การพัฒนาคอนกรีตบล็อกระบบเซลลูลาร์ด้วยส่วนผสมจากขุยมะพร้าว เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติฉนวนกันความร้อน

DEVELOPMENT OF CLC BLOCK WITH COCONUT COIR PITH MIXTURE FOR HEAT INSULATION IMPROVEMENT

ธรรมศร เชียงทองสุข[1],จิระภา มาพงษ์[1], ธารารัตน์ แก้วสกุลณี[1] และ อำพน จรัสจรุงเกียรติ[1,*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย
[*]Corresponding author address: amphon.ja@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่มีฉนวนกันความร้อน และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ ในงานวิจัยนี้ได้นำคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์และขุยมะพร้าวมารวมกัน เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ วัสดุทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี โดยเฉพาะขุยมะพร้าว ขุยมะพร้าวมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน = 0.023 (W/m-K) จึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี เมื่อใช้ขุยมะพร้าวจะสามารถลดปริมาณวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์ เช่นปูนซีเมนต์และทราย และยังสามารถลดปริมาณความร้อนที่แพร่เข้าสู่อาคารได้มากกว่าวัสดุก่อสร้างทั่วไป การทดสอบใช้มาตรฐานมอก. 2601 - 2556 เพื่อควบคุมการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาร์ และทดสอบการนำความร้อน (การนำความร้อน, K, ASTM C518) ผลที่ได้คือคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์เมื่อนำผสมกับขุยมะพร้าวทำให้มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนได้ดีมากขึ้น

คำสำคัญ: *คอนกรีตมวลเบา,ขุยมะพร้าว,เศษวัสดุเหลือใช้*

Abstract

This research applied aerated concrete technology. It aims to create new products that are more insulating and add value to the waste material. In this research, aerated concrete and coconut coir pith were combined to meet the objective. Both materials have good heat insulation properties, especially coconut coir pith. Coconut Coir pith has a coefficient of thermal conductivity = 0.023 (W/m-K), so it is good insulation. When using coconut coir pith, it can reduce the amount of materials in the production of high-priced aerated concrete, such as cement and sand, and reduce the amount of heat that spreads into the building than conventional building materials. The test is used TIS 2601 - 2013 standard to control the production of cellular lightweight concrete system and to test the thermal conductivity (Thermal conductivity, K, ASTM C518). The result was that cellular lightweight concrete with coconut coir pith was effective in reducing heat effectively.

Keywords: *Lightweight Concrete, Coconut Coir Pith, Waste Materials*

1. บทนำ

คอนกรีตมวลเบาคือคอนกรีตที่มีน้ำหนักต่อหน่วยน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตมวลเบาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติเช่นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทรายปูนขาวมะพร้าวมะพร้าวน้ำน้ำยาผสมอากาศและสารออกแบบในสูตรเฉพาะ โดยปกติคอนกรีตจะมีน้ำหนักต่อหน่วยประมาณ 2300 กก. / ลบ.ม. ในสภาพแห้ง แต่คอนกรีตมวลเบาเช่น CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE (CLC) มีน้ำหนักหน่วยแห้งระหว่าง 600 - 1600 กก. / ลบ.ม.

ในปัจจุบันมีการพัฒนานวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง ในทางเศรษฐศาสตร์ของประเทศไทยการประหยัดต้นทุนมีความสำคัญมาก ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาจึงถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการนี้ เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์มีสารประกอบพิเศษที่ทำให้น้ำหนักเบา วิธีนี้จะช่วยลดปริมาณวัสดุเช่นปูนซีเมนต์และทราย ยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนมากกว่าอิฐอื่น ๆ อีกด้วย จากนั้นผู้วิจัยได้เห็นข้อดีของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ และวัสดุเหลือใช้คือเศษมะพร้าวที่มีฉนวนกันความร้อนที่ดี เมื่อรวมคุณสมบัติของทั้งสองอย่างเข้าด้วยกันนักวิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญของขุยมะพร้าวกับชิ้นส่วนคอนกรีตเป็นวัสดุรวมที่ใช้ในบล็อกคอนกรีตเพื่อนำประโยชน์ของ CLC มาใช้ในการพัฒนาบล็อกคอนกรีตใหม่เป็นทางเลือกสำหรับวัสดุก่อสร้าง

2. วิธีการดำเนินการ

การศึกษานี้ได้ทำการรวมขุยมะพร้าวกับคอนกรีตบล็อก CLC เข้าด้วยกัน ขนาดของชิ้นงานที่นำมาทดสอบระบุเป็นลูกบาศก์ขนาด 15 ซม. × 15 ซม. × 15 ซม. ออกแบบอัตราส่วนส่วนผสมจาก 3 การทดลอง

1. หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

อัตราส่วนผสมเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม			
no	W/C ratio	S/C ratio	โฟม (%)
1	0.65	1	80
2	0.65	1	120
3	0.65	1	160
4	0.65	2	120
5	0.7	1	80
6	0.7	1	120
7	0.7	1	160
8	0.75	1	80

2.หาอัตราส่วนผสมของขุยมะพร้าว

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมเพื่อหาขนาดของขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

อัตราส่วนผสมเพื่อหาขนาดของขุยมะพร้าวที่เหมาะสม	
W/C ratio	0.65
S/C ratio	1
โฟม (%)	120 %
ขุยมะพร้าวสับ	
- ค้างตะแกรงเบอร์ 10	
- ค้างตะแกรงเบอร์ 20	20 %
- ค้างตะแกรงเบอร์ 40	
- ฝุ่นมะพร้าวและใย	

3. หา % ที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวโดยแทนที่ขุยมะพร้าวที่ 20, 30, *40, 50 และ 60%* จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดเข้ารับการทดสอบตามมาตรฐานมอก 2556 - 2601 .เพื่อยืนยันว่าบล็อก CLC ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการก่อสร้างและทำการทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อน.

2.1. กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อก

2.1.1. เตรียมส่วนผสมสำหรับคอนกรีตมวลเบา: ปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด น้ำ ขุยมะพร้าวและโฟมตามอัตราส่วนผสมที่กำหนด

2.1.2. ผสมปูนซีเมนต์ ทรายและขุยมะพร้าวให้เข้ากันก่อน จากนั้นทำการเติมน้ำลงไปผสม จนส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นใส่โฟม

2.1.3. ใส่ส่วนผสมลงในโมลที่เตรียมไว้ จากนั้นทำความสะอาดพื้นผิวให้เรียบ

2.1.4. บ่มน้ำ 3 วันจากนั้นนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ เพื่อหาอัตราการดูดซึมความหนาแน่นและกำลังอัด

2.1.5. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

รูปที่ 1 ขุยมะพร้าวที่ค้างตะแกรงเบอร์ 40

รูปที่ 2 ตัวอย่างเป็นลูกบาศก์ขนาด 15 ซม. × 15 ซม. × 15 ซม.

2.2. อัตราการดูดซึมน้ำ

นำตัวอย่างออกมาจากการบ่มจากนั้นทำให้ตัวอย่างผิวแห้ง ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างเพื่อเก็บน้ำหนักสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และนำตัวอย่างไปทำการอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงในอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้แห้งสนิทจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักสภาพผิวแห้ง หลังจากนั้นคำนวณอัตราการดูดซึมน้ำตามสมการด้านล่าง

$$\%W = [\frac{SW\text{-}DW}{DW}] \times 100\ \% \quad (1)$$

- SW : น้ำหนักในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง, kg
- DW : น้ำหนักในสภาพผิวแห้ง, kg
- %W : อัตราการดูดซึมน้ำ, %

2.3. แรงอัด

1.) ทำการวัดตัวอย่างความกว้าง ความยาว และความสูงโดยเวอร์เนียคาลิปเปอร์

2.) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและจดบันทึก

3.) การติดตั้งตัวอย่างลงในเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

4.) ใช้การบีบอัดกับชิ้นงานในอัตราคงที่ในช่วง 0.14 - 0.34 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาทีจนถึงจุดวิบัติ และรวบรวมข้อมูลกำลังอัดเพื่อคำนวณความเค้นอัด จากสมการที่ (2) ที่ได้แสดง

$$\sigma = F / (L \times W) \quad (2)$$

โดยที่

- W: ความกว้างของตัวอย่าง (ซม.)
- L: ความยาวของตัวอย่าง (ซม.)
- F: แรงอัด (กก.)
- σ: กำลังอัด (ksc.)

รูปที่ 3 ตัวอย่างระบุเป็นลูกบาศก์ขนาด 15 ซม.×15 ซม.×15 ซม.

รูปที่ 4 ตัวอย่างขนาดจริงขนาด 60 ซม. × 20 ซม. × 7.5 ซม.

2.4. การทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อน

เมื่อเทียบกับคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกที่มีจำหน่ายทั่วไป ทดสอบโดยกล่องทดลองสี่เหลี่ยมติดตั้ง Data Logger (ยี่ห้อ TDS) และสายเคเบิล Thermocouple Type - T รวบรวมข้อมูลการวัดอุณหภูมิในจุดต่างๆและเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์การวัดแบบคงที่ TDS-7130v2 Ver.2.2

รูปที่ 5 โมเดล: การทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อน

3. ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

3.1. ผลที่ได้จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

จากการศึกษาและทดสอบได้ผลดังนี้ ผลการทดลองจากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกราฟความหนาแน่นพบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ W/C ratio = 0.65 S/C ratio = 1 โฟม = 120% เนื่องจากขุยมะพร้าวมีการดูดน้ำเข้าไปมาก จึงทำการเลือกสูตรที่มีอัตราการดูดซึมต่ำไว้ก่อน ที่มีความหนาแน่น = 1198 kg/m^3 กำลังรับแรงอัด = 44.48 ksc อัตราการดูดซึมน้ำ =19.86 %

ตารางที่ 3 ผลจากการทดลองใช้มาตรฐานมอก. 2601 - 2556 C12

No.	ความหนาแน่น (kg/m^3)	กำลังรับแรงอัด (ksc)	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
1	1481	87.51	16.23
2	1198	44.48	19.86
3	1184	47.63	21.99
4	1223	41.91	19.38
5	1385	63.50	18.50
6	1219	48.10	22.06
7	1129	39.36	22.94
8	1398	81.77	18.50
	< 1200	> 25.5	< 23

3.2. ผลที่ได้จากการหาอัตราส่วนผสมของขุยมะพร้าว

เมื่อนำสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ W/C ratio = 0.65 S/C ratio = 1 โฟม = 120% มาทำการหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสมที่สุด ผลที่ได้มีดังนี้

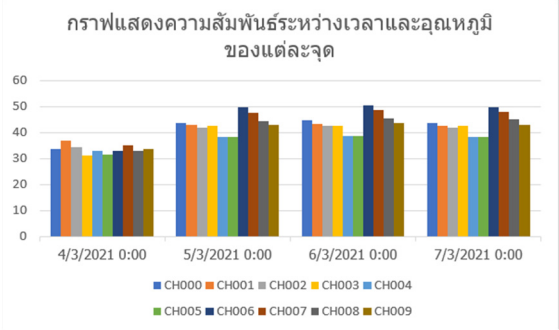
ตารางที่ 4 ผลที่ได้จากการหาอัตราส่วนผสมของขุยมะพร้าว

ผลที่ได้จากการหาอัตราส่วนผสมของขุยมะพร้าวที่เหมาะสม				
no	ขุยมะพร้าว (%)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	กำลังรับแรงอัด (ksc)	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
1	20	1144	36.02	22.922
2	30	1089	45.68	23.200
3	40	1010	39.35	26.595
4	50	1127	36.82	23.977
5	60	1061	45.14	25.133
C12		< 1200	> 25.5	< 23

การทดสอบหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวได้สูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือ ใช้ขุยมะพร้าว 20 % ค่าที่ได้คือ ความหนาแน่น = 1144 kg/m^3 กำลังรับแรงอัด = 36.02 ksc อัตราการดูดซึมน้ำ =22.92 %

3.3. ผลที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อน

จากการทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อนที่ได้จากการนำตัวอย่างที่ได้จากการหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือสูตร W/C ratio = 0.65 S/C ratio = 1 โฟม = 120% ขุยมะพร้าว = 20 % นำมาเทียบกับคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกที่มีจำหน่ายทั่วไป ทดสอบโดยกล่องทดลองสี่เหลี่ยมติดตั้ง Data Logger (ยี่ห้อ TDS) และสายเคเบิล Thermocouple Type - T รวบรวมข้อมูลการวัดอุณหภูมิในจุดต่างๆคือ ผิวภายนอก ผิวภายใน และกลางกล่อง ได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย

โดย

CH000 = อุณหภูมิผิวภายนอก ของตัวอย่างทดสอบ
CH001 = อุณหภูมิผิวภายใน ของตัวอย่างทดสอบ
CH002 = อุณหภูมิกลางกล่อง ของตัวอย่างทดสอบ
CH003 = อุณหภูมิผิวภายนอก ของคอนกรีตมวลเบา
CH004 = อุณหภูมิผิวภายใน ของคอนกรีตมวลเบา
CH005 = อุณหภูมิกลางกล่อง ของคอนกรีตมวลเบา
CH006 = อุณหภูมิผิวภายนอก ของคอนกรีตบล็อก
CH007 = อุณหภูมิผิวภายใน ของคอนกรีตบล็อก
CH008 = อุณหภูมิกลางกล่อง ของคอนกรีตบล็อก
CH009 = อุณหภูมิภายนอก

จากการทดลองพบว่า คอนกรีตมวลเบาลดอุณหภูมิ> คอนกรีต CLC ผสมขุยมะพร้าว > อุณหภูมิภายนอก > คอนกรีตบล็อก ตามลำดับ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าคอนกรีตมวลเบาสูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601 - 2556 (C12) คือสูตร W/C ratio = 0.65 S/C ratio = 1 โฟม = 120% ที่ได้ค่าจากการทดลองดังนี้ มีความหนาแน่น = 1198 kg/m^3 กำลังรับแรงอัด = 44.48 ksc อัตราการดูดซึมน้ำ =19.86 % เมื่อ นำมาใส่ขุยมะพร้าว 20% ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างตะแกรงเบอร์ 40 ค่าที่ได้คือ ความหนาแน่น = 1144 kg/m^3 กำลังรับแรงอัด = 36.02 ksc อัตราการดูดซึมน้ำ =22.92 % มีค่าผ่าน มอก. 2601 - 2556 (C12) เมื่อนำไปทำการทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อน ช่วงเวลาที่ได้รับแสง (8:00-16:59) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในกล่องตัวอย่างทดลอง, คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อก มีค่า 37.02, 34.38, และ 39.09 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเทียบกับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่เท่ากับ 38.02 องศาเซลเซียส พบว่า คอนกรีต CLC ที่ผสมขุยมะพร้าว ลดอุณหภูมิได้น้อยกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีขายตามท้องตลาด เนื่องจากคอนกรีต CLC ที่นำมาเทียบมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่า ยิ่งมีความหนาแน่นน้อยยิ่งสามารถลดอุณหภูมิได้มากขึ้น แต่คอนกรีต CLC ที่ผสมขุยมะพร้าวสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าคอนกรีตบล็อก เนื่องจากคอนกรีตบล็อกมีการดูดความร้อนมาสะสมไว้ ทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก นอกจากนี้ คอนกรีต CLC ที่ผสมขุยมะพร้าว ยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง ทำให้ราคาต่อก้อนมีราคาถูกกว่าคอนกรีตมวลเบาตามท้องตลาด โดยที่ราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบในการผลิต ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3.06 บาท/ก้อน ทรายละเอียด 2.036 บาท/ก้อน น้ำ 0.0149 บาท/ก้อน สารทำฟอง 0.02 บาท/ก้อน และขุยมะพร้าว 0.568 บาท/ก้อน อีกทั้งคอนกรีต CLC ที่ผสมขุยมะพร้าว ยังมีกระบวณการผลิตที่ง่าย ไม่ซับซ้อนเท่าคอนกรีตมวลเบาที่มีขายตามท้องตลาด (ACC)

5. การอ้างอิง

[1] *Effect of coconut coir pith as partial substitute for river sand in eco-friendly concrete*, Department of Civil Engineering, K. Ramakrishnan College of Technology, Trichy 621112, Tamilnadu, India. (21 May 2019) , pages 3.

[2] Dissakul Ungtrakul, *The development of lightweight concrete in cellular system made from lime mud waste of paper industry* (Master's thesis Department of Architecture Department of Architecture Graduate school Silpakorn University, 2014) pages 72.

[3] Gisela Azevedo Menezes Brasileiro, Jhonatas Augusto Rocha Vieira, Ledjane Silva Barreto, *Use of coir pith particles in composites with Portland cement* (Department of Civil Engineering, Government College of Technology, Coimbatore 641013, Tamilnadu, India, 21 May 2019) pages 3.

[4] Roslyn Jarawae, *The development of insulation from local plants* (Physics and General Science Department of Science Faculty of Science,

Technology and Agriculture Yala Rajabhat University, 2016), page 34.

[5] Prajak Khembubpha. (2005). A Study of General Properties of Concrete Using Recycled Concrete Coarse Aggregate Having Different Compressive Strengths. (Master's thesis, Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen).

[6] Terdsak Saisut. (2012). *Recycled Coarse Aggregate by Residual Concrete Piles*. (Master's thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut"s University of Technology Thonburi).

[7] Nattawoot Tengsiritum. (2015). *An Optimization Model for a Prediction on mix proportion of Cellular Lightweight Concrete* (Master's thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang).

[8] Zaler Mundher Yaseen. (2018). *Predicting Compressive Strength of Lightweight Foamed Concrete Using Extreme Learning Machine Model*. (Science direct research paper, Faculty of Engineering and Built Environment, University Kebangsaan Malaysia).

[9] Tuan Nguyen. (2018). *3D Meso-Scale Modelling of Foamed Concrete Based on X-Ray Computed Tomography*. (Science direct research paper, Department of Infrastructure Engineering, The University of Melbourne, Melbourne, Australia).

[10] Kai Tai Wan. (2018). *Development of Low Drying Shrinkage Foamed Concrete and Hygro-Mechanical Finite Element Model for Prefabricated Building Façade Applications*. (Department of Civil and Environmental Engineering, Brunel University London, UK).

[11] Prasert Damrongchai. (1999). *Construction Materials. (1th ed.)*. Khonkaen: Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Khonkaen University.

[12] Winit Chowichian, *Concrete technology. (2001). (9th ed.)*. Khonkaen: Bangkok. Sampanpanit.

[13] Sumate Santadwattana. (2011). *Prediction on the Properties of Cellular Light Weight Concrete from Concrete Density*. (Bachelor project, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang).

[14] TIS. 409-2525. *standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. Retrieved June 6, 2018, from http://research.rid.go.th/vijais/moa/

[15] TIS. 2601-2556. *Industrial product standards for Cellular Lightweight Concrete*. Retrieved June 6, 2018, from http://research.rid.go.th/vijais/moa/

[16] Jaruphan Phaiphuphim. (2014). *Stress-Strain Curve of Cellular Lightweight Concrete.* (Master's thesis, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University