ผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต
Effect of Rice Husk Ash Blended with Fly Ash on Mechanical Properties of Concrete

สาโรจน์ ดำรงศีล[1*]

[1]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดนครปฐม 73170

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต ได้แก่ กำลังอัด และกำลังดัดของคอนกรีต โดยมีตัวแปรในการศึกษาคือปริมาณเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน เถ้าแกลบผสม เถ้าลอยด้วยวิธีการบดร่วมในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ผลจากการทดสอบ พบว่า ค่ากำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยมีกำลังอัดที่อายุ 7 วัน ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม แต่ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม จากการศึกษานี้ พบว่า การใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก อาจใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยยังคงมีคุณสมบัติเชิงกลเทียบเท่ากับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน

Abstract

This research aimed to investigate the effect of rice husk ash blended with fly ash on mechanical properties of concrete including compressive and flexural strengths. The studied parameter was the replacement percentages of cement by rice husk ash blended with fly ash at 0, 30, and 50 by weight of cementitious materials. The constant ratio of rice husk ash to fly ash of 1:1 by weight was used in this study. The test results showed that the strength of concrete decreased while the replacement percentages of rice husk ash blended fly ash increased. The compressive strength at the age of 7 days of concrete containing rice husk ash blended with fly ash was lower than the control concrete but concrete containing rice husk ash and fly ash at 30% by weight of cementitious materials had comparable compressive and flexural strengths at the age of 28 days to the control concrete. As for the results, the mechanical properties of concrete containing rice husk ash blended with fly ash at 30% by weight of cementitious materials were comparable to the control concrete.

คำสำคัญ : เถ้าแกลบ เถ้าลอย คอนกรีต

Keywords : Rice Husk Ash, Fly Ash, Concrete

* *ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ Sarojcivil@yahoo.com โทร. 08 4020 4472*

1. บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานก่อสร้าง เพราะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมทั้งด้านกำลังรับน้ำหนัก ความคงทน และราคา แต่ปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบสำคัญของคอนกรีตที่มีราคาสูงเมื่อเทียบกับส่วนประกอบอื่น ๆ ของคอนกรีต และการผลิตปูนซีเมนต์ยังมีผลต่อการเกิดปัญหามลภาวะแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ จึงมีความพยายามที่จะวิจัยและพัฒนาหาวัสดุใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุปอซโซลานมาใช้เสริมหรือใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อลดปัญหาเหล่านี้ให้น้อยลง ในขณะที่คุณสมบัติทั้งด้านกำลังรับน้ำหนักและความคงทนของคอนกรีตยังคงเดิมหรือดีขึ้นกว่าเดิม งานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษา เพื่อนำเถ้าแกลบมาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต ได้แก่ ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และคณะ, 2545) การพัฒนาเถ้าแกลบ–เปลือกไม้เพื่อใช้ในงานคอนกรีต (ชัยจาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2545) และกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ (สาโรจน์ ดำรงศีล และคณะ, 2543) สรุปว่าเถ้าแกลบเมื่อนำมาบดละเอียดแล้ว ทำให้มีคุณสมบัติการเป็นปอซโซลานที่ดี และสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตได้ ซึ่งแหล่งของเถ้าแกลบที่ทำการศึกษาวิจัย ได้แก่ เถ้าแกลบจากโรงสีข้าว โรงไฟฟ้าชีวมวล และโรงงานทำอิฐมอญ เป็นต้น ยังมีเถ้าแกลบอีกแหล่งหนึ่งที่เป็นผลพลอยได้จากการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตน้ำมันพืช ซึ่งเป็นเถ้าแกลบที่มีปริมาณซิลิกอนออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลักทางเคมี โดยมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานมีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม อีกทั้งยังสามารถช่วยลดความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ และความร้อนจะลดลงตามปริมาณของเถ้าแกลบที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น (สาโรจน์ ดำรงศีล และคณะ, 2554) อย่างไรก็ตาม การใช้เถ้าแกลบเพียงอย่างเดียวมีข้อด้อยต่อคุณสมบัติของวัสดุบางประการ เช่น คอนกรีตมีความต้องการน้ำในส่วนผสมมากขึ้น และการหดตัวแบบแห้งสูงกว่าคอนกรีตปกติที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ ดังนั้น การใช้เถ้าแกลบผสมร่วมกับวัสดุปอซโซลานอื่นจะทำให้วัสดุประสานมีคุณสมบัติดีขึ้น (ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ, 2550) งานศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยต่อกำลังอัดและการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ (สาโรจน์ ดำรงศีล และคณะ, 2555) รายงานผลของการใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยด้วยการบดร่วมกันในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยที่กำลังอัดที่อายุ 28 วัน และการหดตัวแบบแห้งตลอดอายุทดสอบของมอร์ตาร์ใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วนและดีกว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบเพียงอย่างเดียว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต เพื่อหาปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยที่เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป และใช้เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนให้เกิดการศึกษาวิจัยด้านการใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยในงานคอนกรีต

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

2.1.1 ปูนซีเมนต์ (PC) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2.1.2 มวลรวมละเอียด เป็นทรายหยาบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.60 และค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80 โดยมีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 33

2.1.3 มวลรวมหยาบ เป็นหินย่อยที่มีผิวหยาบและมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมขนาดโตสุดไม่เกิน 12 มิลลิเมตร มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.70 และขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 33

2.1.4 เถ้าแกลบ เป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันพืชโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน เก็บจาก บริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม เถ้าแกลบมีลักษณะเป็นผงสีดำและเปียกชื้นก่อนทำการศึกษา จึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100±10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ซึ่งมีขนาดช่องเปิด 600 ไมครอน เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนและเศษเถ้าแกลบขนาดใหญ่ที่เผาไหม้ไม่หมดออก แล้วเก็บไว้ในถุงพลาสติกกันชื้น

2.1.5 เถ้าลอย เป็นเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นผงละเอียดสีเหลืองปนน้ำตาล

2.1.6 เถ้าแกลบผสมเถ้าลอย (BA) ได้จากการนำเถ้าแกลบที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และเถ้าลอยผสมรวมกันในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก แล้วบดร่วมกันด้วยเครื่องบดที่ดัดแปลงจากเครื่องลอสแองเจลีส โดยใช้เหล็กเส้นกลมเป็นตัวบด ใช้เวลาในการบด 120 นาที จะได้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยที่มีความละเอียดค้างตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

2.2 รายละเอียดวิธีทดสอบ

2.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ ความละเอียด ขนาดและลักษณะอนุภาค

2.2.2 กำลังอัด ใช้ตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C 192 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร หลังจากหล่อตัวอย่างทดสอบจนมีอายุครบ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบแล้วนำไปบ่มในน้ำจนกระทั่งคอนกรีตครบอายุทดสอบที่ 7 วัน, 28 วัน และอายุ 90 วัน ตามลำดับ

2.2.3 กำลังดัด ใช้ตัวอย่างทดสอบแบบคาน ขนาด 7.5x7.5x35.0 ซม.^{3} ทดสอบกำลังดัดโดยให้น้ำหนักกดแบบ 3 จุด ที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 78

2.3 ส่วนผสมคอนกรีต

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI โดยเลือกใช้ส่วนผสมของคอนกรีตควบคุมที่มีกำลังอัด 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทดสอบจากตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน กำหนดให้ค่าความยุบตัวของคอนกรีต (Slump) อยู่ในช่วง 7.5±2.5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคารทั่วไป รายละเอียดส่วนผสมคอนกรีตแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของคอนกรีต

ชนิดของคอนกรีต*	w/b	วัสดุ (กก./ลบ.ม.)				
		PC	BA	ทราย	หิน	น้ำ
CPC	0.62	346	-	860	877	215
CBA–30	0.62	242	104	860	877	215
CBA–50	0.65	173	173	834	877	225

หมายเหตุ: * CPC: คอนกรีตควบคุม ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน CBA–30, CBA–50: คอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยร้อยละ 30 และร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

3.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอย พบว่า เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบหลักร้อยละ 58.1 โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และไอออนออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันร้อยละ 78.8 โดยน้ำหนัก มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ร้อยละ 5.3 และร้อยละ 1.8 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอย เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมี (%)	วัสดุ	
	PC	BA
SiO_2	19.3	58.1
Al_2O_3	5.7	15.0
Fe_2O_3	3.1	5.7
CaO	64.9	5.3
SO_3	2.8	1.8
LOI	2.7	8.0

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ แสดงในตารางที่ 3 พบว่า เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ โดยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.17 และ 3.16 ตามลำดับ แต่เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ โดยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 4,554 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และ 3,485 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 17 ไมโครเมตร และ 20 ไมโครเมตร ตามลำดับ

ลักษณะอนุภาคของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยแสดง ในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นรูปถ่ายขยายขนาด 2,000 เท่า จะเห็นว่าอนุภาคของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยมีลักษณะผสมกันระหว่างรูปทรงหลายเหลี่ยมพื้นผิวมีรูพรุนกับรูปทรงกลม ซึ่งอนุภาคที่มีลักษณะรูปทรงหลายเหลี่ยมพื้นผิวมีรูพรุน ก็คือ เถ้าแกลบ และอนุภาคที่มีลักษณะกลม ก็คือ เถ้าลอย

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์

คุณสมบัติทางกายภาพ	วัสดุ	
	PC	BA
ความถ่วงจำเพาะ	3.16	2.17
ความละเอียด		
ค้างตะแกรงเบอร์ 325 (ร้อยละ)	-	0.8
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ซม.^{2}/กรัม)	3,485	4,554
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย, d_{50} (ไมครอน)	20	17

รูปที่ 1 ลักษณะอนุภาคของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอย

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอย เปรียบเทียบกับประเภทของปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618 พบว่าเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติเข้าได้กับวัสดุปอซโซลานประเภท N ดังแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบในตารางที่ 4

3.2 กำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน, 28 วัน และอายุ 90 วัน แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบประเภทของปอซโซลาน

องค์ประกอบทางเคมี	ประเภทวัสดุปอซโซลาน			BA
	N	F	C	
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$; ต่ำสุด (ร้อยละ)	70.0	70.0	50.0	78.8
SO_3; สูงสุด (ร้อยละ)	4.0	5.0	5.0	1.8
LOI; สูงสุด (ร้อยละ)	10.0	6.0	6.0	8.0
คุณสมบัติทางกายภาพ	**ประเภทวัสดุปอซโซลาน**			**BA**
	N	**F**	**C**	
ความละเอียด: ค้างตะแกรงเบอร์ 325 (ร้อยละ)	34	34	34	0.8
ความต้องการน้ำ; สูงสุด (ร้อยละ)	115	105	105	100
ดัชนีกำลัง; ต่ำสุด (ร้อยละ) ที่อายุ 7 วัน	75	75	75	90
ที่อายุ 28 วัน	75	75	75	112

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ชนิดของคอนกรีต	Slump (ซม.)	กำลังอัด, กก./ซม.^{2} (ร้อยละ)		
		7 วัน	28 วัน	90 วัน
CPC	8.0	213 (100)	286 (100)	344 (100)
CBA–30	7.0	182 (85)	294 (102)	356 (103)
CBA–50	8.0	111 (52)	219 (76)	286 (83)

ผลการทดสอบ พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยจะลดลงเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้น กำลังอัดของคอนกรีตควบคุม CPC ที่อายุ 7 วัน สูงกว่าคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอย แต่ที่อายุ 28 วันคอนกรีต CBA-30 มีกำลังอัดใกล้เคียงกับกำลังอัดของคอนกรีต CPC โดยคอนกรีต CBA-30 มีดัชนีกำลังอัดร้อยละ 102 เมื่อเทียบกับคอนกรีต CPC ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 286 กก./ซม.^{2} และสูงกว่า 250 กก./ซม.^{2} ที่เป็นค่าออกแบบส่วนผสมไว้ ส่วนคอนกรีต CBA-50 มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีต CPC โดยมีดัชนีกำลังอัด ร้อยละ 76 เมื่อเทียบกับคอนกรีต CPC ส่วนกำลังอัดที่อายุ 90 วัน คอนกรีต CBA-30 มีกำลังอัดใกล้เคียงกับกำลังอัดของคอนกรีต CPC โดยคอนกรีต CBA-30 มีดัชนีกำลังอัด ร้อยละ 103 เมื่อเทียบกับคอนกรีต CPC ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 344 กก./ซม.^{2} ส่วนคอนกรีต CBA-50 มีดัชนีกำลังอัด ร้อยละ 83

การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยมีผลต่อการลดกำลังอัดของคอนกรีตในช่วงแรก โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยในปริมาณเพิ่มขึ้น กำลังอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมในช่วงแรกมีผลมาจากปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมที่ลดลง แต่คอนกรีตมีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีต CBA-30 มีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม นอกจากนี้ การพัฒนากำลังอัดจากอายุ 7 วัน ถึงอายุ 90 วัน ของคอนกรีต CBA-30 และ CBA-50 เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 18 และร้อยละ 31 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการพัฒนากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น อันมีผลมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าแกลบผสมเถ้าลอย สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (สาโรจน์ ดำรงศีล และคณะ, 2555) ซึ่งพบว่า เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยมีผลกระทบต่อกำลังอัดทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นในระยะยาว

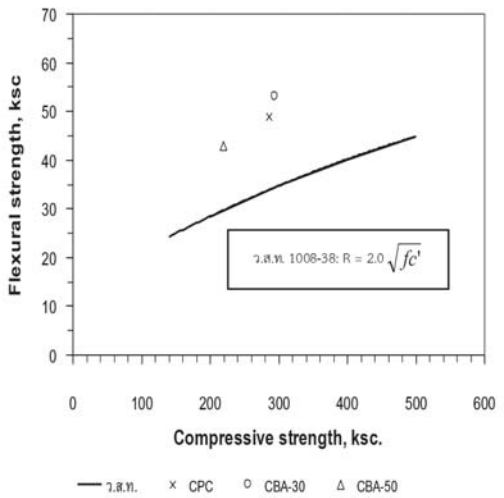
ผลการทดสอบกำลังดัดหรือเรียกว่าค่าโมดูลัสแตกร้าวที่อายุ 28 วันและอายุ 90 วัน แสดงในตารางที่ 6 พบว่า เป็นไปในแนวทางเดียวกับกำลังอัด กล่าวคือ กำลังดัดที่อายุ 28 วัน และอายุ 90 วัน ของคอนกรีต CBA-30 มีค่าใกล้เคียงกับกำลังดัดของคอนกรีตควบคุม CPC โดยคอนกรีต

CBA-30 มีดัชนีกำลังดัด ร้อยละ 108 และร้อยละ 110 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีต CPC ซึ่งมีกำลังดัดที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน เท่ากับ 49 กก./ซม.^{2} และ 55 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ส่วนคอนกรีต CBA-50 มีกำลังดัดต่ำกว่าคอนกรีต CPC เล็กน้อย โดยคอนกรีต CBA-50 มีดัชนีกำลังดัดร้อยละ 87 และร้อยละ 96 ที่อายุ 28 วัน และอายุ 90 วัน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกำลังดัดของคอนกรีต CPC

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต

ชนิดของคอนกรีต	Slump (ซม.)	กำลังดัด, กก./ซม.^{2} (ร้อยละ)	
		28 วัน	90 วัน
CPC	8.0	49 (100)	55 (100)
CBA–30	7.0	53 (108)	61 (110)
CBA–50	8.0	43 (87)	53 (96)

ความต้านทานกำลังดัดต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน พบว่า คอนกรีต CPC และคอนกรีต CBA-30 มีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 17 และร้อยละ 18 ตามลำดับ ส่วนคอนกรีต CBA-50 มีค่าความต้านทานกำลังดัดต่อกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมประมาณ ร้อยละ 15 ความต้านทานกำลังดัดต่อกำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดกับกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดกับกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยทั้งคอนกรีต CBA-30 และคอนกรีต CBA-50 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในคอนกรีตมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ว.ส.ท. 1008-38 (2538) ดังจะเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยที่มีแนวโน้มนำไปใช้ในงานคอนกรีตโครงสร้างได้



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดกับกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอย

4. สรุป

4.1 เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพเป็นวัสดุปอซโซลาน สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตได้

4.2 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยที่เพิ่มมากขึ้น กำลังอัดของคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยจะต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมในช่วงแรกที่อายุ 7 วัน แต่สามารถพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา โดยคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอย ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม และสูงกว่า 250 กก./ซม^2 ที่เป็นค่าออกแบบส่วนผสมไว้ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดกับกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในคอนกรีตมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง จึงมีแนวโน้มนำไปใช้ในงานคอนกรีตโครงสร้างได้

4.3 เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยด้วยวิธีการบดร่วม ที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยยังคงมีคุณสมบัติเชิงกลที่อายุ 28 วัน เทียบเท่ากับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุก ๆ ท่านที่มีส่วนช่วยในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา. 2538. **มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง**. มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008–38. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. ม.ป.ท.

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, จักรพันธุ์ วงษ์พา และสุรพันธ์ สุคันธปีย์, 2545. **การพัฒนาเถ้าแกลบ–เปลือกไม้เพื่อใช้ในงานคอนกรีต**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, จังหวัดขอนแก่น. หน้า MAT–163 ถึง MAT–172.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิสัณห์ คงทรัพย์, 2545. ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ**. ปีที่ 25, ฉบับที่ 4, (ตุลาคม-ธันวาคม.) หน้า 337-389.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2549. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. สมาคมคอนกรีตไทย และบริษัทปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด. ม.ป.ท.

สาโรจน์ ดำรงศีล, บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวินัย อวยพรประเสริฐ, 2543. กำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา** ปีที่ 11, ฉบับที่ 1. หน้า 11–19.

สาโรจน์ ดำรงศีล และรณกร เทพวงษ์, 2554. กำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบ. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 15, จังหวัดอุบลราชธานี. MAT–038. ม.ป.ท.**

สาโรจน์ ดำรงศีล และรณกร เทพวงษ์, 2555. กำลังอัดและการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอย. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16, จังหวัดชลบุรี. MAT–035. ม.ป.ท.**

American Society for Testing and Materials, ASTM. **Annual Book of ASTM Standard, 2001,** Volume 4.01 and 4.02.