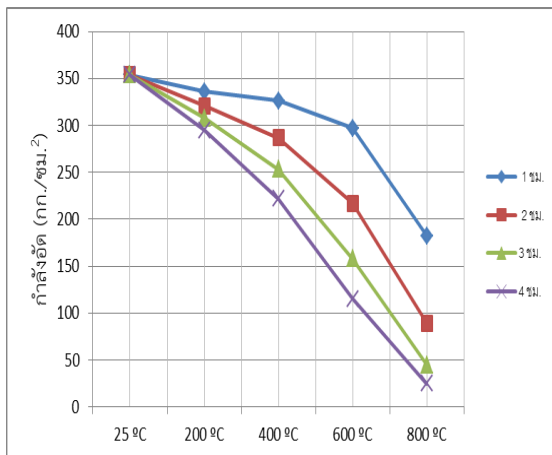
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะเวลาการเผาของคอนกรีต



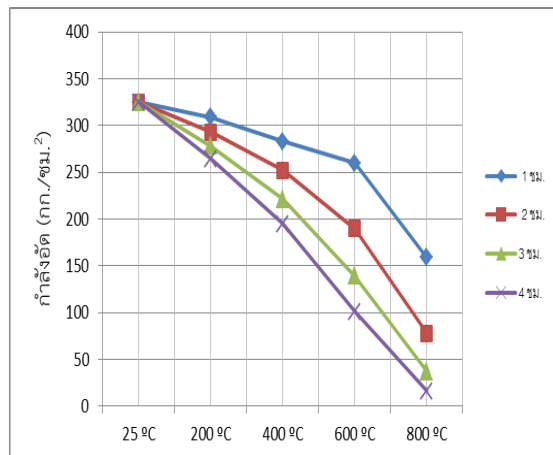
(ก) CC-300



(ข) 10BG300



(ค) 20BG300



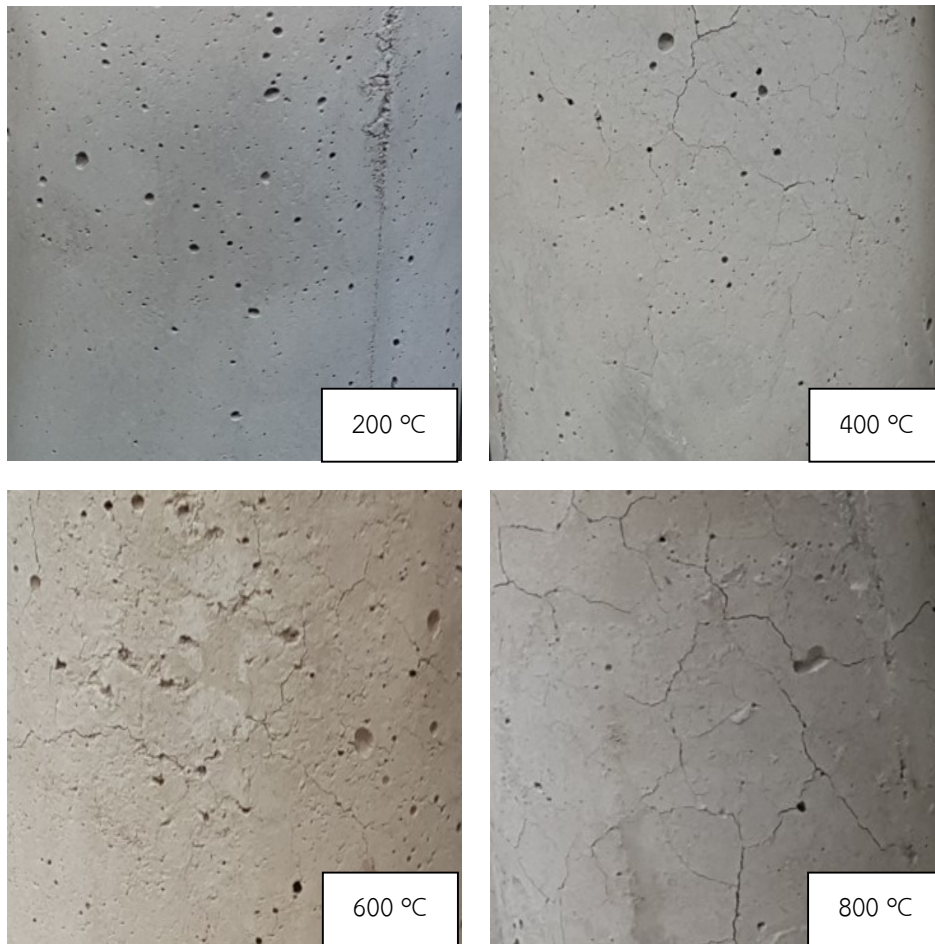
(ง) 30BG300

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอุณหภูมิการเผาของคอนกรีต

เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมหลังการเผาที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน พบว่ากำลังอัดของ 20BG300 จะสูงกว่า CC-300 ประมาณร้อยละ 10 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าถ้าหากอ้อยบดละเอียดสามารถช่วยเพิ่มการทนไฟของคอนกรีต ส่วนคอนกรีตที่ผสมแถ้าขานอ้อยบดละเอียดในอัตราการแทนที่ร้อยละ 10 จะให้กำลังอัดต่ำกว่าการแทนที่ที่ร้อยละ 20 เล็กน้อยแต่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม ส่วนการแทนที่ที่ร้อยละ 30 จะให้กำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเล็กน้อยในทุกช่วงอุณหภูมิและเวลาการเผา ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับกำลังอัดของคอนกรีตก่อนการเผา

ภาพที่ 5 เป็นภาพถ่ายหลังการเผาของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ด้วยแถ้าขานอ้อยบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 200, 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการเผา 3 ชม.

พบว่ารอยแตกร้าวของคอนกรีตมีมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น และมีความสอดคล้องกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ลดลง เนื่องจากเมื่อคอนกรีตถูกเผาที่อุณหภูมิหนึ่งในระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นเกิดการสูญเสียน้ำทำให้มวลรวมของคอนกรีตเสียสภาพการยึดเกาะและเนื้อคอนกรีตถูกทำลายโดยความร้อน กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อคอนกรีตถูกเผาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ถึง 800 องศาเซลเซียส รอยร้าวของคอนกรีตจะเด่นชัดมากขึ้น สีเปลี่ยนเป็นสีเทา มีคราบผงคอนกรีตเกาะที่ผิวภายนอกและคอนกรีตไม่สามารถเกาะตัวกันได้เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำและจะแยกตัวตามบริเวณรอยร้าว ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Tanyildizi และ Coskun (2008)



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายหลังการเผาของตัวอย่างคอนกรีต 20BG300

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ในคอนกรีต ซึ่งออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมเท่ากับ 30 กก./ซม.² ที่อายุ 90 วัน ในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เพื่อศึกษาการทนไฟของคอนกรีต สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อยบดละเอียดในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 มีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุม และในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 30 จะมีค่ากำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเล็กน้อย โดยการแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยบดละเอียดในปริมาณที่เหมาะสมคือร้อยละ 10 ซึ่งมีค่ากำลังอัดสูงสุดในกลุ่ม
2. คอนกรีตหลังการเผาที่อุณหภูมิที่ต่างๆ มีค่ากำลังอัดจะลดลงตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่เผาเพิ่มขึ้น การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดในส่วนผสมคอนกรีตในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะช่วยให้คอนกรีตมีการทนไฟเพิ่มขึ้น โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อยบดละเอียดในปริมาณร้อยละ 20 จะเพิ่มการทนไฟได้ เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ของคอนกรีตควบคุม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ห้องวิจัยคอนกรีตและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ สาขาวิชาศิลปะและการออกแบบ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือทดสอบในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2555). การใช้เถ้าขานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในคอนกรีต. *วารสารคอนกรีต*. 16(1): 1-11.
- เพ็ญชาย เวียงใต้ และเรืองรุชดี ชีระโรจน์. (2550). การศึกษาความคงทนของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13: 251-256.
- รัฐพล สมณา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2554). การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 34(4): 369-381.



- วรเชษฐ์ ป้อมเชียงพิณ. (2550) **คุณสมบัติเชิงกลของคานคอนกรีตผสมเส้นใยหลังการเผาไหม้**. งานวิจัยปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุวิมล สัจจาณิชย์ และอาทิมา ดวงจันทร์. (2547) ดัชนีความเป็นปอซโซลานของเถ้าชานอ้อยและความต้องการน้ำ. **การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 2**: 118-120.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก.1334 (2539) **การทดสอบความทนไฟ-ชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างอาคาร**. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ASTM E119. (1998). **Standard Test Methods for Fire tests of Building Construction and Materials**. ASTM Standards Volume: 04.07
- Chan Y.N., Luo X., and Sun W. (2000) Compressive Strength and Pore Structure of High-performance Concrete after Exposure to High Temperature up to 800°C. **Cement and Concrete Research**. 30: 247-251.
- Chusilp N., Jaturapitakkul C., and Kiattikomol K. (2009) Effect of LOI of Ground Bagasse Ash on the Compressive Strength and Sulfate Resistance of Mortars. **Construction and Building Materials**. 23: 3523-3531.
- Cordeiro G.C., Toledo Filho R.D., Tavares L.M., and Fairbairn E.M.R. (2008). Pozzolan Activity and Filler Effect of Sugar Cane Bagasse Ash in Portland Cement and Lime Mortars. **Cement and Concrete Composites**. 30(5): 410-418.
- Greepala V. and Nimityongskul P. (2007) Influence of Heating Envelope on Post-Fire Mechanical Properties of Ferrocement Jackets. **Science and Technology Asia**. 12(3): 69-79.
- Haque M.N. and Kayali O. (1998). Properties of High-strength Concrete Using a Fine Fly Ash. **Cement and Concrete Research**. 28(10): 1445-1452.
- Omer Arioiz. (2007) Effects of Elevated Temperature on Properties of Concrete. **Fire Safety Journal**. 11(1): 516-522.
- Sata V., Jaturapitakkul, C., and Kiattikomol, K., (2007). Influence of Pozzolan from Various by Product Materials on Mechanical Properties of High-strength Concrete. **Construction and Building Materials**. 21(7): 1589-1598.
- Tanyildizi H. and Coskun A. (2008) Performance of Lightweight Concrete with Silica Fume After High Temperature. **Construction and Building Materials**. 22(10): 2124-2129.