ผลของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติการต้านทานความร้อน และความแข็งแรงของอิฐมวลเบา

Effect of Moisture content in Lightweight concrete block for Thermal Conductivity and Compressive Strength Property

โกศัย เกียรติกูลานุสรณ์[1], บรรยงวุฒิ จุลละโพธิ[1], ธัชวีร์ ลีละวัฒน์[2]และ สราวุธ เวชกิจ[1]*

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
*ติดต่อ: sarawoot.wat@mahidol.ac.th, โทรศัพท์ 0-2889-2138 ต่อ 6009, โทรสาร 0-2889-2138 ต่อ 6429

บทคัดย่อ

อิฐมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ โดยเฉพาะการต้านทานความร้อน ซึ่งนิยมแสดงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) นอกจากนี้คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือค่าความต้านแรงอัด (Compressive strength) ซึ่งหากอิฐมวลเบามีค่าดังกล่าวสูงจะทำให้ผนังมีความแข็งแรงและรับน้ำหนักได้ดี อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นในเนื้อคอนกรีตของอิฐมวลเบาจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความต้านแรงอัด รายงานฉบับนี้เป็นผลการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความต้านแรงอัด เมื่อปริมาณความชื้นในเนื้อคอนกรีตของอิฐมวลเบาเปลี่ยนแปลง ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความชื้นในเนื้อคอนกรีตของอิฐมวลเบาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งนั่นหมายถึงการต้านทานความร้อนที่น้อยลง นอกจากนี้ความชื้นยังส่งผลให้ค่าความต้านแรงอัดน้อยลงด้วย ผลการศึกษายังแสดงค่าความชื้นที่ยอมรับได้ของอิฐมวลเบาที่จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความต้านแรงอัดอยู่ในระดับที่เหมาะสม

คำหลัก: อิฐมวลเบา , ความชื้น , สัมประสิทธิ์การนำความร้อน , ความต้านแรงอัด

Abstract

Lightweight concrete block is a useful material for construction, because this concrete has ability to slowdown the heat rate between outside ambient temperatures and inside temperature under air-conditions system. The essential properties of light-weight concrete are thermal conductivity and compressive strength. If light-weight concrete has small value of thermal conductivity that material can hold and slowdown the heat rate transfer from outside to inside. In addition, the high value of compressive strength is stand for the ability to support weight of construction part. However, moisture content in lightweight can affect the properties of material. This work focus on the values of thermal conductivity and compressive strength due to moisture content level in lightweight concrete. From the experimental study, the high values of thermal conductivity and low values of compressive strength created by high value of moisture content in lightweight concrete. The optimal level of moisture content in

lightweight concrete for optimal values of thermal conductivity and compressive strength is present in this work.

***Keywords**:* Lightweight concrete, Moisture content, Thermal conductivity, Compressive strength

1. บทนำ

ปัญหาประการหนึ่งของการใช้งานอิฐมวลเบา คือ มีการดูดซับความชื้นค่อนข้างสูง และมีข้อกังขาที่ยังถกเถียงกันในวงกว้างว่าหากอิฐมวลเบามีความชื้นสะสมอยู่ จะทำให้คุณสมบัติของอิฐมวลเบาเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ซึ่งการศึกษานี้มุ่งประเด็นไปที่คุณสมบัติการต้านทานความร้อนและความแข็งแรง เนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่สำคัญทางด้านวิศวกรรม และในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจนถึงปริมาณความชื้นที่เหมาะสมซึ่งอิฐมวลเบายังคงมีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนและความแข็งแรงที่ดี ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติการต้านทานความร้อน และความแข็งแรงจะทำให้ทราบถึงปริมาณความชื้นที่เหมาะสมดังกล่าว โดยผลการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลให้สถาปนิกและวิศวกรพิจารณาการใช้งานอิฐมวลเบาได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับบริเวณของอาคารที่อาจมีความชื้นสูง นอกจากนี้ผลการศึกษาดังกล่าวยังเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต ในด้านการพัฒนาการผลิตอิฐมวลเบาให้ทนต่อความชื้นอีกด้วย

บทความนี้กล่าวถึงการศึกษาผลของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติการต้านทานความร้อน และความแข็งแรงของอิฐมวลเบา โดยพิจารณาอิฐมวลเบาประเภทมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Aerated Autoclaved Concrete, AAC) ชั้นคุณภาพ 4 ขนาดความหนา 7.5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.1505-2541[1] เนื่องจากเป็นอิฐมวลเบาที่มีการใช้งานมากที่สุด [2] นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงค่าความชื้นที่ยอมรับได้ของอิฐมวลเบาที่จะทำให้การต้านทานความร้อนและความแข็งแรงอยู่ในระดับที่เหมาะสม

2. คุณสมบัติของอิฐมวลเบา

อิฐมวลเบามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ แต่เมื่อพิจารณาทางด้านวิศวกรรมจะพบว่าการต้านทานความร้อน (ซึ่งแสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน) และความแข็งแรง (ซึ่งแสดงโดยค่าความต้านแรงอัด) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของอิฐมวลเบา หากพิจารณาในด้านการต้านทานความร้อน อิฐมวลเบาควรมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ และหากพิจารณาในด้านความแข็งแรง อิฐมวลเบาควรมีค่าความต้านแรงอัดสูง แต่ความชื้นจะทำให้คุณสมบัติทั้งสองเปลี่ยนแปลงไป โดยความชื้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงขึ้นและค่าความต้านแรงอัดต่ำลง ซึ่งเป็นผลเสียทั้งในด้านการต้านทานความร้อนและความแข็งแรง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าความต้านแรงอัดมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity)

การนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนของวัสดุสามารถเป็นไปได้สองกลไกคือ การนำความร้อนโดยการสั่นของอะตอมและแลตทิซ (Lattice vibration) ซึ่งสามารถเกิดได้ในวัสดุทุกชนิด และการนำความร้อนของอิเล็กตรอน (electron conduction) คือการนำความร้อนโดยอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่ไปมาและนำพลังงานความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับการนำความร้อนโดยกลไกนี้จะมีเฉพาะในโลหะเท่านั้นเพราะโลหะจะมีพันธะโลหะซึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ด้วย การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็น

หนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อนในวัสดุ ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity, k) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนถูกเรียกโดยทั่วไปว่าค่าการนำความร้อน มีหน่วยเป็น W/m.K [3]

$$q = kA\frac{\Delta T}{\Delta x} \qquad (1)$$

โดย q คือการถ่ายเทความร้อน (W)

A คือพื้นที่หน้าตัดที่เกิดความร้อนถ่ายเท(m^2)

ΔT คืออุณหภูมิแตกต่างระหว่างพื้นผิววัสดุ(K)

Δx คือความหนาของวัสดุ (m)

k คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)

สมการที่ (1) จะสามารถนำมาใช้เป็นหลักการในการทดสอบได้ในกรณีที่เกิดการถ่ายเทความร้อนในสภาวะคงที่ (steady-state condition) คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวของวัสดุ (ΔT คงที่) ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุซึ่งสามารถแสดงในรูปความต้านทานความร้อน (Thermal resistance, R-Value) ได้ดังสมการ (2)

$$R = \frac{\Delta x}{k} \qquad (2)$$

2.2 ความต้านแรงอัด (Compressive strength)

ความต้านแรงอัด เป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งที่แสดงถึงความแข็งแรงของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ กำลังของมอร์ตาร์ กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับผิวของมวลรวม โดยกำลังของมอร์ตาร์ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะมีความสำคัญอย่างมากต่อความต้านแรงอัดของคอนกรีต[4] เนื่องจากวิวัฒนาการทางวิชาการของคอนกรีตได้พัฒนาไปมาก จึงทำให้ปัจจุบันนี้สามารถผลิตคอนกรีตที่มีความต้านแรงอัดมากกว่า 700 kg/cm^2 อย่างไรก็ตามคอนกรีตในงานก่อสร้างในประเทศไทยยังมีความต้านแรงอัดไม่สูงมาก คือมีประมาณ 100-450 kg/cm^2 สำหรับคอนกรีตทรงลูกบาศก์ และ 80-400 kg/cm^2 สำหรับคอนกรีตทรงกระบอก[5] ส่วนความต้านแรงอัดของอิฐมวลเบาตามมาตรฐาน มอก.1505-2541 มีค่าดังตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการแบ่งชั้นคุณภาพออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพตามค่าต่ำสุดของความต้านแรงอัดในหน่วย N/mm^2

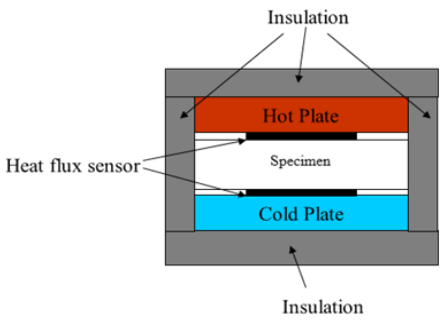
ตารางที่ 1 ความต้านแรงอัดของอิฐมวลเบาตามมาตรฐาน มอก.1505-2541

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัด (N/mm^2 (kg/cm^2))	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด
2	2.5 (25.49)	2.0 (20.39)
4	5.0 (50.99)	4.0 (40.79)
6	7.5 (76.48)	6.0 (61.18)
8	10.0 (101.97)	8.0 (81.58)

3. การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความต้านแรงอัด

3.1 มาตรฐานการทดสอบ

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน ISO 8301 [6] เนื่องจากเป็นมาตรฐานสากลที่นิยมนำมาใช้อ้างอิงในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ โดยมาตรฐานดังกล่าวมีหลักในการทดสอบคือการวัดการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูง (แผ่นร้อน) ผ่านตัวอย่างทดสอบไปสู่แหล่งอุณหภูมิต่ำ (แผ่นเย็น) ดังแสดงในรูปที่ 1



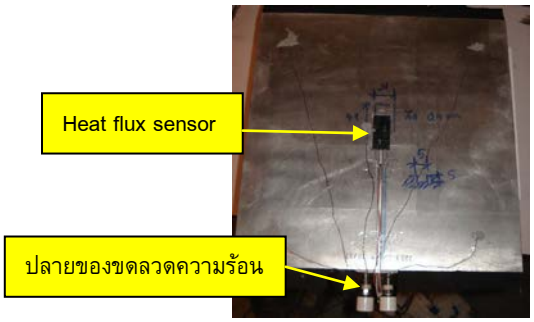
รูปที่ 1 หลักการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 8301

ส่วนการทดสอบหาค่าความต้านแรงอัดได้อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน มอก.1505-2541 ซึ่งมีหลักในการทดสอบคือการกดตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งแตกเสียหายแล้วบันทึกค่าแรงอัดสูงสุด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

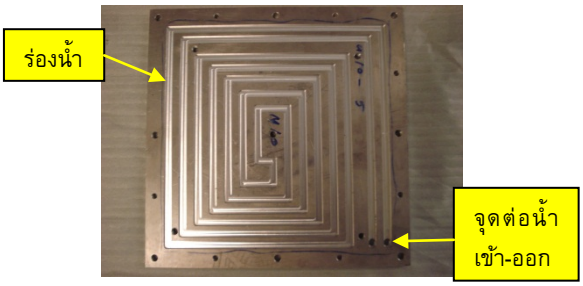
ผู้ศึกษาได้ดำเนินการสร้างชุดทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 8301 ซึ่งมีอุปกรณ์และเครื่องมือที่สำคัญดังนี้

1) แผ่นร้อน (Hot plate) ทำหน้าที่เป็นแหล่งอุณหภูมิสูง ทำจาก Aluminum หล่อขึ้นรูป ขนาด 300 x 300 mm ภายในมีขดลวดความร้อนที่ถูกควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ solid state relay ลักษณะของแผ่นร้อนแสดงดังรูปที่ 2

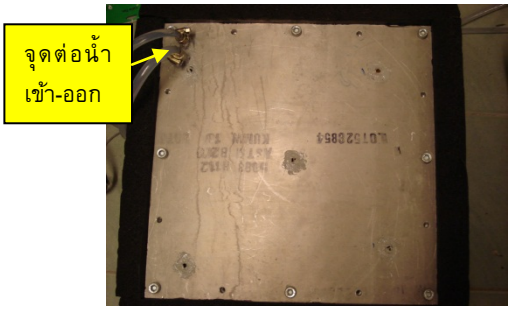


รูปที่ 2 ลักษณะของแผ่นร้อน

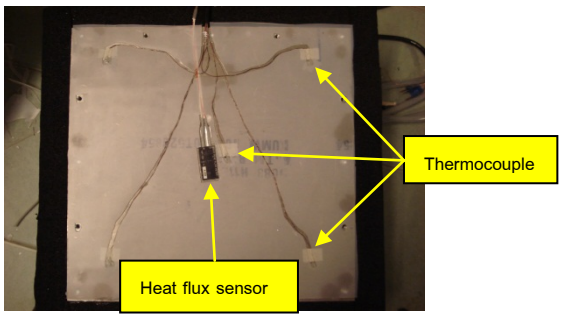
2) แผ่นเย็น (Cold plate) ทำหน้าที่เป็นแหล่งอุณหภูมิต่ำ ทำจาก Aluminum Alloy ขนาด 300 x 300 mm ภายในถูกกัดเป็นร่องเพื่อใช้เป็นทางเดินของน้ำเย็นไหลวนอยู่ภายในแผ่น เพื่อรักษาอุณหภูมิของแผ่นเย็นตามที่กำหนด (น้ำจะถูกรักษาอุณหภูมิให้เย็นโดยใช้ Cooling Bath) ลักษณะของแผ่นเย็นแสดงดังรูปที่ 3



(ก) ลักษณะด้านในของแผ่นเย็น



(ข) ลักษณะด้านหลังของแผ่นเย็น



(ค) ลักษณะด้านหน้าของแผ่นเย็น

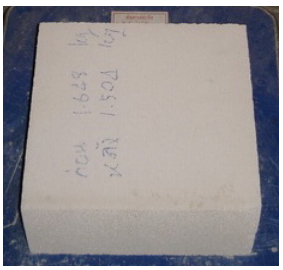
รูปที่ 3 ลักษณะของแผ่นเย็น

3) Heat flux sensor (ยี่ห้อ EKO รุ่น MF-180) ทำหน้าที่วัดการถ่ายเทความร้อน ติดตั้งตรงกลางของแผ่นร้อนและแผ่นเย็น ในลักษณะฝังที่ผิวของแผ่น ดังรูปที่ 3(ค)

4) Thermocouple (Type T) ใช้ในการวัดอุณหภูมิแผ่นร้อน แผ่นเย็น และตัวอย่างทดสอบ ติดตั้งที่ผิวของแผ่นร้อนและแผ่นเย็น แผ่นละ 5 จุด ประกอบด้วยตรงกลาง 1 จุด และมุมด้านข้าง 4 จุด ดังรูปที่ 3(ค)

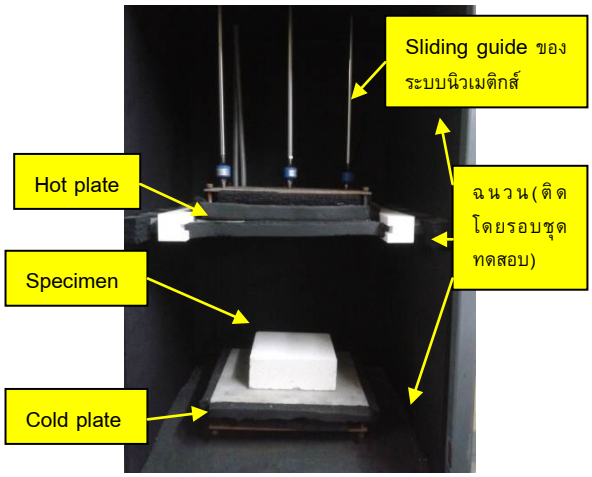
5) Data logger (ยี่ห้อ Wisco รุ่น DL2200) ใช้ในการบันทึกและแสดงผลการวัด

6) ตัวอย่างทดสอบเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20 x 20 cm หนา 7.5 cm ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างทดสอบ

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สำหรับการทดสอบหาค่าความต้านแรงอัดใช้เครื่องทดสอบยี่ห้อ ELE รุ่น Autotest3000 ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบแบบ Auto Compression โดยใช้ระบบ Hydraulics ในการกดตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 เครื่องทดสอบค่าความต้านแรงอัด

3.3 วิธีการทดสอบ

1) เตรียมตัวอย่างทดสอบให้มีความชื้น 0%, 20% , 40% และ ความชื้นอิ่มตัว (60%) โดยน้ำหนักด้วยการนำตัวอย่างแช่น้ำและอบจนกระทั่งได้ปริมาณความชื้นตามกำหนด ทั้งนี้ในแต่ละความชื้นใช้ตัวอย่างทดสอบ 1 ตัวอย่าง เนื่องจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธี Gauge Repeatability and Reproducibility (GRR) พบว่า Repeatability อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (22.3 %) ดังนั้นการใช้ตัวอย่างทดสอบเพียง 1 ตัวอย่าง ก็เพียงพอสำหรับการนำผลการทดสอบไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2) ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดตัวอย่างทดสอบ แล้วคำนวณหาความหนาแน่น

3) ตั้งอุณหภูมิแผ่นร้อนที่ 50 ºC และแผ่นเย็น 20 ºC

4) นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยใช้ระบบนิวเมติกส์ประกบแผ่นร้อน แผ่นเย็น และตัวอย่างทดสอบให้แนบสนิท ทำการทดสอบจนกระทั่งอุณหภูมิและปริมาณการถ่ายเทความร้อนคงที่ (Steady-state condition) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง จึงนำค่าที่ได้จาก Data logger มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

5) เมื่อทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเสร็จแล้ว นำตัวอย่างไปทดสอบค่าความต้านแรงอัด

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

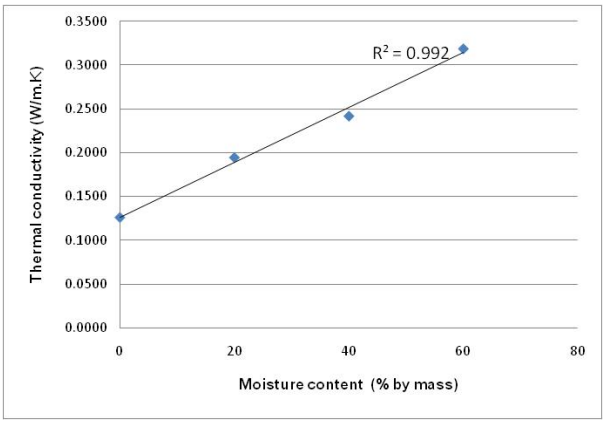
ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบ

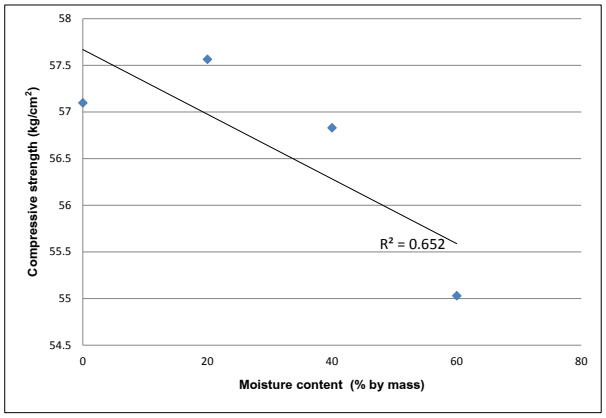
เมื่อทำการทดสอบตามวิธีการในข้อ 3.3 ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 จากตารางจะเห็นได้ว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนค่าความต้านแรงอัดจะลดลง แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับค่าความต้านแรงอัด แสดงดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความต้านแรงอัด

Moisture content (% by mass)	Density (kg/m^3)	Thermal conductivity (W/m.K)	Compressive strength (kg/cm^2)
0	581.33	0.1256	57.10
20	702.00	0.1943	57.56
40	857.67	0.2418	56.83
60	964.00	0.3189	55.03



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับค่าความต้านแรงอัด

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นอย่างชัดเจน (R^2 = 0.992) โดยในสภาวะที่มีความชื้นอิ่มตัว (60%) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 154% นั่นแสดงให้เห็นว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น 1% จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพิ่มขึ้น 2.6% สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความต้านแรงอัดพบว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นค่าความต้านแรงอัดมีแนวโน้มลดลง โดยในสภาวะที่มีความชื้นอิ่มตัว (60%) ค่าความต้านแรงอัดลดลงต่ำที่สุดเพียง 3.6% นั่นแสดงให้เห็นว่าความชื้นส่งผลต่อความแข็งแรงของอิฐมวลเบาในสัดส่วนที่น้อยมาก อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบความต้านแรงอัด มีความผันแปรของการวัดค่อนข้างมาก ประกอบกับเกิดปัญหาและอุปสรรคในการใช้เครื่องทดสอบ จึงทำให้ผลการทดสอบมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามผลการทดสอบดังกล่าวก็เพียงพอต่อการวิเคราะห์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับค่าความต้านแรงอัดดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

5. สรุปผลการศึกษา

จากผลศึกษาดังที่ได้กล่าวไปแล้วสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1) อิฐมวลเบามีความชื้นอิ่มตัวประมาณ 60% โดยน้ำหนัก

2) ความชื้นส่งผลอย่างมากต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอิฐมวลเบา โดยเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น 1% จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพิ่มขึ้น 2.6% ซึ่งนั่นหมายถึงอิฐมวลเบาจะสูญเสียคุณสมบัติการต้านทานความร้อนเมื่อมีความชื้นสะสมอยู่ภายใน

3) ความชื้นส่งผลต่อความแข็งแรงของอิฐมวลเบาในสัดส่วนที่น้อยมาก โดยในสภาวะที่มีความชื้นอิ่มตัวค่าความต้านแรงอัดลดลงต่ำที่สุดเพียง 3.6%

4) เมื่อพิจารณาทั้งในด้านการต้านทานความร้อนและความแข็งแรง รวมถึงการพิจารณามาตรฐาน มอก.2510-2541[7] ซึ่งมีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสำหรับอิฐมวลเบาชั้นคุณภาพ 4 ต้องไม่เกิน 0.205 W/m.K และความต้านแรงอัดต้องไม่น้อยกว่า 40.79 kg/cm^2 ดังนั้นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 20% จึงจะสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว ด้วยเหตุนี้ในการใช้งานควรหลีกเลี่ยงการใช้อิฐมวลเบาในบริเวณที่มีความชื้นสูง เช่น ผนังห้องน้ำ เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ โครงการศูนย์วิจัยและปฏิบัติการทดสอบพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล และภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องทดสอบ ในการทำวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] มอก.1505-2541 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[2] โครงการศูนย์วิจัยและปฏิบัติการทดสอบพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (2555). รายงานฉบับสมบูรณ์, โครงการศึกษาผนังสำเร็จรูปและอิฐมวลเบาเพื่อจัดทำร่างกฎกระทรวงเฉพาะด้านประสิทธิภาพพลังงานตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2550, หน้า 3-45

[3] Frank P.Incropera and David P.DeWitt (1996). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York.

[4] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2543). คอนกรีตเทคโนโลยี, ISBN 974-89093-7-9 , กรุงเทพฯ: เครือซิเมนต์ไทย

[5] มอก.213-2552 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[6] ISO 8301, Thermal insulation – Determination of steady – state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus, International Organization for Standardization.

[7] มอก.2510-2541 แผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม