

สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาคและการนำความร้อน ของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอย

วันโชค เครือหงษ์¹ ไสภณ สังข์แป้น² ประภิต สิทธิคณารักษ์² และ จีระศักดิ์ วิลัยรัตน์²
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

บทความนี้รายงานผลการศึกษาศสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยด้วยวัสดุยึดประสาน : ททราย : หินปูนในอัตราส่วน 1 : 2 : 8 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุยึดประสาน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานเท่ากับ 0.70 0.80 และ 0.90 จากนั้นทดสอบหน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ ความพรุน กำลังอัด การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการนำความร้อน จากการศึกษาพบว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยที่ร้อยละ 30 มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม อย่างไรก็ตาม กำลังอัดที่อายุการบ่มในอากาศ 7 วัน มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 ซึ่งกำหนดกำลังอัดที่ 28 วันไว้ไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะปาสคาล หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยลดลงตามการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าลอย อย่างไรก็ตาม การดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม นอกจากนี้การนำความร้อนมีค่าลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อก / เถ้าลอย / สมบัติทางกล / โครงสร้างจุลภาค / การนำความร้อน

* Corresponding Author : wunchock_k@hotmail.com

¹ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

² นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

Mechanical Properties, Microstructure and Thermal Conductivity of Concrete Block Containing Fly Ash

Wunchock Kroehong^{1*}, Sopon Sangpaen², Prapit Sitkanarak and Jerasak Wilairat²

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Uthenthawai Campus,
Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok 10330

Abstract

This paper presents the results on the mechanical properties, microstructure and thermal conductivity of concrete block containing fly ash at a ratio of binder : sand : stone dust of 1:2:8 by weight. Portland cement type I was replaced by fly ash at 10%, 20% and 30% by weight of binder, while the water-to-binder ratios of 0.70, 0.80, and 0.90 were used. Measurement of unit weight, water absorption, porosity, compressive strength, thermal conductivity and scanning electron microscopy were conducted. The results showed that the compressive strength of air-cured concrete block containing 30% fly ash was lower than that of a control concrete block. Nevertheless, when air cured for 7 days, the compressive strength was noted to be higher than that specified by the Thai Industrial Standard 58-1990, which is no less than 2.5 MPa at 28 days. The unit weight of concrete block containing fly ash decreased with a decrease in the fly ash content, whereas its porosity and water absorption increased with the increased fly ash content. Concrete block with partial replacement of cement by fly ash exhibited lower thermal conductivity than the control concrete block. In addition, the thermal conductivity decreased with the increased water-to-binder ratio.

Keywords : Concrete Block / Fly Ash / Mechanical Properties / Microstructure / Thermal Conductivity

* Corresponding Author : wunchock__k@hotmail.com

¹ Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture.

² Bachelor Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture.

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และมีแนวโน้มความต้องการสูงขึ้นตามการขยายตัวของประชากร และการขยายตัวของเศรษฐกิจ การประหยัดพลังงานเป็นสิ่งสำคัญทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม พลังงานหนึ่งในสามของโลกนี้ถูกใช้ในอาคารสำหรับการทำความร้อนและทำความเย็น [1] ดังนั้นสิ่งสำคัญที่สุดคือปรับปรุงสมบัติของผนังโดยการลดการนำความร้อนของผนังอาคาร ประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับสภาพอากาศเพื่อให้เหมาะสมแก่การพักอาศัย ซึ่งการก่อสร้างผนังยังคงนิยมใช้คอนกรีตบล็อกเป็นผนังและเป็นที่แพร่หลายมาอย่างช้านาน โดยลักษณะของคอนกรีตบล็อกจะเป็นบล็อกที่มีรูกลวงเป็นช่องอากาศซึ่งเป็นสมบัติที่ดีสำหรับการเป็นฉนวนแต่ด้วยวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลทำให้การนำความร้อนมีค่าสูง ดังนั้นการพัฒนาให้คอนกรีตบล็อกมีการนำความร้อนต่ำจึงต้องให้ความสนใจกับวัสดุที่ใช้ผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก [2]

นักวิจัยได้มีการศึกษาการนำความร้อนของคอนกรีต Posi และ คณะ [3] ศึกษาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาต่อการนำความร้อนและพบว่าการนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามหน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตมวลเบา นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Zhu คณะ [4] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกและพบว่าความสัมพันธ์ของหน่วยน้ำหนักและการนำความร้อนมีลักษณะเพิ่มขึ้นเชิงเส้นโดยหน่วยน้ำหนักมีค่าระหว่าง 1,619-2,195 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและการนำความร้อนมีค่า 0.735-1.399 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน หลังจากนั้น Zhang และ Poon [5] ศึกษาการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดและพบว่าการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นในคอนกรีตมวลเบาทำให้การนำความร้อนลดลงโดยมีค่าการนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.65-0.90 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน และจากการศึกษาของ Narattha และคณะ [6] ซึ่งศึกษาวิธีการบ่มคอนกรีตมวลเบาต่อการนำความร้อนพบว่าการบ่มคอนกรีตในอากาศให้ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าการบ่มในน้ำ

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ 1 กิโลกรัมจะใช้พลังงานประมาณ 1.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศประมาณร้อยละ 7 [7] การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นำไปสู่ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) คือ ปรากฏการณ์ที่โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น การที่จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงจำเป็นต้องลดการใช้ปูนซีเมนต์ให้น้อยลง นักวิจัยได้มีการศึกษาการใช้เถ้าลอยซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะจังหวัดลำปาง แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากการวิจัยของ Chindaprasit และคณะ [8] ศึกษาความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและพบว่าการใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุยึดประสานจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลและความทนทานของคอนกรีต นอกจากนี้จากการศึกษาของ Jaturapitakkul และ Tangchirapat [9] ซึ่งศึกษาการใช้ประโยชน์เถ้าลอยเป็นวัสดุยึดประสานในคอนกรีตและพบว่าเถ้าลอยมีปริมาณการผลิตปีละ 3.5 ล้านตันต่อปีและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีตประมาณปีละ 1.5 ล้านตันต่อปี อย่างไรก็ตามยังมีปริมาณเถ้าลอยอีกจำนวนมากที่ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างได้อีก

การผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักในประเทศไทยได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐานผลิต มอก.58-2533 [10] ซึ่งได้กำหนดให้ค่ากำลังอัดและการดูดซึมน้ำต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะปาสคาลและร้อยละ 25 ตามลำดับ นักวิจัยได้มีการศึกษาวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อปรับปรุงสมบัติ เช่น Gunduz [11] ศึกษาปริมาณปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกและพบว่าปริมาณปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกร้อยละ 9 โดยน้ำหนักสามารถรับกำลังอัดได้ 2.8 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร หลังจากนั้น Tongaroonsri และ Kunajamjarus [12] ศึกษาหินฝุ่นวัสดุเหลือทิ้งเป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกให้มิตุนทุนการผลิตต่ำโดยใช้เครื่องผลิตแบบทำเหยียบสำหรับผู้ประกอบการรายย่อยเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 และพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมใช้ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หินฝุ่นเท่ากับ 1 : 2 : 10 โดยปริมาตร นอกจากนี้ Duangchan [13] ศึกษาการใช้เถ้าขานอ้อยในการผลิตคอนกรีตบล็อกและพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตใน

กระบวนการตามโรงงานผลิตมีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 42-55 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และจากศึกษาของ Chatveera และคณะ [14] ศึกษาสมบัติของคอนกรีตบดบล็อกลงชนิดไม่รับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้นผสมเถ้าขานอ้อยและพบว่าสามารถนำเถ้าขานอ้อยแทนที่หินฝุ่นได้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามวัสดุที่มาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบดบล็อกไม่ควรต้องนำมาบดอีกครั้งเพราะว่าการบดจะทำให้ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบดบล็อกมีราคาสูงขึ้น ซึ่งเถ้าลอยที่เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเผาไหม้ถ่านหินสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุประสานได้โดยไม่ผ่านกระบวนการบดและในทางปฏิบัติการผลิตคอนกรีตบดบล็อกจะบ่มในอากาศเพียง 7 หรือ 14 วันก็จะถูกจำหน่ายและนำไปใช้ในงานก่อสร้าง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสมบัติทางกายภาพทางกล และความทนทานของคอนกรีตบดบล็อกมาบ้างแล้ว [11-14] แต่ยังขาดการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพ ทางกล โครงสร้างจุลภาคและการนำความร้อนของคอนกรีตบดบล็อก ดังนั้นงานวิจัยจึงมุ่งศึกษาการใช้เถ้าลอยในการผลิตคอนกรีตบดบล็อกด้วยเครื่องแบบแท้เหยียบ ศึกษาหน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ ความพรุน กำลังอัด โครงสร้างจุลภาค การนำความร้อนและการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบดบล็อก เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนให้มีการนำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบดบล็อกไปใช้งานจริงจะช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิตปูนซีเมนต์

ลดปัญหาเกี่ยวกับวัสดุเหลือทิ้งลดต้นทุนค่าวัสดุในการผลิตคอนกรีตบดบล็อกและจะเป็นข้อมูลให้ผู้ประกอบการขนาดเล็กในการผลิตคอนกรีตบดบล็อกผสมเถ้าลอย

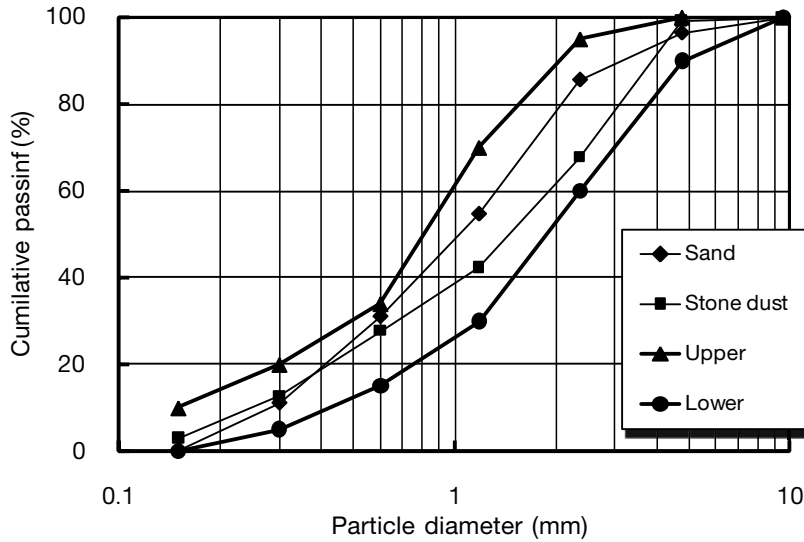
2. วัสดุและวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุ

วัสดุงานวิจัยประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC), เถ้าลอย (Fly ash, FA) จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ทราย (Sand, S) ทรายแม่น้ำ จากจังหวัดนนทบุรี และหินฝุ่น (Stone dust, SD) จากจังหวัดสระบุรี องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แสดงในตารางที่ 1 พบว่าผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ของเถ้าลอยเท่ากับ 78.85 มีค่ามากกว่า ร้อยละ 70 ซึ่งสามารถจัดเป็นเถ้าถ่านหิน Class F ตามมาตรฐาน ASTM C618 [15] รูปที่ 1 การกระจายขนาดคละของมวลรวม พบว่าทรายและหินฝุ่นการกระจายอยู่ในช่วงขอบเขตโซนที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 566-2528 [16] ตารางที่ 2 แสดงสมบัติทางกายภาพของวัสดุ พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย ทรายและหินฝุ่นมีค่าเท่ากับ 2.36 2.62 และ 2.74 ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและหินฝุ่นมีค่าเท่ากับ 3.13 และ 3.47 ตามลำดับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย d_{50} ของเถ้าลอยเท่ากับ 19.0 ไมโครเมตร

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของวัสดุยึดประสาน

องค์ประกอบหลักทางเคมี	OPC	FA (%)
SiO_2	20.45	46.40
Al_2O_3	4.97	22.50
Fe_2O_3	3.54	9.95
CaO	64.5	9.89
MgO	1.56	2.66
Na_2O	0.12	0.65
K_2O	0.58	2.42
TiO_2	-	0.45
SO_3	2.70	2.52
LOI	1.35	1.45
$(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$		78.85



รูปที่ 1 การกระจายขนาดคละของมวลรวม

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุ

วัสดุ	ความ ถ่วงจำเพาะ	ขนาดอนุภาค เฉลี่ย, d ₅₀ (m)	โมดูลัสความ ละเอียด
ปูนซีเมนต์	3.14	14.5	-
เถ้าลอย	2.36	19.0	-
ทราย	2.62	-	3.13
หินฝุ่น	2.74	-	3.47

2.2 อัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกในงานวิจัยใช้อัตราส่วน วัสดุยึดประสาน:ทราย:หินฝุ่น 1:2:8 โดยน้ำหนัก และใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทที่ 1 ในปริมาณร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุยึดประสาน การผลิตคอนกรีตบล็อกใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานเท่ากับ 0.70 0.80 และ 0.90 ตารางที่ 3 แสดงอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ 3 อัตราส่วนของคอนกรีตบล็อก

Mix	Mix proportion				
	OPC (ก.)	FA (ก.)	S (ก.)	Stone dust (ก.)	Water (ก.)
0.7CT	100	0	200	800	70
0.7FA10	90	10	200	800	70
0.7FA20	80	20	200	800	70
0.7FA30	70	30	200	800	70
0.8CT	100	0	200	800	80
0.8FA10	90	10	200	800	80
0.8FA20	80	20	200	800	80
0.8FA30	70	30	200	800	80
0.9CT	100	0	200	800	90
0.9FA10	90	10	200	800	90
0.9FA20	80	20	200	800	90
0.9FA30	70	30	200	800	90

2.3 วิธีการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอยทราย หินฝุ่นและน้ำ ตามอัตราส่วนในตารางที่ 3 เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องแบบเท้าเหยียบที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถผลิตได้ครั้งละ 2 ก้อนอัตราการผลิต 2,000 ก้อนต่อวัน การผสมคอนกรีตบล็อกเริ่มโดยนำหินฝุ่น และทรายหยาบที่เตรียมไว้ลงไปเครื่องผสมคละเคล้าให้ดี จากนั้นเติมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยผสมคละเคล้ากันให้ดี จึงค่อยๆ เติมน้ำลงไปจนได้ปริมาณตามที่ต้องการใช้ในการผสม ทำการผสมเปียกใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที หลังจากนั้นทำการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มิลลิเมตร โดยนำคอนกรีตที่ผสมแล้วเทลงในเบ้าของเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแล้วทำการอัดตัวอย่างทันที หลังจากนั้นนำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกบ่มในอากาศ

2.4 วิธีการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อก

2.4.1 การทดสอบหน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ

ความพรุน

การทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน ASTM C138 [17] การทดสอบการดูดซึมน้ำ

และความพรุนของคอนกรีตบล็อกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C20 [18] ขนาด 70 x 190 x 390 มิลลิเมตรที่อายุการบ่มในอากาศ 28 วัน การดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบล็อกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2

$$A = \frac{W_{sat} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100 \quad (1)$$

$$P = \frac{W_{sat} - W_w}{W_{sat} - W_w} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

A หมายถึงร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)

P หมายถึงร้อยละความพรุน (ร้อยละ)

W_{sat} หมายถึงน้ำหนักตัวอย่างหลังแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (กรัม)

W_{dry} หมายถึงน้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรัม)

W_w หมายถึงน้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ (กรัม)

2.4.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มิลลิเมตร ที่อายุการบ่มในอากาศ 7 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบเฉลี่ยจำนวน 5 ก้อนทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 [19]

2.4.3 โครงสร้างจุลภาค

การทดสอบโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตบล็อกเป็นชั้นเล็กอยู่ตรงกลางของคอนกรีตบล็อกขนาด 10-15 มิลลิเมตร นำตัวอย่างแช่ในอะซิโตนเพื่อหยุดปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง [20] นำไปทดสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยวิธีกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy หรือ SEM) โดยนำชิ้นตัวอย่างไปเคลือบผิวด้วยทองคำและไปทดสอบถ่ายภาพขยายอนุภาคกำลังสูงด้วยเครื่อง JSM-6460LA model Scanning Electron Microscope (JEOL)

2.4.4 ค่าการนำความร้อน (k) ของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

การทดสอบสมบัติการนำความร้อน โดยการทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) ตามมาตรฐาน ASTM C518 [21] โดยทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเป็นแผ่นขนาด 200 x 200 x 50 มิลลิเมตร โดยทดสอบตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนผสมจำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดสอบต้องทำการอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อลดผลของความชื้นก่อนการทดสอบ [22]

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

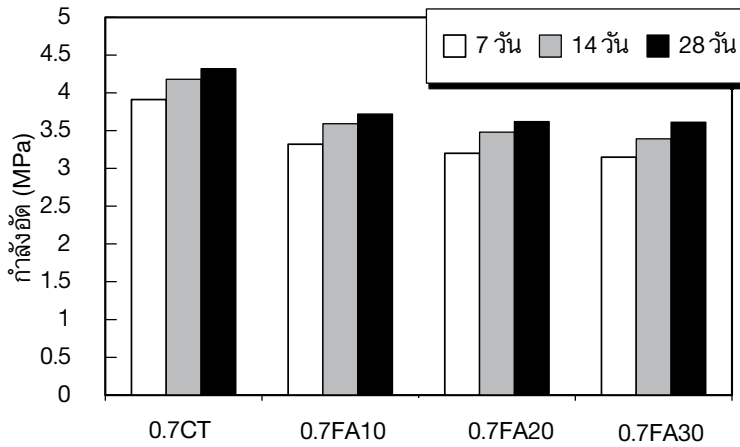
กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 7 14 และ 28 วัน แสดงในตารางที่ 4 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยทุกอัตราส่วนผสมที่อายุการบ่มในอากาศ 7 วันมีค่าอยู่ระหว่าง 2.52-3.91 เมกะปาสคาลและมีค่าร้อยละ 79-85 ของคอนกรีตบล็อกควบคุม โดยคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยมีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุมเนื่องจากใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม และกำลังอัดเปลี่ยนแปลงน้อยมากอาจได้มาจากการอัดตัวของบล็อกในกระบวนการขึ้นรูป [14] โดยการผลิตคอนกรีตบล็อกจะอาศัยกลไกแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในการบีบอัดมวลรวมให้มีความแน่นทำให้การพัฒนากำลังไม่แตกต่างในช่วงอายุต้น [23] เมื่ออายุการบ่ม 28 วันมีค่ากำลังอัดเปลี่ยนแปลงเพิ่มไม่มากเป็น 2.93-4.32 เมกะปาสคาลหรือประมาณร้อยละ 84-90 ของคอนกรีตบล็อกควบคุม โดยกำลังอัดที่เปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกเป็นการบ่มในอากาศทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้กำลังอัดจากปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ และค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับการศึกษาของ Chatveera และคณะ [14] ศึกษาคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและพบว่ากำลังอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 4.21 เมกะปาสคาล นอกจากนี้การศึกษาของ Wongkeo และ Chiapanich [24] ศึกษาคอนกรีตมวลเบาจากเถ้าหนักโดยการบ่มตัวอย่างในอากาศและพบว่าร้อยละของกำลังอัดเพิ่มขึ้นด้วยอายุการบ่ม อย่างไรก็ตามอายุการบ่มในอากาศ 7 วันคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 กำลังอัดมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 กำหนดค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคาลที่อายุการบ่ม 28 วัน [19]

ตารางที่ 4 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

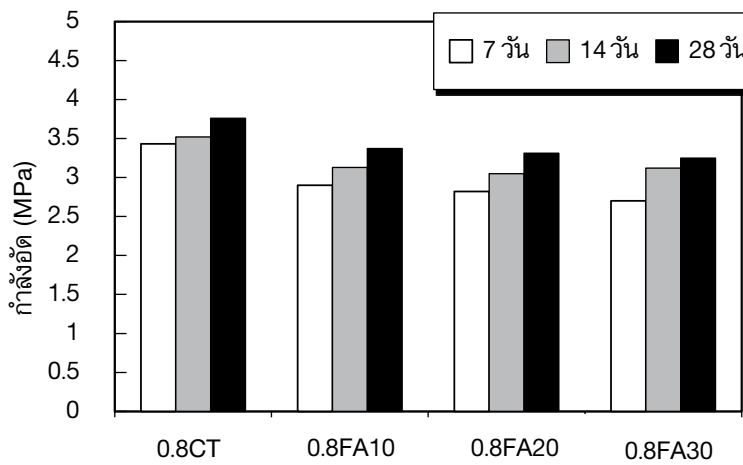
Mix code	กำลังอัด (MPa)			ร้อยละ		
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0.7CT	3.91	4.18	4.32	100	100	100
0.7FA10	3.32	3.59	3.72	85	86	86
0.7FA20	3.20	3.48	3.62	82	83	84
0.7FA30	3.15	3.39	3.61	81	81	84
0.8CT	3.43	3.52	3.76	100	100	100
0.8FA10	2.90	3.13	3.37	85	89	90
0.8FA20	2.82	3.05	3.31	82	87	88
0.8FA30	2.70	2.99	3.25	79	85	86
0.9CT	3.14	3.37	3.49	100	100	100
0.9FA10	2.54	2.77	3.09	81	82	89
0.9FA20	2.61	2.85	3.11	83	85	89
0.9FA30	2.52	2.78	2.93	80	82	84

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของแฉะลอมต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกแสดงในรูปที่ 2 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแฉะลอมมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานสูงขึ้น เช่นคอนกรีตบล็อกผสมแฉะลอมร้อยละ 30 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสาน 0.70 0.80 และ 0.90 มีค่าเท่ากับ 3.61 3.25 และ 2.93 เมกะปาสคาลตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ

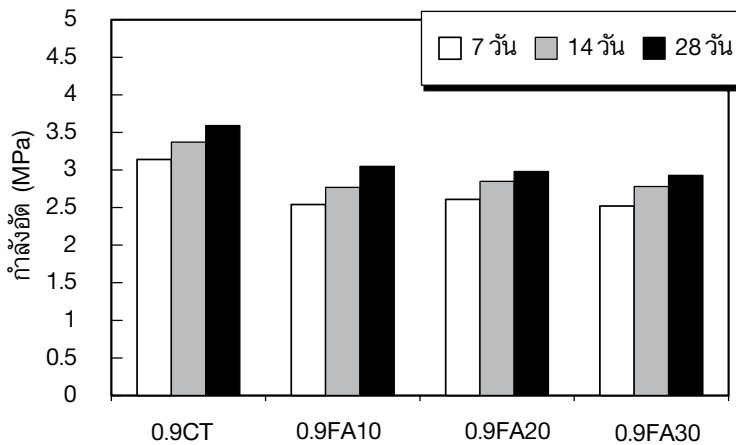
ยึดประสานส่งผลให้ปริมาณโพรงเพิ่มขึ้น [25] จากข้อมูลสรุปได้ว่าแฉะลอมสามารถใช้เป็นวัสดุยึดประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกได้ร้อยละ 30 และกำลังอัดที่ปมในอากาศ 7 วันมีค่าสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 กำหนดค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคาลที่อายุการปม 28 วัน



ก) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสาน 0.70



ข) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสาน 0.80



ค) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสาน 0.90

รูปที่ 2 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอย

3.2 ผลของการแทนที่เถ้าลอยต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกแสดงตารางที่ 5 พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยมีค่าหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม โดยหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกควบคุม (CT) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสาน 0.70 0.80 และ 0.90 และคอนกรีตบล็อก

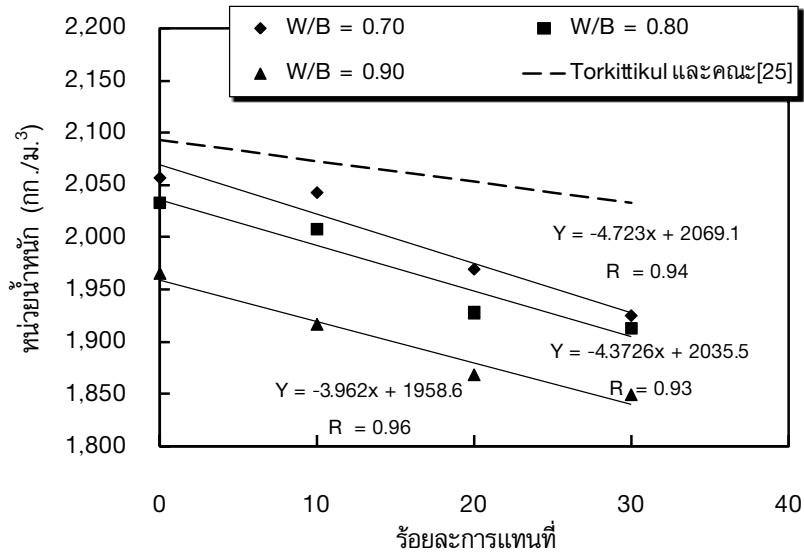
แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30 มีค่าเท่ากับ 2,057 2,032 1,965 และ 1,924 1,913 1,849 กก./ม.³ หรือลดลงร้อยละ 6.46 5.85 และ 5.90 ตามลำดับ เพราะว่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยต่ำกว่าปูนซีเมนต์เมื่อเปรียบเทียบความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์เท่ากับ 2.36 และ 3.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 หน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบล็อก

Mix code	อายุการบ่ม 28 วัน		
	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)	การดูดซึมน้ำ (%)	ความพรุน (%)
0.7CT	2,057	9.32	18.23
0.7FA10	2,043	9.46	18.77
0.7FA20	1,969	9.50	18.84
0.7FA30	1,924	9.55	18.93
0.8CT	2,032	10.58	21.19
0.8FA10	2,007	11.48	22.15
0.8FA20	1,928	12.00	23.07
0.8FA30	1,913	12.33	23.59
0.9CT	1,965	12.87	25.06
0.9FA10	1,916	13.65	25.53
0.9FA20	1,868	14.00	26.10
0.9FA30	1,849	14.15	26.36

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่เถ้าลอยและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกแสดงในรูปที่ 3 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ของเถ้าลอยและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงลักษณะเชิงเส้น โดยที่หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงด้วยการเพิ่มขึ้นของเถ้าลอย สาเหตุที่ทำให้หน่วยน้ำหนักลดลงเนื่องจากสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์และเหตุผลทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลง คล้ายกับการศึกษาของ Torkittikul และคณะ [26] และเมื่อ

พิจารณาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานและหน่วยน้ำหนักพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานเพิ่มขึ้นส่งผลให้หน่วยน้ำหนักมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่ต่ำกว่า เพราะว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความพรุนสูงและโพรงมีขนาดใหญ่ [25] ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้เถ้าลอยผสมในคอนกรีตบล็อกส่งผลให้หน่วยน้ำหนักลดลงและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงด้วยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่สูงขึ้น

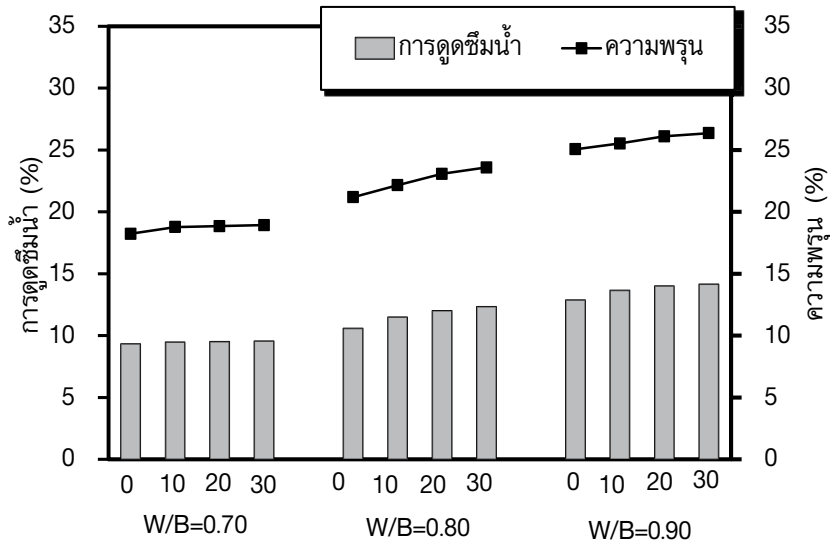


รูปที่ 3 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อก

3.3 ผลของการแทนที่เถ้าลอยต่อการดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบดล็อก

ตารางที่ 5 การดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบดล็อก และรูปที่ 4 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานต่อการดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบดล็อกพบว่า การดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบดล็อกมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 9.32-14.15 และ 18.23-26.36 ตามลำดับ โดยความพรุนมีค่าสูงกว่าการดูดซึมน้ำ เนื่องจากความพรุนเป็นการวัดปริมาตรทั้งหมดของตัวอย่าง นอกจากนี้ความพรุนของคอนกรีตบดล็อกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการแทนที่เพิ่มขึ้นของเถ้าลอย เนื่องจากการ

แทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำกว่าคอนกรีตบดล็อกควบคุม และอีกสาเหตุอาจจะเกิดเนื่องจากการผลิตคอนกรีตบดล็อกเป็นการบ่มในอากาศทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นต่ำ [14] นอกจากนี้เถ้าลอยในงานวิจัยนี้มีอนุภาคเฉลี่ย d_{50} เท่ากับ 19.0 ไมโครเมตร ซึ่งมีอนุภาคขนาดใหญ่จากการศึกษาของ Chindaprasit และคณะ [27] ศึกษาใช้เถ้าลอยอนุภาคเฉลี่ย d_{50} เท่ากับ 19.1 ไมโครเมตรและพบว่าปริมาตรโพรงทั้งหมดของซีเมนต์เฟสดีมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการแทนที่ของเถ้าลอย



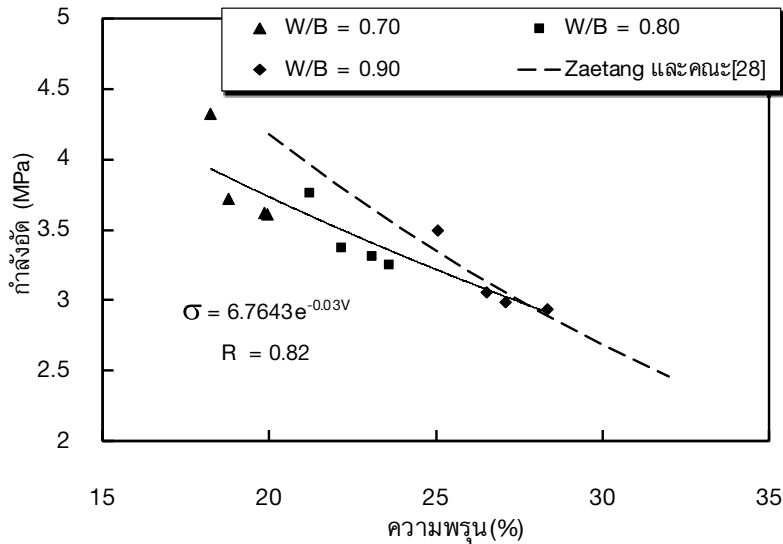
รูปที่ 4 การดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบล็อก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานต่อการดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบล็อกพบว่า การดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบล็อกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่สูงขึ้นส่งผลให้ความพรุนมีค่าสูงขึ้น [25] จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการใช้เถ้าลอยผสมในคอนกรีตบล็อกทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าที่ มอก. 58-2533 [28] ได้กำหนดไว้ร้อยละ 25

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนและกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนและกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกพบว่าความพรุนของคอนกรีตบล็อก

มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 18.23-26.36 และกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าอยู่ระหว่าง 2.93-4.32 เมกะปาสคาล สมการแสดงในรูปแบบค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีตบล็อกมีลักษณะไม่เชิงเส้นเป็นสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลและเมื่อความพรุนของคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zaetang และคณะ [29] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนและพบว่าความสัมพันธ์เป็นสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลเช่นเดียวกันโดยมีค่าความพรุนร้อยละ 19.1-31.8 และกำลัง 2.47-4.30 เมกะปาสคาล ค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ นอกจากนี้การศึกษาให้ผลในเช่นเดียวกันของ Gencil [28] ความพรุนของอิฐดินเหนียวและพบว่ากำลังอัดของอิฐดินเหนียวลดลงเมื่อความพรุนเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าความพรุนจะมีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

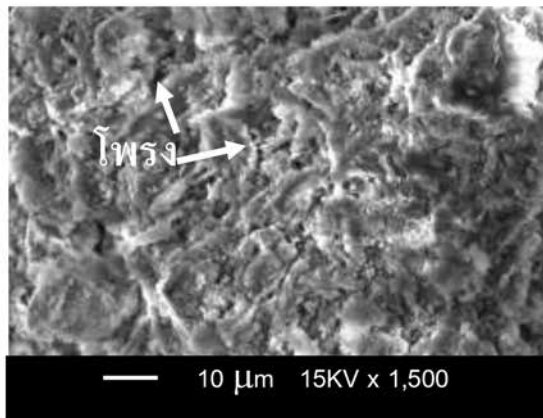


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุนของคอนกรีตบล็อก

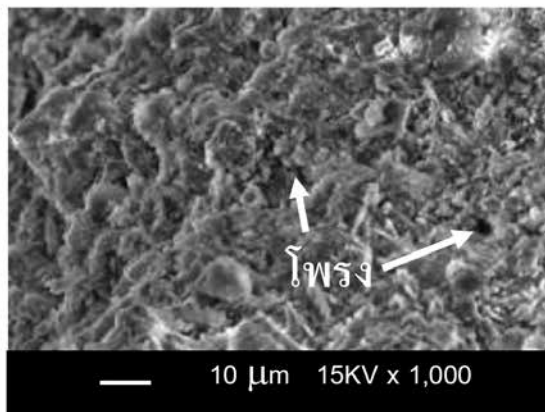
3.5 โครงสร้างจุลภาค

รูปที่ 6 แสดงภาพขยาย Fractured Surface ของ คอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอย 0.9FA10 0.9FA20 และ 0.90FA30 มีลักษณะความพรุนสูงกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม 0.9CT การที่มีลักษณะความพรุนสูงกว่าเนื่องจากใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยกว่าในคอนกรีตผสมเถ้าลอย นอกจากนี้ การแทนด้วยเถ้าลอยในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลปริมาณเถ้าลอยมากในคอนกรีตบล็อกและ กระบวนการผลิตเป็นการบ่มในอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่ำส่งผลให้มีความพรุนและช่องว่างขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่ว สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความพรุนและกำลังอัดของ

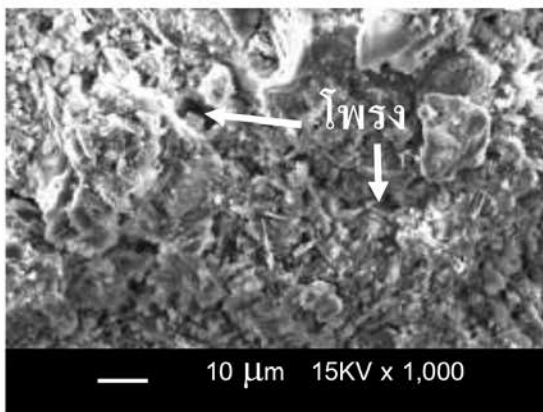
คอนกรีตบล็อกซึ่งได้รายงานมาก่อนหน้านี้ อีกประเด็นหนึ่งการใช้เถ้าลอยซึ่งไม่ได้คัดแยกขนาดผสมในคอนกรีตบล็อกส่งผลให้ปริมาณโพรงมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chindaprasirt และคณะ [27] ศึกษาเถ้าลอยที่ไม่ได้คัดแยกขนาดและมีอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้และพบว่า การแทนที่ด้วยเถ้าลอยในซีเมนต์-เพสต์ผสมด้วยเถ้าลอยไม่ได้คัดขนาดส่งผลให้ปริมาณโพรงทั้งหมดและโพรงคาบิลลารีสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้เถ้าลอยที่ไม่ได้คัดแยกขนาดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนส่งผลให้ปริมาณความพรุนของคอนกรีตบล็อกสูงกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม



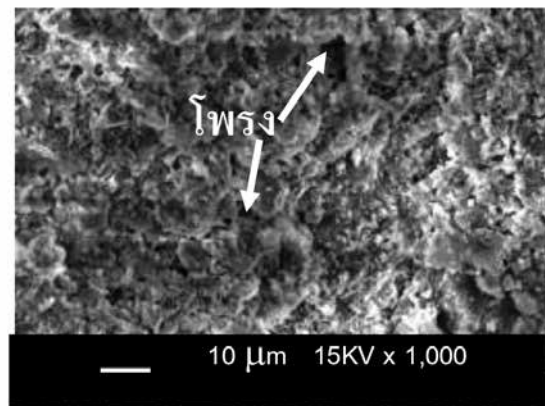
(ก) 0.9CT



(ข) 0.9FA10



(ค) 0.9FA20



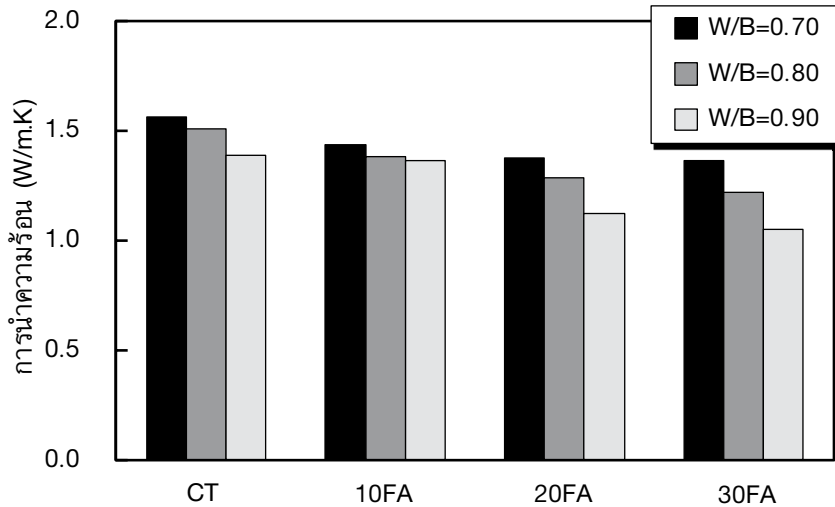
(ง) 0.9FA30

รูปที่ 6 ภาพขยาย Fractured Surface ของ คอนกรีตบล็อกที่อายุการปรม 28 วัน

3.6 การนำความร้อน

ผลของการแทนที่ของเถ้าลอยต่อการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแสดงในรูปที่ 7 พบว่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก 0.7CT 0.8CT และ 0.9CT มีค่าเท่ากับ 1.560 1.507 และ 1.388 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ตามลำดับ และการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก 0.7FA30 0.8FA30 และ 0.9FA30 มีค่าเท่ากับ 1.360 1.218 และ 1.050 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน หรือมีค่าร้อยละ 87 80 และ 76 ของคอนกรีตบล็อกควบคุม ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 ของวัสดุประสานมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Zhu คณะ

[14] พบว่าการนำความร้อนมีค่าระหว่าง 0.735-1.399 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน นอกจากนี้ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกลดลงด้วยการแทนที่เถ้าลอยในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากคอนกรีตผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้นทำให้ความพรุนเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Sutcu et al.[30] ได้รายงานการเพิ่มขึ้นของความพรุนส่งผลให้การนำความร้อนลดลง นอกจากนี้ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การนำความร้อนมีค่าลดลง เนื่องจากการอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความพรุนเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการศึกษาของ [31]



รูปที่ 7 ผลของการแทนที่ของเถ้าลอยต่อการนำความร้อนของคอนกรีตบดล็อก

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและการนำความร้อนของคอนกรีตบดล็อก พบว่าความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลงส่งผลต่อการนำความร้อนที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Posi และคณะ [3], Zhang และ Poon [5] และ Zaetang และคณะ [29] ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและการนำความร้อนของคอนกรีตบดล็อกสามารถแสดงในสมการที่ 3 ซึ่ง

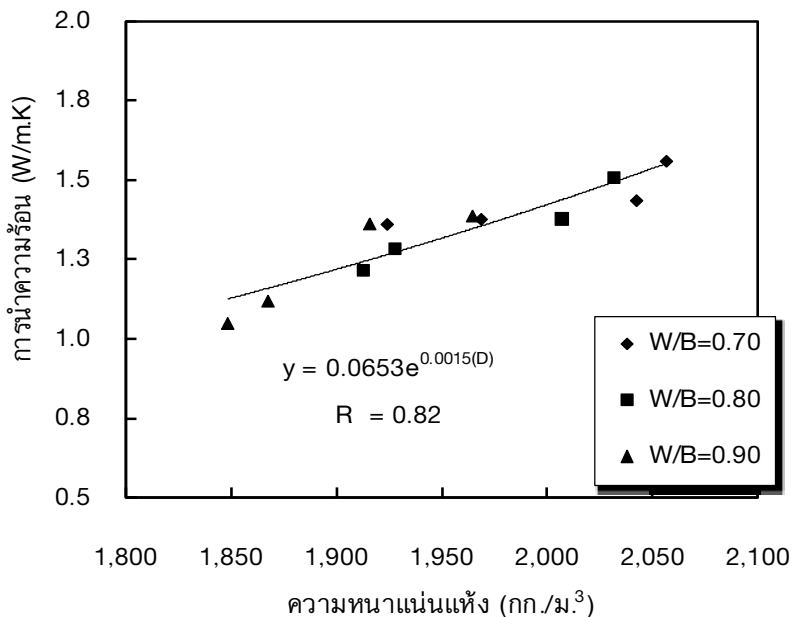
งานวิจัยนี้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C518

$$K = 0.0653e^{0.0015(D)} \quad (3)$$

เมื่อ

K คือการนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน)

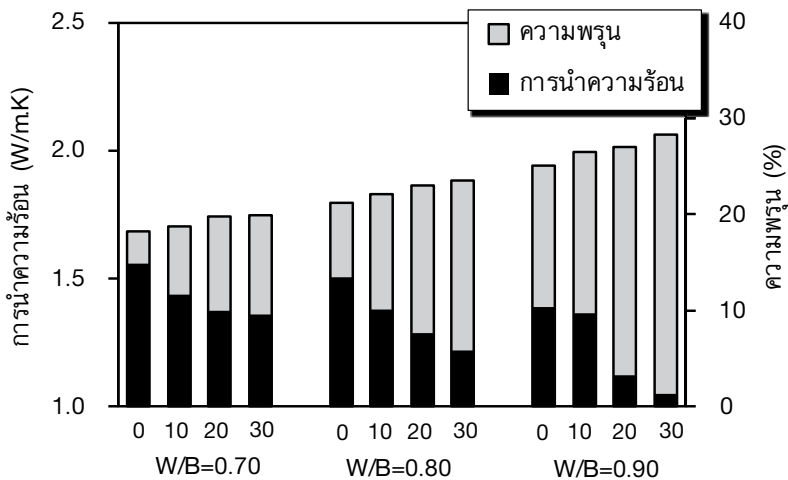
D คือความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบดล็อก (กก./ม.³)



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและการนำความร้อนของคอนกรีตบดล็อก

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 9 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานต่อการนำความร้อนและความพรุนของคอนกรีตบล็อกพบว่า การนำความร้อนมีค่าลดลงเมื่อความ

พรุนเพิ่มขึ้น [31] ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ความพรุน ความหนาแน่นแห้ง อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการนำความร้อน [4,25,30,31]



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนและการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก

3.7 การวิเคราะห์ราคา

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ราคาของคอนกรีตบล็อก โดยอัตราส่วนผสมวัสดุยึดประสาน : ทราย : หินปูนในอัตราส่วน 1 : 2 : 8 โดยน้ำหนัก ราคาที่แสดงเป็นเพียงราคาของวัสดุ พบว่าราคาคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 ราคาก้อนละ 2.14 บาทต่อก่อนขณะที่ราคาคอนกรีตบล็อกผสมที่ไม่ผสมเถ้าลอยราคา 2.37 บาทต่อก่อนลดจ้อยละ 10 ของคอนกรีตบล็อกควบคุมหรือลดจ้อยละ 0.23 บาทต่อก่อนแต่อย่างไรก็ตามหากเทียบกับ

อัตราการผลิตคอนกรีตบล็อกแบบเท้าเหยียบ 2,000 ก้อนต่อวันจะช่วยลดต้นทุนได้ถึงวันละ 460 บาทต่อวันหรือ 13,800 บาทต่อเดือนนอกจากนี้หากพิจารณาการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 เท่ากับ 1.050 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมเถ้าลอยเท่ากับ 1.388 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ลดจ้อยละ 25 ของคอนกรีตบล็อกควบคุม ดังนั้นการใช้คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยมีประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ราคาของคอนกรีตบล็อก

วัสดุ	วัสดุต่อก่อน [กก.(บาท/กก)]				ราคาต่อก่อน
	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	ทราย	หินปูน	
CT	0.630(2.20)	-	1.26(0.18)	5.04(0.15)	2.37
10FA	0.567(2.20)	0.063(1)	1.26(0.18)	5.04(0.15)	2.29
20FA	0.504(2.20)	0.118(1)	1.26(0.18)	5.04(0.15)	2.21
30FA	0.441(2.20)	0.189(1)	1.26(0.18)	5.04(0.15)	2.14

4. สรุปผล

1. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงด้วยการแทนที่เพิ่มขึ้นของเถ้าลอยเนื่องจากความว่างจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์นอกจากนี้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยลดลงด้วยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่เพิ่มขึ้น

2. การใช้เถ้าลอยผสมในคอนกรีตบล็อกส่งผลให้การดูดซึมน้ำและความพรุนเพิ่มด้วยการแทนที่เพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าลอย

3. คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยที่ร้อยละ 30 กำลังอัดที่อายุการบ่มในอากาศ 7 วันมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคาลที่อายุการบ่ม 28 วัน

4. การใช้เถ้าลอยผสมในคอนกรีตบล็อกส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดลงและค่าการนำความร้อนมีค่าลดลงด้วยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใช้เถ้าลอยผสมในคอนกรีตบล็อกทำให้ต้นทุนราคาในการผลิตคอนกรีตบล็อกลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกเลขที่สัญญาทุนที่ พ120/2557 คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ วิทยาเขตอุเทนถวาย สาขาวิศวกรรมโยธาที่อนุเคราะห์วัสดุและเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. Balaras, C.A., Drousa, K., Argiriou, A.A. and Asimakopoulos, D.N., 2000, "Potential for Energy Conservation in Apartment Buildings," *Energy and Buildings*, 31 (2), pp. 143-154.

2. Pluemrueai, S., 2012, The Development of Concrete Block Using Water Hyacinth, Master of Architecture Thesis, Department of Architecture Silpakorn University, p. 175 (In Thai).

3. Posi, P., Lertnimoolchai, S., Sata V., Phoo-ngernkham, T. and Chindapasirt, P., 2014, "Investigation of Properties of Lightweight Concrete

With Calcined Diatomite Aggregate," *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18 (5), pp. 1429-1435.

4. Zhu, L., Dai, J., Bai, G. and Zhang, F., 2015, "Study on Thermal Properties of Recycled Aggregate Concrete and Recycled Concrete Blocks," *Construction and Building Materials*, 94, pp. 620-628.

5. Zhang, B. and Poon, C.S., 2015, "Use of Furnace Bottom Ash for Producing Lightweight Aggregate Concrete With Thermal Insulation Properties," *Journal of Cleaner Production*, 99, pp. 94-100.

6. Narattha, C., Thongsanitgarn, P. and Chaipanich, A., 2015, "Thermogravimetry Analysis, Compressive Strength and Thermal Conductivity Tests of Non-autoclaved Aerated Portland Cement-Fly Ash-Silica Fume Concrete," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 122, pp. 1-10.

7. Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. and Meyer, L.A., 2007, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York.

8. Chindapasirt, P., Rukzon, S. and Sirivivatnanon, V., 2008, "Resistance to Chloride Penetration of Blended Portland Cement Mortar Containing Palm Oil Fuel Ash, Rice Husk Ash and Fly Ash," *Construction and Building Materials*, 22, pp. 932-938.

9. Jaturapitakkul, C. and Tangchirapat W., 2011, "Utilization of Ashes and Wastes from Industries for Use as Concrete Materials," The Thailand Research Fund, 3rd ed, pp. 2-3.

10. TIS 58-2533, 1990, Standard for Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units, Ministry of Industry, Thailand, 11 p. (in Thai).

11. Gündüz, L., 2008, "Use of Quartet Blends Containing Fly Ash, Scoria, Perlite Pumice and

Cement to Produce Cellular Hollow Lightweight Masonry Blocks for Non-Load Bearing Walls,” *Construction and Building Materials*, 22 (5), pp. 747-754.

12. Tongaroonsri, S. and Kunajamjarus, A., 2012, “Applications of Statistical Model in Proportioning of Concrete Block to Minimum Cost,” *Journal of Industrial Technology*, 8 (1), pp. 1-11. (In Thai)

13. Duangchan, A., 2006, Development of Bagasse Ash Concrete Block for Construction, Master of Engineering Thesis, Department of Civil Engineering, Kasetsart University, p. 145 (In Thai)

14. Chatveera, B., Jariyateeravate, S. and Makul, N., 2009, “Properties of Hollow Non-Load Bearing and Non-Moisture Controlling Concrete Block Containing Diatomite and Sugarcane Bagasse Ash,” *KMUTT Research and Development Journal*, 32 (1), pp. 399-408. (in Thai)

15. ASTM C618., 2001, “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete,” Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, pp. 310–313.

16. TIS. 566-2528, 1985, Standard for Concrete Aggregates, Thai Industrial Standard Institute, Ministry of Industry Thailand, 34 p. (In Thai).

17. ASTM C 138-92., 2002, “Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete,” Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.

18. ASTM C 20., 2000, “Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water,” Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.

19. TIS 109- 2517, 1974, Sampling and Testing Concrete Masonry Units, Thai Industrial Standard

Institute, Ministry of Industry, Thailand, 7 p. (In Thai).

20. Nochaiya, T., Sekine, Y., Choopun, S. and Chaipanich, A., 2015, “Microstructure, Characterizations, Functionality and Compressive Strength of Cement-Based Materials Using Zinc Oxide Nanoparticles as an Additive,” *Journal of Alloys and Compounds*, 630, pp. 1-10.

21. ASTM C-518., 2004, “Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of The Heat Flow Meter Apparatus,” *Annual Book ASTM Standards*, Vol. 04, pp. 153-167.

22. Zaetang, Y., Wongsas, A., Sata, V. and Chindaprasirt, P., 2015, “Use of Coal Ash as Geopolymer Binder and Coarse Aggregate in Pervious Concrete,” *Construction and Building Materials*, 96, pp. 289-295.

23. Chatveera, B., Makul, N. and Ruksadee, B., 2004, “Use of Unground Rice Husk Ash in Concrete Block Production,” *KMUTT Research and Development Journal*, 27 (4), pp. 483-496. (In Thai)

24. Wongkeo, W. and Chaipanich, A., 2010, “Compressive Strength, Microstructure and Thermal Analysis of Autoclaved and Air Cured Structural Lightweight Concrete Made with Coal Bottom Ash and Silica Fume,” *Materials Science and Engineering*, 527 (16–17), pp. 3676-3684.

25. Chen, X. and Wu, S., 2013, “Influence of Water-to-Cement Ratio and Curing Period on Pore Structure of Cement Mortar,” *Construction and Building Materials*, 38, pp. 804-812.

26. Torkittikul, P., Nochaiya, T., Wongkeo, W. and Chaipanich, A., 2015, “Utilization of Coal Bottom Ash to Improve Thermal Insulation of Construction Material,” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, pp. 1-13.

27. Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C. and

- Sinsiri, T., 2005, "Effect of Fly Ash Fineness on Compressive Strength and Pore Size of Blended Cement Paste," *Cement and Concrete Composites*, 27 (4), pp. 425-428.
28. Gencil, O., 2015, "Characteristics of Fired Clay Bricks With Pumice Additive," *Energy and Building*, 102, pp. 217-224.
29. Zaetang, Y., Wongsas, A., Sata, V. and Chindapasirt, P., 2013, "Use of Lightweight Aggregates in Pervious Concrete," *Construction and Building Materials*, 48, pp. 585-591.
30. Sutcu, M., Alptekin, H., Erdogmus, E., Er, Y. and Gencil, O., 2015, "Characteristics of Fired Clay Bricks With Waste Marble Powder Addition as Building Materials," *Construction and Building Materials*, 82, pp. 1-8.
31. Kim, K.H., Jeon, S.E., Kim, J.K., and Yang S., 2003, "An experimental Study on Thermal Conductivity of Concrete," *Cement and Concrete Research*, 33 (3), pp. 363-371.

