

คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน

ประชุม คำพุฒ¹ และ ทวิช กล้าแท้^{2*}

prachoom.k@en.rmutt.ac.th¹, tawich.k@rmutsv.ac.th^{2*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

^{2*} หลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Received	: 24-May-2022
Revised	: 7-Jun-2022
Accepted	: 10-Jun-2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำเถ้าแกลบเพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วน ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC) ต่อเถ้าแกลบ (RHA) 1:3 (3RHA), 1:4 (4RHA) และ 1:5 (5RHA) ในการผลิตคอนกรีตบล็อก ทำการทดสอบหาความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน การดูดกลืนน้ำ การหดตัวแห้ง ความหนาแน่น และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก ที่อายุ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเถ้าแกลบในคอนกรีตบล็อก ในขณะที่การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลง เมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเปรียบเทียบกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกต้องสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 2.5 MPa ที่อายุทดสอบ 28 วัน พบว่าคอนกรีตบล็อก 3RHA และ 4RHA มีค่าความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินต้นทุนการผลิต พบว่าคอนกรีตบล็อกมีต้นทุนวัสดุลดลงร้อยละ 8-19 เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อก CT

คำสำคัญ: การดูดกลืนน้ำ, กำลังอัด, คอนกรีตบล็อก, เถ้าแกลบ

Properties of Concrete Block Incorporating Rice Husk Ash as Partial Replacement for Fine Aggregate

Prachoom Khamput¹ and Tawich Klathae^{2*}
prachoom.k@en.rmutt.ac.th¹, Tawich.k@rmuts.ac.th^{2*}

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

^{2*} Department of Civil Engineering, College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Received	: 24-May-2022
Revised	: 7-Jun-2022
Accepted	: 10-Jun-2022

Abstract

This research aims to study the feasibility of using rice husk ash (RHA) partial fine aggregates replacement at ratio of ordinary Portland cement Type 1 (OPC) to RHA 1:3 (3RHA), 1:4 (4RHA) and 1:5 (5RHA) to produce concrete blocks. The properties of concretes such as compressive strength at 7, 14, 21 and 28 days, water absorption capacity drying shrinkage unit weight and thermal conductivity of concrete block at 28 days were investigated. The result showed that the compressive strength of concrete block decreased with an increasing rate of RHA replacement while water absorption of concrete block increased led to unit weight of concrete block was decreased. When the values were compared with the Thai Industrial Standards Institute TISI.58-2533 non-load bearing concrete blocks, which met the minimum specification of concrete block (than 2.5 MPa) at 28 days. The results indicated that the compressive strength of concrete block 3RHA and 4RHA were met the minimum specification. In terms of the production cost, RHA to partial fine aggregates replacement at ratio 1:3 (3RHA) and 1:4 (4RHA) reduction in the material cost by 8–19% compared with CT concrete block.

Keywords: Compressive Strength, Concrete Block, Rice husk ash, Water Absorption

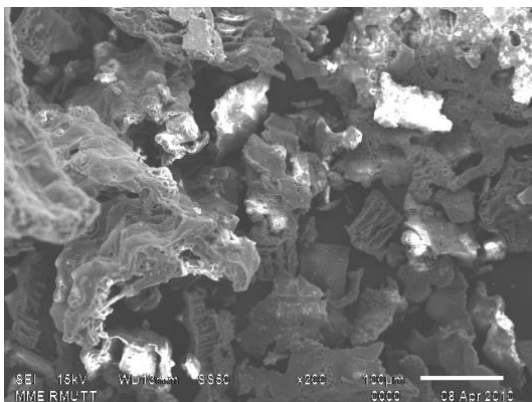
1. บทนำ

ไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวอันดับ 3 ของโลก รองจากอินเดียและเวียดนาม โดยปี 2020/2021 ไทยมีผลผลิตข้าวคิดเป็น 3.7% ของผลผลิตข้าวทั่วโลก (รองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนาม) ครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูก คิดเป็น 46.1% ของพื้นที่เกษตรทั้งหมดของประเทศ หรือประมาณ 68.86 ล้านไร่ ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือตอนล่าง และภาคกลาง จากสถิติในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาพบว่าไทยมีผลผลิตข้าวเปลือกเฉลี่ยปีละ 31-33 ล้านตัน [1] ซึ่งข้าวเปลือกในแต่ละตัน จะมีแกลบอยู่ประมาณ 200 กิโลกรัม หลังจากการนำแกลบไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงานความร้อนในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า จะคงเหลือแกลบ (Rice husk ash, RHA) ที่เป็นผลพลอยได้ประมาณ 40 กิโลกรัม [2] หรือจะมีวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแกลบ ประมาณ 1.2 ล้านตันต่อปี ซึ่งแกลบมีลักษณะเป็นผงฝุ่นน้ำหนักเบาสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย ซึ่งปัจจุบันแกลบที่เกิดขึ้นมีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นแต่ละปี ส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้ง ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสภาวะแวดล้อม สูญเสียพื้นที่ในการกองเก็บ และขั้นตอนการกำจัดที่ยุ่งยาก [3, 4] จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แกลบจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.9 - 2.3 ขึ้นอยู่กับวิธีการเผามีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 5 - 20 ไมครอน ขนาดและรูปร่างไม่แน่นอน มีความพรุนสูง มีผิวขรุขระและมีรูพรองอยู่มาก ดังแสดงในรูปที่ 1 ในขณะ ที่องค์ประกอบทางเคมีของแกลบประกอบด้วย SiO_2 ประมาณร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และซิลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 [2, 5-7] ดังแสดงในตารางที่ 1

ในอดีตมีการนำแกลบมาใช้เป็นวัสดุพอลิโกลานในการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) บางส่วนเพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์ และนำวัสดุเหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น

ในปี 2001 Chatveera and Visantanon (2001) [8] ศึกษาคอนกรีตบล็อกผสมแกลบไม่บด เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีตบล็อก ผลการทดสอบพบว่าแกลบไม่บดที่อัตราส่วนร้อยละ 20 สามารถพัฒนากำลังของคอนกรีตบล็อกสูงกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม นอกจากนี้อุณหภูมิของคอนกรีตบล็อกลดลงเมื่อร้อยละการแทนที่ของแกลบเพิ่มขึ้น ต่อมาในปี 2003 Sukantapree et al. [9] ได้ทำการศึกษาแกลบ-เปลือกไม้ โดยนำมาแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ในวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตบล็อก ผลการทดสอบพบว่ากำลังของคอนกรีตบล็อกลดลง เมื่อทำการแทนที่แกลบ-เปลือกไม้เพิ่มขึ้น ในขณะที่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความละเอียดของแกลบ-เปลือกไม้ ในขณะที่ sata et al. [10] ได้ศึกษาแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียดในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผลการศึกษาพบว่า ที่อายุ 28 วัน คอนกรีตพัฒนากำลังอัดได้ถึง 80 MPa นอกจากนี้ Dumrongkil et al. [11] ศึกษา กำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และความร้อนของมอร์ตาร์ผสมแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ผลการทดสอบพบว่ามอร์ตาร์ผสมแกลบร้อยละ 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีแนวโน้มพัฒนากำลังอัดสูงกว่าและใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม ที่อายุ 60 วัน ต่อมาในปี 2014 Sua-iam and Makul (2014) [12] ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากแกลบเพื่อทดแทนมวลรวม และการใช้แกลบลอยทดแทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 พบว่าปริมาณแกลบลอยและแกลบที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความต้องการน้ำของส่วนผสม และกำลังรับแรงอัดลดลง การทดแทนซีเมนต์ด้วยแกลบร้อยละ 25 สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ Onprom (2017) [13] ทำการศึกษาแกลบจากโรงงานไฟฟ้า ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และค้ำเบอร์ 100 แทนที่ทรายบางส่วนในผลิตภัณฑ์

คอนกรีตมวลเบา ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยปริมาตร ผลการทดสอบพบว่า การใช้เถ้าแกบลจากโรงงานเป็นมวลรวมละเอียดแทนที่ทรายบางส่วนส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาไม่กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นลดลง ในขณะที่การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อการแทนที่เถ้าแกบลในปริมาณที่มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hasnain (2021) [14] ซึ่งทำการศึกษาเถ้าแกบล (RHA) ร่วมกับเถ้าขานอ้อย (BA) ทดแทนทราย ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ในคอนกรีตไหลอัดแน่นได้ด้วยตัวเอง (Self-Compacting Concrete, SCC) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าแกบลร่วมกับเถ้าขานอ้อย ส่งผลโดยตรงต่อหน่วยน้ำหนัก และการดูดซึมน้ำของคอนกรีต SCC เนื่องจาก RHA และ BA มี ถ.พ. ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทราย นอกจากนี้อนุภาคของ RHA และ BA มีความพรุน และช่องว่างในอนุภาคสูงกว่า ส่งผลให้การดูดซึมน้ำของคอนกรีต SCC มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อการแทนที่ในปริมาณที่มากขึ้น



รูปที่ 1 ภาพขยายเถ้าแกบลโดยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) กำลังขยาย 200 เท่า

การศึกษาวิจัยในอดีตมีการใช้เถ้าแกบลบดละเอียดทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในงานคอนกรีต ซึ่งให้ผลการศึกษาเป็นที่น่าพอใจในด้านกำลังอัด และความทนทานของคอนกรีต ในขณะที่งานวิจัยเกี่ยวกับการนำเถ้าแกบลไม่บดมาทดแทนมวลรวม ในงานวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น ๆ ยังมีข้อมูลอยู่น้อยมาก ดังนั้น

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการใช้เถ้าแกบลไม่บด ที่ได้รับมาจากโรงงานชีวมวลโดยตรง ทดแทนมวลรวมละเอียดในวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตบล็อก เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก โดยเปรียบเทียบกับ มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก [15] ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้ง และช่วยลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมในขณะเดียวกัน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกบล [2]

สารประกอบ	เถ้าแกบล
Silicon dioxide	86.9 - 97.3
Potassium oxide	0.6 - 2.5
Sodium oxide	0 - 1.5
Calcium oxide	0.2 - 1.5
Magnesium oxide	0.12 - 1.96
Ferric oxide	0 - 0.6
Phosphorus pentoxide	0.2 - 2.9
Sulfur trioxide	0.1 - 1.1
Black Iron Oxide	0 - 0.4
Aluminum oxide	N/A
Loss on ignition	N/A

2. วิธีการศึกษา

2.1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1) เถ้าแกบลจากโรงไฟฟ้าชีวมวลนำมาอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อแยกแกบลที่เผาไหม้ไม่หมดออกไป มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.1

2) ทรายละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 อย่างละครั้ง มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.8

3) หินฝุ่นผึ่งแดดให้แห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.7

3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C150 [16] มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 3.1

- 4) น้ำประปา
- 5) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 6) แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลวงขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงในรูปที่ 2
- 7) เครื่องผสมคอนกรีตบล็อกแบบอัตโนมัติ
- 8) เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)
- 9) เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
- 10) เครื่องอัดไฮดรอลิก (แบบเดียวกับที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกทั่วไป)



รูปที่ 2 แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลวง

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแก้วกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับการทดสอบ (เทียบจากน้ำหนักปูนซีเมนต์)

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	หินปูน	เถ้ากลบ	น้ำ
CT	1	-	7	-	2
3RHA	1	1.5	1.5	3	2
4RHA	1	1.5	1.5	4	2
5RHA	1	1.5	1.5	5	2

2.2. การกำหนดอัตราส่วนผสม

นำเถ้ากลบไม่บด ซึ่งได้มาจากโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยตรง เพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดในการผลิตคอนกรีตบล็อกจำนวน 4 อัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 2 โดยใช้แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลวงขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

สำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกแก้วกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล จะเน้นการขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการที่ใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยทั่วไป ดังนี้

1) ตวงส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแก้วกลบเสริมเถ้ากลบตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 : ทราย : หินปูน : เถ้ากลบ : น้ำ โดยน้ำหนัก

2) เริ่มนำวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ และเถ้ากลบ) มาคลุกเคล้าให้เข้ากันทั้งหมด

3) แบ่งน้ำที่จะผสมออกเป็น 3 ส่วน โดย 1 ใน 3 ส่วนใช้สำหรับผสมในช่วงต้นเพื่อทำการเคลือบไม้ ที่เหลือ 2 ส่วน นำไปผสมระหว่างการผสมคอนกรีตบล็อก

4) เตรียมเครื่องผสมคอนกรีตบล็อกหรือไม้ผสมและอุปกรณ์ต่างๆที่จะสัมผัสกับคอนกรีตบล็อกสดให้อยู่ในสภาพชื้นเพื่อป้องกันการดูดความชื้นจากส่วนผสม

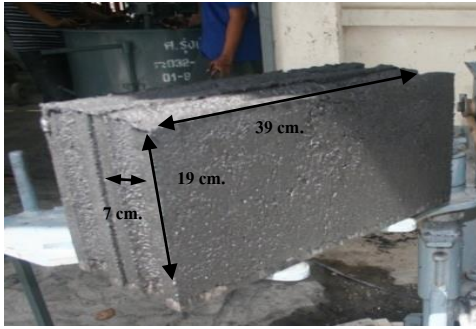
5) แบ่งวัสดุประสานที่ผสมออกเป็น 3 ส่วน แล้วจึงนำวัสดุประสานส่วนที่ 1 และน้ำ ใส่ลงในไม้ตามลำดับ เพื่อทำการเคลือบไม้

6) เติมทราย (ผ่านตะแกรงเบอร์ 50) ประมาณครึ่งหนึ่งของที่ตวงไว้ลงไป แล้วทำการผสมให้เข้ากัน

7) จากนั้นเติมทราย (ผ่านตะแกรงเบอร์ 100) ส่วนที่เหลือทั้งหมดลงไปพร้อมกับวัสดุประสานส่วนที่ 2

8) ขณะที่ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ให้ทยอยเติมวัสดุประสานส่วนที่เหลือทั้งหมดลงไป

9) ทำการผสมโดยให้ใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที และขณะที่ทำการผสมควรมีการหยุดเครื่องเพื่อแช่คอนกรีตบล็อกที่ติดอยู่ข้างโม้ออก แล้วจึงทำการเดินเครื่องผสมต่อ



รูปที่ 3 คอนกรีตบล็อกเก้าแกลบที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก

10) ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเก้าแกลบโดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิก เพื่อให้การบดอัดเข้าแบบมีค่าเท่ากัน

11) จากนั้นทิ้งไว้ 1 วัน จึงถอดแบบและยกตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเก้าแกลบที่ขึ้นรูปไปบ่มในอากาศและร่ม เป็นเวลา 7 วัน ในระหว่างนี้ห้ามเคลื่อนย้ายบล็อกทดสอบเป็นเวลา 2 วัน นับตั้งแต่วันที่เข้าแบบ

2.4 วิธีการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อก

2.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทดสอบคอนกรีตบล็อกตัวอย่างคอนกรีตบล็อกกลางขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตรตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก [15] ทำการทดสอบหาความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยค่าเฉลี่ยของกำลังอัดได้จากการทดสอบ 5 ก้อนตัวอย่าง ตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 [17]

2.4.2 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

ได้จากการทดสอบ 5 ก้อนตัวอย่าง ตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 [17] ที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตบล็อกตัวอย่างคอนกรีตบล็อกกลางขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.4.3 การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง

ทำการทดสอบโดยวัดขนาด ความกว้าง ความยาว ความหนา ของคอนกรีตบล็อกตัวอย่างคอนกรีตบล็อกกลางขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้ตัวอย่างทดสอบ

ไม่น้อยกว่า 5 ก้อนตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่อายุการบ่ม 28 วัน ตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 [15]

2.4.4 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

โดยการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกให้มีขนาดประมาณ $1.5 \times 30 \times 30$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามที่มาตรฐาน ASTM C177-10 [18] กำหนด จำนวนอัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง

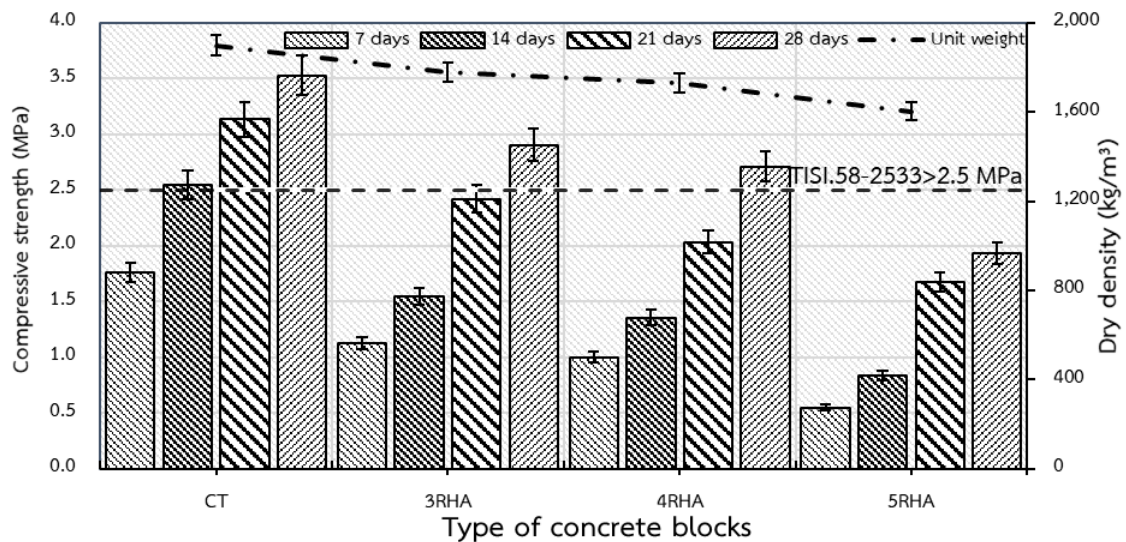
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

รูปที่ 4 แสดงค่ากำลังอัด ที่อายุ 7, 14, และ 21 วัน ของคอนกรีตบล็อกซึ่งทำการแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเก้าแกลบ (OPC : RHA) ที่อัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 ผลการทดสอบพบว่า การแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเก้าแกลบ ร้อยละ 0 (CT) มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 1.8, 2.6 และ 3.1 MPa ตามลำดับ ในขณะที่คอนกรีตบล็อก 3RHA, 4RHA และ 5RHA มีค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 1.1, 1.0 และ 0.6 MPa ตามลำดับ ต่อมาที่อายุ 14 วัน คอนกรีตบล็อก 3RHA, 4RHA และ 5RHA มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 1.5, 1.4 และ 0.8 MPa ตามลำดับ ในขณะที่อายุ 21 วัน คอนกรีตบล็อก 3RHA, 4RHA และ 5RHA สามารถพัฒนากำลังอัดเท่ากับ 2.4, 2.0 และ 1.7 MPa ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด และค่าความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน พบว่า คอนกรีตบล็อก CT, 3RHA, 4RHA และ 5RHA มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 3.5, 2.9, 2.7 และ 1.9 MPa ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ $1,900, 1,780, 1,733$ และ $1,604 \text{ kg/m}^3$ ตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกมีค่ากำลังอัดลดลง เมื่อทำการเพิ่มการแทนที่ของเก้าแกลบ ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของเก้าแกลบ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลง เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของเก้าแกลบมีค่าเท่ากับ 2.1 ในขณะที่ทรายและหินฝุ่น มีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.8 และ 2.7 ตามลำดับ นอกจากนี้ขนาดอนุภาคของเก้าแกลบที่ได้รับโดยตรงจากโรงงานชีวมวลไม่ผ่านการบดมี

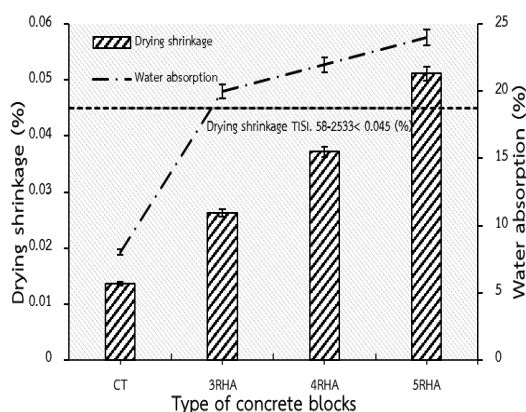
ขนาดของอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอ เล็ก ใหญ่ปะปนกันจึงทำให้ลักษณะการก่อตัวของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าแกลบในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีลักษณะเป็นโพรง และเกิดช่องว่างภายใน ทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการรับกำลังลดลง [6-9, 19-20] อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดกับ

มาตรฐานอุตสาหกรรม 58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก [15] พบว่าคอนกรีตบล็อก 3RHA และ 4RHA มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 5 ก่อนที่อายุ 28 วัน มีค่าผ่านเกณฑ์ มอก. 58-2533 ซึ่งมีการกำหนดค่าเฉลี่ยการรับกำลังไม่น้อยกว่า 2.5 MPa



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยกับร้อยละการแทนที่เถ้าแกลบที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก กับร้อยละการแทนที่เถ้าแกลบที่อายุ 28 วัน

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่อายุ 28 วัน ซึ่งทำการแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเถ้าแกลบ (OPC : RHA) ที่อัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตบล็อก CT มีค่าการหดตัวแบบแห้ง และดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.011 และ 8 ตามลำดับ ในขณะที่ คอนกรีตบล็อก 3RHA, 4RHA และ 5RHA มีการหดตัวแบบแห้งเท่ากับร้อยละ 0.026, 0.037 และ 0.051 และค่าการดูดกลืนน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 20, 22 และ 24 ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การหดตัวแบบแห้ง และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการแทนที่ของเถ้าแกลบ เนื่องจากเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการบดส่วนใหญ่มีความละเอียดต่ำ มีขนาดใหญ่และดูดน้ำมาก เนื่องจากมีความพรุนสูง ทำให้เกิดการดูดกลืนน้ำได้ง่าย จึงส่งผลให้เกิดการหดตัวแห้งสูงขึ้นตามปริมาณการแทนที่ของเถ้าแกลบ [4-7, 19-20]

ทั้งนี้ตาม มอก. 58-2533 มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต้องไม่เกิน ร้อยละ 25 เมื่อคอนกรีตบล็อกมีค่าการหดตัวแบบแห้งมากกว่าร้อยละ 0.045 พบว่าคอนกรีตบล็อก 3RHA และ 4RHA มีค่าผ่านเกณฑ์ มอก. 58-2533 [15]

3.3 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิตและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก

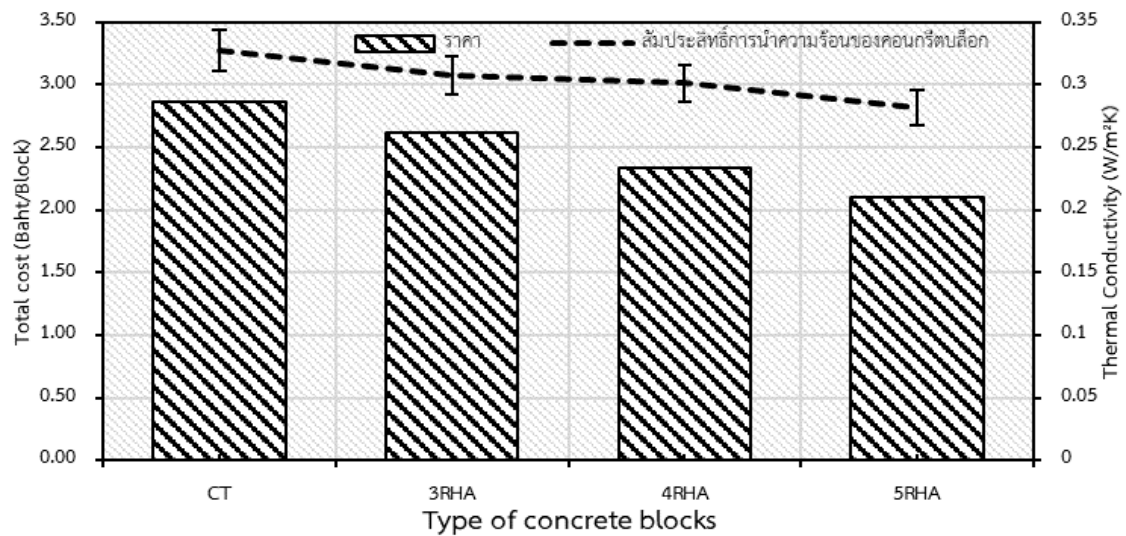
จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าแกลบมาทดแทนมวลรวมละเอียดในคอนกรีตบล็อก (OPC : RHA) ที่อัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ปูนซีเมนต์ ทราย และหินปูน ซึ่งมีราคาประมาณ 2.63, 0.10 และ 0.15 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ [21] ในขณะที่เถ้าแกลบ (RHA) ซึ่งมีราคาประมาณ 0.05 บาทต่อกิโลกรัม เนื่องจากเถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงไม่มีค่าใช้จ่าย และไม่มีค่าพลังงานในการบด เนื่องจากรับมาจากโรงงานชีวมวลโดยตรง แต่อาจจะมีส่วนของค่าขนย้าย

ตารางที่ 3 แสดงราคาคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน พบว่าคอนกรีตบล็อกที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมละเอียด มีราคาโดยประมาณที่ 2.86 บาท/ก้อน [21] ในขณะที่สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ

0.327 W/m²K เมื่อพิจารณาคอนกรีตบล็อกที่ใช้เถ้าแกลบทดแทนมวลรวมละเอียด (OPC : RHA) ที่อัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 หรือคอนกรีตบล็อก 3RHA, 4RHA และ 5RHA มีราคาเท่ากับ 2.62, 2.33 และ 2.10 บาท/ก้อน หรือคิดเป็นร้อยละ 92, 81 และ 73 ของราคาคอนกรีตบล็อกที่ใช้หินปูนเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในการผลิต ในขณะที่สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 0.307, 0.301 และ 0.281 W/m²K ดังแสดงในรูปที่ 6 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลง เมื่อทำการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่เถ้าแกลบ เนื่องจากเถ้าแกลบที่ได้รับโดยตรงจากโรงงานชีวมวล เป็นวัสดุที่มีความพรุนเนื่องจากไม่ผ่านการบดละเอียด ส่งผลให้เกิดช่องว่างจำนวนมากในคอนกรีตบล็อก ทำให้คอนกรีตบล็อกมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดีมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาตาม มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก [15] พบว่าคอนกรีตบล็อก 3RHA และ 4RHA สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากถึงร้อยละ 8-19 ในขณะที่กำลังรับแรงอัด รวมถึงคุณสมบัติอื่นๆ ยังคงผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด [15]

ตารางที่ 3 ต้นทุนต่อหน่วยของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบ

Concrete Symbols	Mixture proportions/Blocks, [kg. (Baht/kg)]				Baht/Block
	OPC	sand	Stone Dust	RHA	
CT	0.70 (2.63)	-	5.00 (0.15)	-	2.86
3RHA	0.80 (2.63)	1.20 (0.10)	1.20 (0.15)	2.40 (0.05)	2.62
4RHA	0.70 (2.63)	1.10 (0.10)	1.10 (0.15)	2.80 (0.05)	2.33
5RHA	0.60 (2.63)	0.95 (0.10)	0.95 (0.15)	3.20 (0.05)	2.10



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาวัสดุของการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก กับร้อยละการแทนที่เถ้าแกลบ

4. สรุปผล

คอนกรีตบล็อกที่ใช้เถ้าแกลบเพื่อทดแทนมวลรวมละเอียด มีค่าการหดตัวแบบแห้งและค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการแทนที่ของเถ้าแกลบ

คอนกรีตบล็อกที่ใช้เถ้าแกลบเพื่อทดแทนมวลรวมละเอียด มีค่ากำลังอัดและความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยลดลง เมื่อการแทนที่เถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น

อัตราส่วนคอนกรีตบล็อกที่ใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด (OPC : RHA) ที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:4 มีค่าความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์ มอก. 58-2533 ที่อายุ 28 วัน

คอนกรีตบล็อก 3RHA และ 4RHA สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ร้อยละ 8 และ 19 ในขณะที่กำลังรับแรงอัด รวมถึงคุณสมบัติอื่นๆ ยังคงผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลง เมื่อการแทนที่เถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ และเอื้อเฟื้อสถานที่ และนักศึกษาทุกคนที่มีส่วนร่วมในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Krungsri Research. Thailand industry outlook 2022-24: Rice Industry. [Internet]. 2022 [cited 2022 APR 15]. Availability from: https://www.krungsri.com/getmedia/fd159784-6582-4f22-91e354549d3269ab/IO_Rice_220203_EN_EX.pdf.aspx
- [2] Jaturapitakkul C, Tangchirapat W. Utilization of waste ashes and waste materials from industries as concrete materials. 2nd ed. Bangkok: Thailand; 2012.

- [3] Chalee W, Sasakul T, Suwanmaneechoand P, Jaturapitakkul C. Utilization of rice husk-bark ash to improve the corrosion resistance of concrete under 5-year exposure in a marine environment. *Cement and Concrete Composites*. 2013;37:47-53.
- [4] Sata V, Tangpagasit J, Jaturapitakkul C, Chindaprasit P. Effect of W/ B ratios on pozzolanic reaction of biomass ashes in Portland cement matrix. *Cement and Concrete Composites*. 2012;34:94 -100.
- [5] Zain M.F.M., Islam M.N., Mahmud F, Jamil M. Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*. 2011;25:798-805.
- [6] Intaboot N, Sreefung P, Nampunya S. Properties of concrete flow with rice husk ash mixing. 23rd National Convention on Civil Engineering; 2017; NakhonNayok, Thailand. p. MAT324. (in Thai)
- [7] Intaboot N. Guidelines and possibilities for the application of biomass materials for concrete block production. *Journal of Thailand Concrete Association*. 2017;5(2):1-10. (in Thai)
- [8] Chatveera B, Visantanon C. Potential to use concrete mixed with rice husk ash, not crushed. 7th National Convention on Civil Engineering; 2001; Bangkok, Thailand. 2001, p.63 -68. (in Thai)
- [9] Sukantapree S, Tangpagasit J, Jaturapitakkul C. A study of rice husk-bark ash as concrete block ingredients. *Engineering Journal of Research and Development*. 2003;14(3):1-7. (in Thai)
- [10] Sata V, Jaturapitakkul C, Kiattikomol K. Influence of pozzolan from various by product materials on mechanical properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*. 2007;21:1589–98.
- [11] Dumrongsil S, Thepwong R. Compressive strength drying shrinkage and heat of mortar containing rice husk ash. 15th National Convention on Civil Engineering, Thailand, 2010, p.207 (in Thai)
- [12] Sua-iam G, Makul N. Utilization of high volumes of unprocessed lignite-coal fly ash and rice husk ash in self-consolidating concrete. *Journal of Cleaner Production*. 2014;78:184-94.
- [13] Onprom P, use of rice husk ash as partial sand replacement in lightweight concrete. *Vocational Education Innovation and Research Journal*. 2017;1(1): 1-15. (in Thai)
- [14] Hasnain M.H, Javed U, Ali A, Zafar M.S. Eco-friendly utilization of rice husk ash and bagasse ash blend as partial sand replacement in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2021;273:121753.
- [15] Thai Industrial Standards Institute. Standard for hollow non-load-bearing concrete masonry unit (TIS.58-2533). Ministry of industry. 1990. (in Thai)
- [16] American Society for Testing and Materials. ASTM C150 Standard Specification for 364 Portland Cement. ASTM International. West Conshohocken, Philadelphia, United States. 2018.
- [17] Thai Industrial Standards Institute. Standard for sampling and testing concrete masonry units (TIS.109-2517). Ministry of industry. 1974. (in Thai)

- [18] American Society for Testing and Materials. ASTM C177 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties. ASTM International. West Conshohocken, Philadelphia, United States. 2010.
- [19] Prak L, Sumranwanich T. Chloride binding capacity and water absorption of mortar containing fly ash, limestone powder, and expansive additive. Journal of Engineering, RMUTT. 2020;18(2):133-44. (in Thai)
- [20] Boontositrakul K, Suweero K, Weeranukul P. Using cassava pit waste as light weight aggregate for hollow load bearing concrete masonry mixed with rice husk ash product. Journal of Engineering, RMUTT. 2020;18(1):13-22. (in Thai)
- [21] Klathae T, Jitpat P. Compressive strength and water absorption properties of concrete block containing crushed oyster shell not process burning. RMUTP Research Journal. 2019; 11(2): 25-38. (in Thai)