ปริมาณเถ้าแกลบดำที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป

พิทยา สุขจินดา[1*], กฤตธี น้ำกลั่น[2], ธนาคาร พรหมมณี[2], ณัทพงษ์ ชัยวิชิต[2]

[1]อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170
[2]นักศึกษาสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170
[*]E-mail: p_sukjinda@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำที่เหมาะสำหรับงานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป โดยมีปริมาณเถ้าแกลบดำผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 5, 15, และร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานเป็นตัวแปรหลักในการทดสอบ เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน ทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3 วัน, 7 วัน, 14 วัน และอายุ 28 วัน ใช้แท่งตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามอายุเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น แต่การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบดำในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณเถ้าแกลบดำแทนที่ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ซึ่งให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตใกล้เคียงกับกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน

คำสำคัญ: เถ้าแกลบดำ, งานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป

Abstract

The objective of this research is to investigate the compressive strength of the concrete containing black rice husk ash for structural concrete work. The studied parameter was the replacement percentages of cement by black rice husk ash at 5, 15 and 20 by weight of cementitious materials. The testing of the compressive strength was at the age of 3 days, 7 days, 14 days and up to 28 days. The concrete specimen was in a cylindrical shape with 10 centimeters in diameter and 20 centimeters in height. The test results showed that the strength of concrete increased comparable to the increased age of testing. The compressive strength of concrete containing black rice husk ash decreased while the replacement percentages of black rice husk ash increased. The suitable replacement percentage of black rice husk ash is at 5 by weight of cementitious materials comparable to the compressive strength of control concrete at the age of 28 days.

Keywords: Black rice husk ask, Structural concrete work

1. บทนำ

การตระหนักถึงปัญหาสภาวะโลกร้อนและกระแสการอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน ทำให้มีการนำวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากถึง 0.5 ตันในทุก ๆ 1 ตัน ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้น [1] ทำให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาและหาวัสดุปูนซีเมนต์ใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุปอซโซลานมาใช้เสริมหรือใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อลดปัญหาเหล่านี้ให้น้อยลง แต่คุณสมบัติของคอนกรีตทางด้านกำลังรับน้ำหนักยังคงเดิมหรือดีขึ้นกว่าเดิม [2] เพื่อให้ตรงตามงานคอนกรีตโครงสร้างที่ต้องการ

เถ้าแกลบดำเป็นวัสดุที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบที่เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าว ปีหนึ่ง ๆ ประเทศไทยได้แกลบจาการสีข้าวประมาณ 4 ล้านตัน เมื่อนำแกลบมาเผาจะเหลือขี้เถ้าแกลบอยู่ประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเดิมผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า ในเถ้าแกลบมีซิลิกา (silica, SiO_2) เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ70-90 และเถ้าแกลบมีความพรุน (porosity) มาก น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก มีสมบัติดูดซับ (absorbent) ดีอีกทั้งมีสมบัติเป็นฉนวนด้วย [3] การเผาแกลบที่อุณหภูมิพอเหมาะในช่วง 600-800 องศาเซลเซียสจะทำให้ซิลิกาอยู่ในรูปอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีความไวต่อการทำปฏิกิริยาเถ้าแกลบที่นำมาทำการศึกษาส่วนใหญ่เป็นแกลบขาว ในขณะที่เถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าวมาผสมทดแทนปูนซีเมนต์ยังมีอยู่น้อย โดยเถ้าแกลบดำจะเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงสีข้าวที่ได้จากการเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงต้มน้ำเพื่อใช้แรงดันไอน้ำเดินเครื่องสีข้าวซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายภายในประเทศ [4] จากงานวิจัยเบื้องต้นพบว่าเถ้าแกลบดำเป็นวัสดุปอซโซลานสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตได้ [5-8] ดังนั้น การศึกษาการนำเถ้าแกลบดำแทนที่ปูนซีเมนต์จึงเป็นการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตและเป็นการจัดการวัสดุเหลือใช้อีกทางหนึ่ง

คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวจะให้ค่ากำลังอัดที่ระดับหนึ่ง แต่เมื่อใช้วัสดุปอซโซลานร่วมผสมในคอนกรีตทั้งโดยวิธีการแทนที่ปูนซีเมนต์ (Replacement method) หรือวิธีผสมเพิ่มเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีต (Addition method) ในสัดส่วนที่เหมาะสม จะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังเพิ่มขึ้นความแตกต่างของกำลังที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุปอซโซลานนั้นๆ

2.วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบของเถ้าแกลบดำที่มีอัตราส่วนการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์โดยมีปริมาณเถ้าแกลบดำผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 5, 15, และร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานเป็นตัวแปรในการทดสอบ เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน เพื่อหาปริมาณการแทนที่ด้วยปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบดำที่เหมาะสมกับการทำคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป

3.วิธีการศึกษา

3.1. วัสดุและการเตรียมวัสดุที่ใช้ทดสอบ

3.1.1. ปูนซีเมนต์ (ใช้สัญลักษณ์ PC) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป

3.1.2. เถ้าแกลบดำ(ใช้สัญลักษณ์ BRHA) เป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการสีข้าวที่ใช้เถ้าแกลบเป็นเชื้อเพลิงหลัก เถ้าแกลบนี้ได้จากโรงสีข้าวธัญญผล ที่อยู่ 6 หมู่ 4 ตำบลสวนส้ม อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร นำเถ้าแกลบดำที่ได้มาอบไล่ความชื้น 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 เพื่อแยกสิ่งปะปนและนำเถ้าแกลบไปบดด้วยเครื่องลอสเองเจลลิส โดยใช้แท่งเหล็กกลมยาว 480 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 , 15 และ 19 มิลลิเมตร จำนวนอย่างละ 10 เส้น ใช้เวลาในการบด 120 นาที โดยบดครั้งละ 5 กิโลกรัม แล้วเก็บใส่ถุงกันความชื้นมีความละเอียดค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก

3.1.3. มวลรวมละเอียด เป็นทรายหยาบที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ก่อนนำมาใช้ต้องแยกสิ่งปะปนจากทรายหยาบโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และควบคุมความชื้น โดยการนำไปตากแดดให้แห้งมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.64 การดูดซึม 0.27 และมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.61

3.1.4. มวลรวมหยาบ เป็นหินปูนที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป มีขนาดโตสุดไม่เกิน 25 มิลลิเมตร เพื่อให้เหมาะกับขนาดของโมล ก่อนนำมาใช้ต้องทำความสะอาดโดยการล้างน้ำเพื่อขจัดสิ่งปะปน และควบคุมความชื้นโดยการนำไปตากแดดให้แห้งมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.83 การดูดซึม 0.41 และมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 7.32

3.1.5. น้ำ ใช้น้ำประปา

3.2. ขั้นตอนในการทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

3.2.1. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ประกอบด้วยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบดำ ได้แก่ การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ ความละเอียด ค่าการดูดซึม และดัชนีกำลัง

3.2.2. การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่ต้องการหาปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบดำที่เหมาะสำหรับงานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป จึงศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบดำผสมในช่วงอายุใช้งานตามข้อกำหนดที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐานการประเมินคุณภาพคอนกรีตสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน โดยทำการทดสอบ ดังนี้

1) การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต เป็นไปตามมาตรฐานASTM C 1431

2) การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ใช้ตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน การทำตัวอย่างทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C192

4. ส่วนผสมคอนกรีต

ในงานวิจัยนี้ใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีกำลังอัด 300 กก./ซม.^{2} ทดสอบจากตัวอย่างทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ที่อายุ 28 วัน ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างทั่วไป โดยกำหนดให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วง 10 ± 2.5 ซม. วิธีการคำนวณปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐาน ACI รายละเอียดส่วนผสมคอนกรีตแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ส่วนผสมคอนกรีตในหนึ่งลูกบาศก์เมตร

ชนิดของคอนกรีต*	ร้อยละการแทนที่โดยน้ำหนัก	วัสดุ (กก.)				
		PC	BRHA	ทราย	หิน	น้ำ
CPC	0	355	0	757	1099	195
CBRHA-5	5	337	18	757	1099	195
CBRHA-15	15	302	53	757	1099	195
CBRHA-20	20	284	71	757	1099	195

หมายเหตุ * CPC: คอนกรีตควบคุม ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

CBRHA-5, CBRHA-15, CBRHA-20: คอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำร้อยละ 5, 15, 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

5. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

5.1. ผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C 143 : Standard Practice for Slump of Hydraulic-Cement Concrete ทำการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตทันทีหลังจากผสมคอนกรีตเสร็จได้ค่าการยุบตัวแสดงในตารางที่ 2

ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่มีถ้าแกลบดำผสมมีค่าการยุบตัวลดลงเล็กน้อย และมีแนวโน้มลดลงเพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบดำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเถ้าแกลบดำมีความพรุนและมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ ซึ่งสามารถดูดซึมน้ำได้ ทำให้ค่ายุบตัวลดลง ทำให้คอนกรีตมีความข้นขึ้น โดยค่าการยุบตัวของคอนกรีต CPC เท่ากับ 8.0 ส่วนคอนกรีต CBRHA-5, CBRHA-15 และCBRHA-20 มีค่าการยุบตัวเท่ากับ 5.0, 4.0 และ 2.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 : ผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

ชนิดของคอนกรีต	ร้อยละการแทนที่โดยน้ำหนัก	ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (ซม.)
CPC	0	8.0
CBRHA-5	5	5.0
CBRHA-15	15	4.0
CBRHA-20	20	2.0

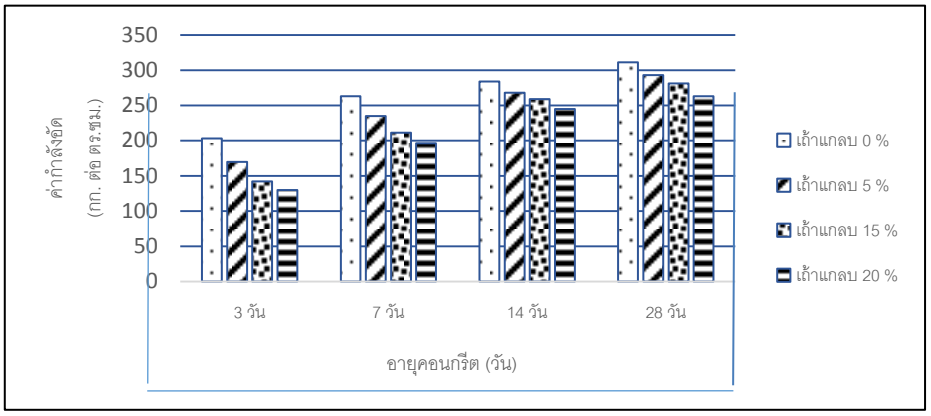
5.2. ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบดำผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 5, 15, และร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานแสดงในตารางที่ 3

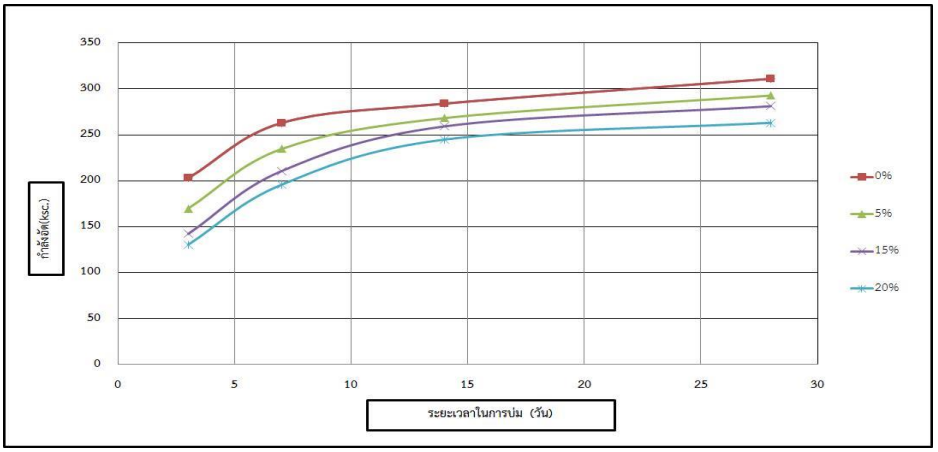
ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยเถ้าแกลบดำจะลดลงเมื่อร้อยละการแทนที่ด้วยปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักเพิ่มขึ้น กำลังอัดของคอนกรีต CPC ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน สูงกว่าคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบดำผสม แต่ที่ อายุ 28 วัน คอนกรีต CBRHA-5 มีกำลังอัดสูงใกล้เคียงกับ คอนกรีต CPC โดย คอนกรีต CBRHA-5 มีกำลังอัด 293กก/ซม.^{2}เมื่อเทียบกับคอนกรีต CPC ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 311 กก/ซม.^{2}

ตารางที่ 3 : ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ชนิดของคอนกรีต	ร้อยละการแทนที่โดยน้ำหนัก	กำลังอัด (กก/ซม.^{2}) (ร้อยละกำลัง, ร้อยละ)			
		3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
CPC	0	203	263	284	311
		(100)	(100)	(100)	(100)
CBRHA-5	5	170	235	268	293
		(83.74)	(89.35)	(94.37)	(98)
CBRHA-15	15	142	211	259	281
		(69.95)	(80)	(91.20)	(94)
CBRHA-20	20	130	196	245	263
		(64.04)	(74.52)	(86.96)	(88)



รูปที่ 4 : กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอายุของคอนกรีต



รูปที่ 5 : กราฟเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ค่ากำลังอัดกับระยะเวลา

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอายุของคอนกรีต พบว่า ค่ากำลังของคอนกรีตในอัตราส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าแกลบดำในปริมาณน้ำคงที่ มีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบดำ เนื่องจาก ตัวเถ้าแกลบมี SiO_2 สูง อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเถ้าแกลบไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบนั้น มีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (LOI) สูง จะส่งผลให้เป็นธาตุถ่าน จะทำให้เกิดการดูดน้ำสูงเกินความเหมาะสม ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลงแต่ค่ากำลังยังมีการพัฒนาสูงขึ้นเมื่ออายุคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น

การเปรียบเทียบกำลังคอนกรีตในอัตราส่วนผสมทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบดำในอัตราส่วนผสมต่าง ในช่วงอายุคอนกรีตเดียวกัน จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าแกลบที่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ออกแบบ มีค่ารับกำลังอัดใกล้เคียงกับค่ากำลังที่ออกแบบ ในทุกช่วงอายุคอนกรีต

6. สรุปผล

จากการศึกษาปริมาณเถ้าแกลบดำที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบดำเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม เนื่องจากเถ้าแกลบดำมีค่าการดูดซึมน้ำสูงเมื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ จึงทำให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตลดลง

2. เถ้าแกลบดำผสมแทนที่ปูนซีเมนต์มีความละเอียดค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป โดยยังคงคุณสมบัติทางกลและเชิงกลที่อายุ 28 วัน เทียบเท่ากับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน

3. กำลังอัดของคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบดำเป็นส่วนผสมจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบดำที่เพิ่มมากขึ้น กำลังอัดของคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบดำผสมจะต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมในช่วงแรกที่อายุ 3 วัน และ 7 วัน แต่สามารถพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา โดยคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบดำผสมร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานมีกำลัดอัดที่อายุ 28 วันใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ โรงสีข้าวธัญญผล ที่เอื้อเฟื้อเถ้าแกลบดำที่ใช้ในการทำวิจัย และนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา ทุกคนที่มีส่วนช่วยในการวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ปิติศานต์ กร้ำมาตร, 2553, “คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูน” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ งบประมาณประจำปี 2533 ภายใต้โครงการเสริมสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการ มทร.ธัญบุรี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์.

[2] สาโรจน์ ดำรงศีล, สุวิมล สัจจวาณิชย์, 2550, “ผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีต,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 30, ฉบับที่ 3, กรกฎาคม - กันยายน, หน้า 489-499.

[3] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, “เถ้าแกลบของเหลือสารพัดประโยชน์”, www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/865-[10 พฤษภาคม 2559]

[4] บุรฉัตร ฉัตรวีระ, ทวิสันห์คงทรัพย์, 2545, “ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 25, ฉบับที่ 4, ตุลาคม-ธันวาคม, หน้า 373-389.

[5] ณัฏฐพงษ์ ลาดบัตร, มณีรัตน์ องค์วรรณดี, สหลาภ หอมวุฒิวงศ์, 2557, “กำลังอัดและการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ผ่านการเผา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ,” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 10, หน้า 1-8.

[6] บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร, 2534, “การศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมขี้เถ้าแกลบ ขี้เถ้าลอย และสารลดน้ำพิเศษ,” วิทยานิพนธ์ บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[7] Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K., 2008, “Rice hush ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete,” ScienceDirect Construction and Building Materials, 22, p: 1675-1683.

[8] Chatveera, B., Lertwattanaruk P., 2011, “Durability of conventional concretes containing black rice husk ash,” Elsvevier Journal of Environmental Management. 92, p: 59-66.