



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการ)

ปริญญา

..... นวัตกรรมการ

..... เทคโนโลยีทางการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้

The Development of an Energy Saving Concrete Block from Plastic Drinking Water

นามผู้วิจัย นางสาวหทัย สิมศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

( ..... อาจารย์โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์, Ph.D. .... )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ..... Professor Joseph Khedari, H.D.R. .... )

หัวหน้าสาขาวิชา

( ..... อาจารย์โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์, Ph.D. .... )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( ..... รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. .... )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้

The Development of an Energy Saving Concrete Block from Plastic Drinking Water

โดย

นางสาวหัตษา สิงห์ศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการ)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หัตถสา สิ่งศรี 2556: การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติก  
เหลือใช้ ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการ)  
สาขาวิชา นวัตกรรมการ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาคาร อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก:  
อาจารย์โสภา วิชาญศักดิ์, Ph.D. 78 หน้า

ปัจจุบันแม้จะมีการใช้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อผนังอาคารอย่างแพร่หลาย แต่ยังมีข้อจำกัด  
ในด้านการลดความร้อนสะสมภายในอาคาร ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศ  
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีการนำขวดน้ำดื่มพลาสติก  
เหลือทิ้งมาประยุกต์ใช้ให้เกิดการไหลของอากาศภายในผนังที่ก่อโดยวิธีธรรมชาติในลักษณะ Stack  
Effect เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการพัฒนาแบบและหาอัตราส่วนและขนาดที่  
เหมาะสมของคอนกรีตบล็อกต้นแบบที่มีการบรรจุขวดน้ำดื่มพลาสติกภายใน จากนั้นนำไปทดสอบ  
ด้านน้ำหนักและการรับกำลังแรงอัดเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.58-2533) และค่า  
สัมประสิทธิ์การนำความร้อนและการลดอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบเปรียบเทียบกับผนังที่มีการ  
ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไปและคอนกรีตมวลเบา

ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตบล็อกต้นแบบ ซึ่งมีอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์  
: หินเกล็ด คือ 1 : 6 ต่อเนื้อร้อยละ 30 ของน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ให้ผลการรับกำลังแรงอัดที่ 31.75  
ksc ผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2533 (25.49 ksc) และมีน้ำหนักต่อก้อน 5.85 กิโลกรัม หรือ 1,026.32  
kg/m<sup>3</sup> ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 18.66 โดยวันที่ 5 ก.พ. 56 ช่วงเวลา 8.00 –  
18.00 น. มีอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกต้นแบบเฉลี่ยแต่ละช่วงตลอดช่วงเวลา  
กลางวัน วัดได้ 6.76 m<sup>3</sup>/hr คิดเป็น 21.125 m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup> เมื่อความเร็วเฉลี่ยอากาศภายนอก คือ 0.82 m/s  
อุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ยภายในบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกต้นแบบ (43.65 °C) ต่ำกว่าคอนกรีต  
บล็อกทั่วไป 2.77 °C และสูงกว่าคอนกรีตมวลเบา คือ 1.44 °C จะเห็นได้ว่าคอนกรีตบล็อกต้นแบบมี  
ประสิทธิภาพในการ ลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป และใกล้เคียง  
คอนกรีตมวลเบา

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Hussaya Singsri 2013: The Development of an Energy Saving Concrete Block from Plastic Drinking Water. Master of Architecture (Building Innovation), Major Field: Building Innovation, Department of Technology Building. Thesis Advisor: Miss Sopa Visitsak, Ph.D. 78 pages.

Concrete blocks are widely used as a building material normally for building envelope and internal walls. However, when considered as an energy conservation material, the limitation of heat transfer properties is its weakness. This research aims to develop a non-load bearing concrete block by applying used plastic water bottles to allow the flow of air within the walls that are built by natural mean with regards to the stack effect to help decrease the heat transfer into the building. The process is to develop the model, as well as finding the appropriate proportion and size of plastic bottles to concrete blocks. The concrete blocks are then supplied with used plastic water bottles inside. The results are compared to the normal standard concrete block (TIS 58-2533), regarding physical properties (weight, dimension, compressive strength) and heat transfer properties (field experimental comparison to common concrete and autoclaved blocks.)

The results showed that the energy saving concrete blocks with the aspect ratio in terms of weight of cement to stone as 1 : 6 along with water at 30% of the total weight of cement could support compressive strength at  $31.75 \text{ kg /m}^2$  (higher than TIS 58-2533). Weighing  $5.85 \text{ kg}$ , or  $1,026.32 \text{ kg/m}^3$ , the energy saving concrete block was 18.66% lighter than a regular concrete block. During daytime, the average flow rate of air through the underlying concrete block was  $6.76 \text{ m}^3/\text{hr}$  or  $21.125 \text{ m}^3/\text{hr/m}^2$  when the average wind speed was  $0.82 \text{ m/s}$ . The average temperature inside the house model with energy saving concrete blocks was  $43.65 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $2.77 \text{ }^\circ\text{C}$  lower than that of common concrete blocks and  $1.44 \text{ }^\circ\text{C}$  higher than that of the autoclaved aerated concrete. Therefore, the results confirm that regarding the ability to reduce heat transfer, the energy saving concrete blocks is better than regular concrete and come close to the autoclaved aerated concrete.

---

Student's Signature

---

Thesis Advisor's Signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร. โจเซฟ เคดารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือและการตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดตลอดการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณอาจารย์ ดร. ปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้คำแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตในการดำเนินงานวิจัย และ อาจารย์ ดร. วรกมล บุญโยธิน ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย/ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมส่งผลให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคารและอาจารย์พิเศษทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ซึ่งเป็นแนวทางในงานวิจัยและการนำความรู้ที่ได้ไปปรับไปใช้ในการทำงานได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความเอื้อเฟื้อในด้านสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการทดสอบสมรรถนะวัสดุ และขอขอบคุณผู้ที่ได้ช่วยเหลือในขั้นตอนต่างๆของการดำเนินงานวิจัยทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณเจนจิรา ขุนทอง คุณรักเกียรติ เดชชัยภูมิ คุณวุฒิชัย บุรณากาญจ คุณัชชวาล พันธางกูร คุณธีรวัฒน์ ปิตยานานนท์ คุณอิงครัตน์ ธีรประสาธน์ และ พี่ๆ น้องๆ สาขาวิชานวัตกรรมอาคาร ตลอดจน บริษัท สมิหลาเอ็นจิเนียริง จำกัด ที่ให้การสนับสนุนการสร้างเครื่องมือในการวิจัย และขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาว ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนมาตลอดกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

หัสยา สิงห์ศรี  
พฤษภาคม 2556

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	42
สรุปและข้อเสนอแนะ	54
สรุป	54
ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	57
ภาคผนวก	59
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	78

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างวัสดุประกอบอาคาร	9
2	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร	12
3	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร	12
4	การทดสอบขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการวิจัย	34
5	ผลการทดสอบด้านน้ำหนักและด้านการรับกำลังแรงอัดของก้อนตัวอย่างทดสอบ ขนาด $10 \times 38 \times 15$ ซม. จำนวน 5 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ	42
6	ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ของก้อนตัวอย่างทดสอบ ขนาด $20 \times 20 \times 2.5$ ซม. จำนวน 5 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ	43
7	ผลการทดสอบหาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกต้นแบบ วันที่ 5 ก.พ. 56 เวลา 8.00 – 18.00 น. เก็บข้อมูลทุก 2 ชั่วโมง	45
8	ผลการคำนวณหาปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกต้นแบบ วันที่ 5 ก.พ. 56 เวลา 8.00 – 18.00 น. เก็บข้อมูลทุก 2 ชั่วโมง	46
9	ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิบริเวณจุดวัดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีต บล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อกต้นแบบ	52
10	ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิบริเวณภายในบ้านจำลองช่วงเวลากลางวัน เพื่อเปรียบเทียบ ระหว่างคอนกรีตบล็อกทั่วไปคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกต้นแบบ	52
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ก1	ผลการทดลองอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิผิวผนังภายนอก (To.) ของ บ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีต บล็อกต้นแบบทางทิศใต้ ระหว่างวันที่ 19 มีนาคม 2556 – 22 มีนาคม 2556 ดังตารางต่อไปนี้	61
ก2	ผลการทดลองอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิผิวผนังภายใน (Ti.) ของบ้าน จำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อก ต้นแบบทางทิศใต้ ระหว่างวันที่ 19 มีนาคม 2556 – 22 มีนาคม 2556 ดังตารางต่อไปนี้	64

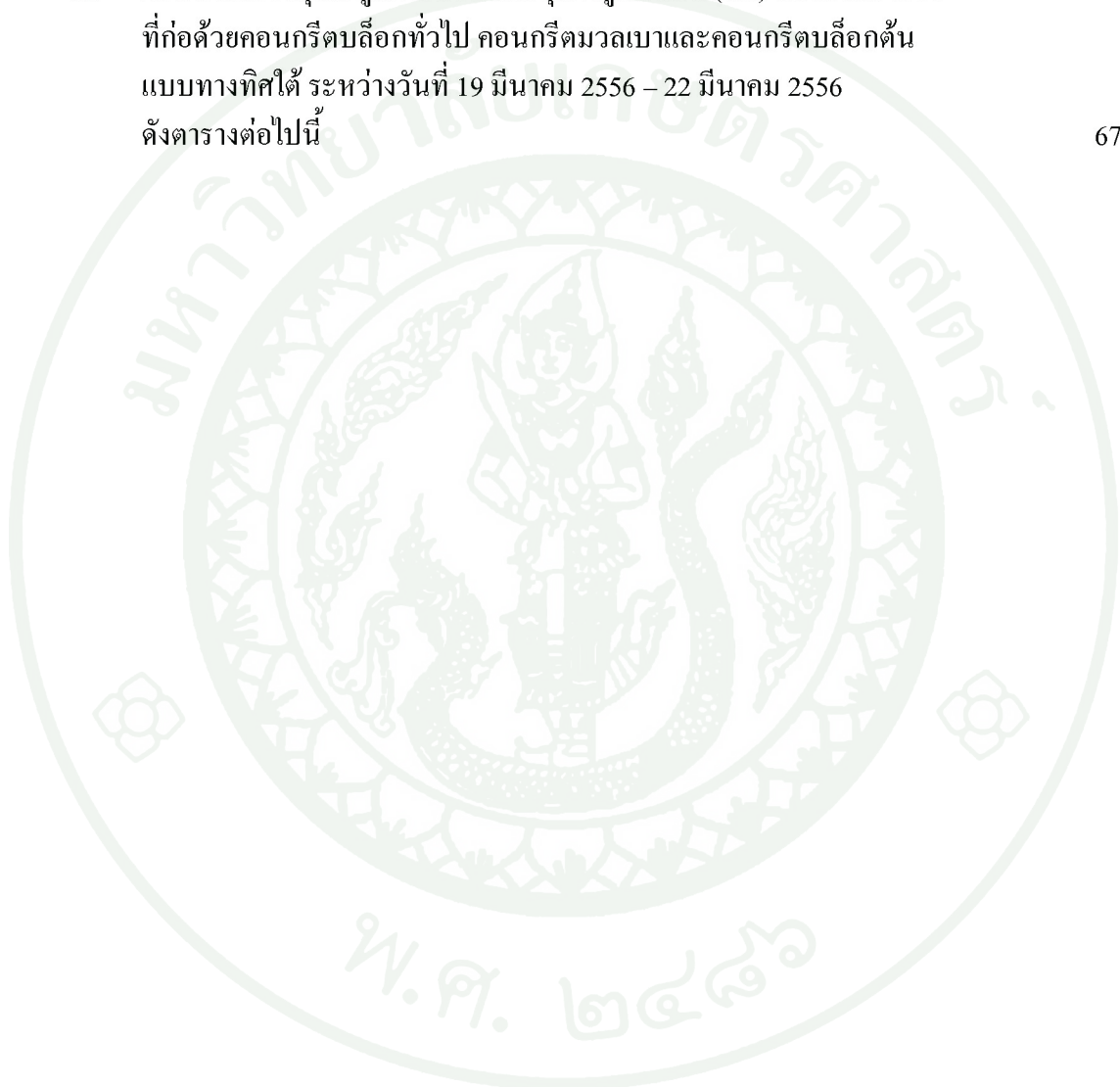
## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

- ก3 ผลการทดลองอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิภายใน (Tc.) ของบ้านจำลอง  
ที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกตัน  
แบบทางทิศใต้ ระหว่างวันที่ 19 มีนาคม 2556 – 22 มีนาคม 2556  
ดังตารางต่อไปนี้

67



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน $n$ ชนิด	11
2	การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน $n$ ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน	11
3	การเคลื่อนที่ของอากาศร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้นและมีอากาศเย็นเคลื่อนมาแทนที่ (ก) การเคลื่อนที่ของความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ (ข)	14
4	การเคลื่อนที่ของอากาศอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ (Laminar) (ก) การเคลื่อนที่ของอากาศแบบแยกออกจากกัน ไม่ต่อเนื่อง (Separated) (ข) การเคลื่อนที่ของอากาศแบบแปรปรวนไม่แน่นอน (Turbulent) (ค) การเคลื่อนที่ของอากาศแบบหมุนวน (Eddy) (ง)	15
5	การเคลื่อนที่ของอากาศที่เปลี่ยนจากลักษณะ Laminar เป็น Turbulent ทันทีเมื่อปะทะกับอาคารที่กีดขวาง	15
6	การเคลื่อนที่ของอากาศเมื่อปะทะกับอาคารทำให้เกิดแรงอัด เป็นความกดอากาศสูง (+) ขณะเดียวกันบริเวณที่อยู่ด้านหลังแรงปะทะนั้นจะเกิดแรงดูดเป็นความกดอากาศต่ำ (-)	16
7	อากาศที่เคลื่อนที่ปะทะอาคารจะเกิดความกดอากาศสูง (+) หรือความกดอากาศต่ำ (-) ขึ้นอยู่กับลักษณะความลาดชันของหลังคาจั่วที่กีดขวาง	16
8	Venturi Tube ใช้หลักการ Venturi effect โดยการลดพื้นที่ช่องเปิดจึงเกิดการเพิ่มอัตราความเร็วของอากาศที่เคลื่อนที่ทำให้เกิดความกดอากาศต่ำ (-) ดังนั้นจึงเกิดแรงดูดรอบบริเวณนั้น	17
9	รูปตัดปีกเครื่องบิน ซึ่งถือเป็นปรากฏการณ์ Bernoulli effect เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสที่อากาศเคลื่อนที่ผ่านเกิดเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำ (-) หรือแรงดูดที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ เรียกว่าแรงยกของปีกเครื่องบิน	17
10	อาคารที่ออกแบบและประยุกต์ใช้ปรากฏการณ์ Venturi effect เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ	18
11	อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศขึ้นอยู่กับความสูงของช่องเปิดจากระดับพื้นดิน (ก) ช่องเปิดระบายอากาศของอาคารอยู่สูงจากระดับพื้นดินเพียงพอที่จะทำให้อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศนั้นสูงขึ้นได้ (ข)	18

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	ขนาดของช่องเปิด ระยะห่างในแนวตั้ง ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการระบายความร้อนโดยลมธรรมชาติในลักษณะ Stack Effect	19
13	รูปตัดอาคารที่มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในลักษณะผสมผสานระหว่าง Stack Effect, Bernoulli effect และ Venturi effect	19
14	โถงกลางของอาคารที่มีช่องเปิดอยู่ในระดับต่ำอาจเกิดความกดอากาศต่ำ (-) ช่องเปิดที่อยู่ระดับสูงขึ้นไปอาจเกิดความกดอากาศสูง (+) (ก) กรณีที่เป็นอาคารหลายชั้นอากาศร้อนอาจพัดพาเข้ามาในอาคาร (ข) วิธีการเพิ่มความสูงของบริเวณโถงและใช้การพัดพาของลมภายนอกหรือพัดลมช่วยในการเร่งให้เกิดการระบายอากาศ (ค)	21
15	หลักการ Solar Chimney กรณีนี้ใช้วิธีการเร่งอัตราการไหลของอากาศโดยวัสดุของปล่องระบายอากาศนั้นทำจากโลหะและทาสีดำเพื่อช่วยนำและดูดซับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (ก) ตัวอย่างอาคารที่ใช้หลักการ Solar Chimney (ข)	22
16	ขนาดของคอนกรีตบล็อกต้นแบบ กว้าง 10 ซม. × สูง 15 ซม. × ยาว 38 ซม.	31
17	การออกแบบก้อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบ Type 1 เป็นส่วนต่อลำเลียงอากาศ Type 2 เป็นช่องสำหรับอากาศไหลเข้า-ออก (ก) รูปแบบการใช้งานเพื่อให้เกิดระบบการไหลของอากาศในลักษณะ Stack Effect ภายในผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกต้นแบบ (ข)	32
18	ลักษณะการวางและติดตั้งก้อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบ (ก) ลักษณะการก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกต้นแบบ (ข)	33
19	ขั้นตอนการผลิตบล็อกต้นแบบ การเตรียมปูนซีเมนต์ (ก) การเตรียมหินเกล็ด (ข) ผสมปูนซีเมนต์และหินเกล็ดให้เข้ากันตามสัดส่วนต่างๆ โดยใช้ น้ำสะอาด (ค) เทขึ้นรูปในแบบหล่อ (ง) ก้อนคอนกรีตต้นแบบเมื่อถอดแบบแล้ว (จ)	34
20	พื้นที่คาดฟ้าชั้น 4 บริเวณติดตั้งบ้านจำลอง 3 หลังเพื่อทดสอบด้านอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศ (ก) พื้นที่ห้องปฏิบัติการชั้น 6 บริเวณหล่อขึ้นรูปและบ่มคอนกรีตบล็อกต้นแบบ (ข)	35

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	แบบขยายตำแหน่งติดตั้งบ้านจำลองทั้ง 3 หลัง บริเวณศาลาฟ้าชั้น 4	35
22	ขั้นตอนการทดสอบ การเจียรหน้าตัดผิวก่อนตัวอย่างทดสอบที่พอกด้วยปูน พลาสติกให้เรียบเสมอกันทั้งระนาบ (ก) คอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่บ่มทิ้งไว้ 28 วัน หลังเจียรหน้าตัดผิวให้เรียบ เพื่อทดสอบด้านการรับกำลังแรงอัดสูงสุด (ข) การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด (ค)	36
23	การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) แม่แบบเหล็ก ขนาด $20 \times 20 \times 2.5$ ซม. (ก) คอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่บ่มทิ้งไว้ 28 วัน เพื่อทดสอบหาค่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ข) เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค)	37
24	คอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่บ่มทิ้งไว้ 28 วัน จำนวน 27 ก้อน เพื่อนำไปทดสอบด้าน การหาอัตราการไหลของอากาศและด้านอุณหภูมิ	37
25	แบบบ้านจำลอง ขนาด กว้าง $1.20 \times$ ยาว $1.20 \times$ สูง 1.60 เมตร	38
26	บ้านจำลอง ขนาด $1.20 \times 1.20 \times 1.60$ เมตร ที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบบน ผนังด้านทิศใต้ (ก) รูปด้านหน้าผนังแสดงแนวการวัดความเร็วลมตามลำดับแต่ละ ช่องเปิด (ข) รูปตัดผนังแสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลม (ค) เครื่องวัดความเร็ว ลม Testo 400 (ง)	39
27	ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิเพื่อเก็บข้อมูลในบ้านจำลอง	40
28	การก่อผนังคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ การติดตั้งเก็บบันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิ และความเร็วลมเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศ (ก) บ้านจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไปทางทิศใต้ (ข) บ้านจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตมวลเบาไปทางทิศใต้ (ค) บ้านจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบทางทิศใต้	41
29	ผลการทดสอบด้านการรับกำลังแรงอัดสูงสุด	42
30	ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k)	43

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	ภาพการวัดความเร็วลมบนผนังบ้านจำลองด้านทิศใต้ที่ก่อด้วยก้อนคอนกรีตบล็อกตันแบบ โดยรูปด้านแสดงตำแหน่งการวัดภายในช่องเปิดบนและล่าง ขนาด $5 \times 13$ ซม. พร้อมกันในตำแหน่งกึ่งกลางช่องเปิดตำแหน่ง A และ G, B และ H, C และ I, ...F และ L ตามลำดับ (ก) รูปตัดผนังแสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลมบริเวณกึ่งกลาง (ข)	44
32	ผลการทดสอบหาความเร็วอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกตันแบบ วันที่ 5 ก.พ. 56 วัดช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น. ทุก 2 ชั่วโมง	47
33	ผลการคำนวณหาปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกตันแบบ วันที่ 5 ก.พ. 56 วัดช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น. ทุก 2 ชั่วโมง	47
34	ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิผิวผนังภายใน (Ti.) บ้านจำลองด้านทิศใต้ เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกตันแบบ ตั้งแต่วันที่ 19 - 22 มี.ค. 56 ทุก ๆ 10 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน	49
35	ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิผิวผนังภายนอก (To.) บ้านจำลองด้านทิศใต้เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกตันแบบ ตั้งแต่วันที่ 19 - 22 มี.ค. 56 ทุก ๆ 10 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน	50
36	ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิภายในตรงกลาง (Tc.) บ้านจำลองด้านทิศใต้ เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกตันแบบ ตั้งแต่วันที่ 19 - 22 มี.ค. 56 ทุก ๆ 10 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน	51
<b>ภาพผนวกที่</b>		
ก1	ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ด้วยเครื่องทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน Heat Flow Meter Instrument รุ่น HC-074 ของ Eco Instrument Co., Ltd. ตามมาตรฐาน ASTM-C518 ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$	60
ข1-8	ผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$	70-77

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กก./ซม. <sup>2</sup>	=	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
กก./ม. <sup>2</sup>	=	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
มอก.	=	มาตรฐานอุตสาหกรรม
Btu/ft.h <sup>°F</sup>	=	British thermal unit per foot hour – degree Fahrenheit
Btu.in/ft <sup>2</sup> h <sup>°F</sup>	=	British thermal unit inch per squarefoot hour – degree Fahrenheit
°C	=	degree Celsius
c	=	conductivity
Co., Ltd.	=	company limited
°F	=	degree Fahrenheit
k	=	heat transfer coefficient
kg	=	kilogram(s)
kg/m <sup>3</sup>	=	kilogram(s) per cubic meter
kJ/kg.K	=	kilo joule(s) per kilogram - kelvin
MPa	=	mega pascal
R	=	thermal resistance
R <sub>T</sub>	=	overall of thermal resistance
TIS	=	Thailand Industrial Standard
U	=	overall heat transfer coefficient
W/m.K	=	watt(s) per meter - kelvin
W/m <sup>°C</sup>	=	watt(s) per meter - degree Celsius
Δx	=	material thickness

## การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้

### The Development of an Energy Saving Concrete Block from Plastic Drinking Water

#### คำนำ

ปัญหาสำคัญสำหรับอาคารในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (ธนิต และคณะ, 2543) คือ ปัญหาจากการถ่ายเทความร้อน (Kreider and Rabl, 1994) จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร การเลือกใช้วัสดุก่อผนังที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย (thermal comfort) (Fanger, 1972) ของผู้อยู่อาศัยและการประหยัดพลังงานในอาคารจึงนับเป็นสิ่งสำคัญ คอนกรีตบล็อก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2530) นับเป็นหนึ่งในวัสดุก่อผนังซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยมีช่องว่างอากาศภายในทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน ในประเทศไทยมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงการพัฒนาคอนกรีตบล็อกสำหรับอาคาร เช่น การพัฒนารูปร่างของคอนกรีตบล็อกให้มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร (ปริตตา, 2552) และงาน วิจัยที่มีการใช้โฟม EPS เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อการระบายความร้อนและมีน้ำหนักเบา (ชาญ, 2553) รวมถึงงานวิจัยที่พัฒนาคอนกรีตบล็อกต้นแบบชนิดระบายอากาศแนวอนเพื่อบังสายตาให้กับผู้ใช้ภายในและภายนอกอาคารและเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติโดยปราศจากการนำความร้อน (Khedari *et al.*, 2004) และงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบ Solar Chimneys ในอาคารเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิภายในอาคารและประหยัดพลังงาน ไม่ว่าจะเป็นระบบในผนังรวมทั้งระบบบนโครงสร้างหลังคา

อย่างไรก็ตามความพยายามที่จะพัฒนาเพื่อให้เกิดการไหลของอากาศภายในผนัง โดยอาศัยหลักการลอยตัวของลมโดยวิธีธรรมชาติในลักษณะ Stack Effect (Lechner, 2009: 270) ยังเป็นลักษณะผนัง 2 ชั้น ยังไม่พบว่ามีการศึกษาการพัฒนาเพื่อให้เกิดการไหลของอากาศภายในผนังชั้นเดียวที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อก ซึ่งจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ประกอบกับในปัจจุบันมีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดจากขยะโดยเฉพาะขยะจากขวดน้ำดื่มพลาสติกหรือที่เรียกว่า ขวด PET (Polyethylene terephthalate) มีการนำขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น การนำมารีไซเคิลเป็นเส้นใย สำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม ใยสังเคราะห์สำหรับยัด

หมอน ถุงหิ้ว กระเป๋า ขวด หรือนำมาออกแบบเพื่อใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคาร เป็นต้น จากการตรวจสอบเอกสารยังไม่พบงานวิจัยที่มีการนำขวดน้ำดื่มพลาสติกมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับอาคารในประเทศไทย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีการนำขวดน้ำดื่มพลาสติกมาประยุกต์ใช้ให้เกิดการไหลของอากาศภายในผนังที่ก่อโดยวิธีธรรมชาติในลักษณะ Stack Effect เพื่อการลดการถ่ายเท ความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งจะมีผลช่วยเพิ่มสภาวะน่าสบายภายในอาคาร ลดภาระของเครื่องปรับอากาศและส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีการนำขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดการไหลของอากาศ (Stack Effect) ภายในวัสดุก่อนผนังโดยวิธีธรรมชาติ
2. ทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของต้นแบบคอนกรีตบล็อกที่พัฒนา กับมาตรฐานคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58, 2530)
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความร้อนภายในอาคารของผนังคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักทั่วไปกับผนังจากคอนกรีตบล็อกที่พัฒนา โดยการใช้บ้านจำลองในการทดสอบ ในสภาวะแวดล้อมจริง

## ขอบเขตการวิจัย

1. ขวดน้ำดื่มพลาสติกที่ใช้ในการผลิตต้นแบบคอนกรีตบล็อก คือ ขวดน้ำดื่มชนิด PET (Polyethylene terephthalate) ตรา เกษตร ขนาดปริมาตร 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. ขนาดของต้นแบบคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่าk) มีขนาด  $10 \times 38 \times 16$  เซนติเมตร และ ขนาด  $20 \times 20 \times 2.20$  เซนติเมตร
3. การทดสอบค่าการต้านทานแรงอัดเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภทไม่ควบคุมความชื้น
4. ผลิตก้อนคอนกรีตบล็อก ขนาด  $10 \times 38 \times 16$  เซนติเมตร ในการทดสอบด้านอุณหภูมิ
5. บ้านจำลองมีขนาด กว้าง  $1.20 \times$  ยาว  $1.20 \times$  สูง  $1.60$  เมตร โดยมีผนังด้านทิศใต้ก่อด้วยวัสดุที่ต้องการเปรียบเทียบชนิดต่างๆ

### ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ต้นแบบคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีการนำขวดน้ำดื่มพลาสติก (PET) ที่มีการประยุกต์ให้เกิดการไหลของอากาศ (Stack Effect) ภายในผนังที่ก่อโดยวิธีธรรมชาติ เพื่อลดความร้อนภายในอาคาร
2. แนวทางการพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีการนำขวดน้ำดื่มพลาสติก (PET) มาประยุกต์ใช้และมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดสู่ระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรมได้

## การตรวจเอกสาร

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน, พฤติกรรมด้านอุณหภูมิจากอาคาร, ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ค่าความต้านทานความร้อน (R), และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U), การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร, การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติ, ทฤษฎีการไหลของอากาศโดยวิธีธรรมชาติใน ลักษณะ Stack Effect, ประเภท, รูปแบบ, ส่วนผสมต่างๆ และชนิดของคอนกรีตบล็อก รวมไปถึงการค้นคว้างานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

### 1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 1.1 รังสีดวงอาทิตย์

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เป็นลักษณะการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท (ASHRAE, 1993) คือ

##### 1.1.1 ลักษณะการแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar Radiation)

เกิดจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์แผ่รังสีในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แลกเปลี่ยนกับผิวโลกที่มีระยะห่างจากกัน 93 ล้านไมล์ เป็นการแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short - wave Radiation) ซึ่งประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน

ก. ช่วงคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet region) ความยาวคลื่น 0.29 - 0.40 นาโนเมตร

ข. ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น (Visible region) ความยาวคลื่น 0.40 - 0.70 นาโนเมตร

ค. ช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (Near Infrared region) ความยาวคลื่น 0.7 - 3.5 นาโนเมตร โดยมีสัดส่วนของพลังงานเท่ากับร้อยละ 7, ร้อยละ 39 และร้อยละ 52 ตามลำดับ

##### 1.1.2 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์บริเวณพื้นผิวโลก (Terrestrial Radiation)

เป็นการแผ่รังสีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกและวัตถุนบนผิวโลก ในรูปของการแผ่รังสีคลื่นยาว (Long-wave Radiation) ในช่วงความยาวคลื่นเหนืออินฟราเรด (The infrared region) รังสีดวงอาทิตย์ประเภทนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้

#### ก. รังสีโดยตรง (Direct Solar Radiation)

เป็นรังสีที่ส่องผ่านบรรยากาศของโลกแล้วตกกระทบพื้นผิวโลกหรือวัตถุใด ๆ ในลักษณะโดยตรงมีทิศทางชัดเจนปริมาณรังสีนี้จะมีปริมาณสูงในวันที่มีท้องฟ้าแจ่มใสปราศจากเมฆ แต่อย่างไรก็ตามในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆจะทำให้การแผ่รังสีความร้อนในเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) สามารถเป็นไปได้ง่าย

#### ข. รังสีกระจาย (Diffuse Solar Radiation)

เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ส่องผ่านตัวกลางในบรรยากาศ (Sky Component) เช่น เมฆ ฝุ่นละออง เป็นต้น แล้วกระทบตัวกลางเหล่านั้นทำให้รังสีนั้นกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบก่อนตกกระทบสู่ผิวโลก กล่าวได้ว่าเป็นรังสีที่ได้รับจากท้องฟ้าทั้งหมด รังสีกระจายจะเกิดขึ้นมาในเวลาที่มีเมฆปกคลุมมาก ทำให้เกิดความจ้ามากในท้องฟ้าและมีผลต่อการแผ่รังสีความร้อนเช่นกัน

#### ค. รังสีสะท้อน (Reflected Solar Radiation)

เป็นรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดจากการตกกระทบพื้นผิวในลักษณะต่าง ๆ เช่น พื้นดิน พื้นหญ้า น้ำ หรือตัวอาคาร แล้วสะท้อนกลับไปยังที่มีผลต่อการสะท้อน คือ ค่าการสะท้อนของวัตถุและสีของวัตถุ

#### ง. รังสีรวม (Total or Global Solar Radiation)

เป็นผลรวมของรังสีดวงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆที่ส่งผ่านมาสู่โลกทั้งในรูปแบบรังสีตรง และรังสีกระจายที่ได้รับในแนวระนาบ

### 1.2 กลไกการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

คือ วิธีการที่ความร้อนเกิดการเคลื่อนตำแหน่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยกลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีอยู่ 3 วิธี (Kreider and Rabl, 1994) คือ

### 1.2.1 การนำความร้อน

การที่ความร้อนจากจุดหนึ่งส่งผ่านเนื้อของสสารไปยังอีกจุดหนึ่งโดยเนื้อของสสารที่นิ่งอยู่กับที่ ตัวอย่างของการนำความร้อน เช่น เมื่อเราจับปลายของคีมที่คิปลานไฟเป็นเวลานานเราจะรู้สึกร้อนเพราะความร้อนไหลผ่านเนื้อวัสดุ จากจุดปลายของคีมที่คิปลานไฟบริเวณมือที่จับคีมอยู่

### 1.2.2 การพาความร้อน

การที่ความร้อนจากจุดหนึ่งในสสารเคลื่อนที่ไปยังอีกจุดหนึ่งในสสารโดยติดไปกับสสารที่เกิดการเคลื่อนที่

### 1.2.3 การแผ่รังสี

การที่ความร้อนจากจุดหนึ่งเคลื่อนที่ไปยังอีกจุดหนึ่งโดยการที่จุดที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสี ซึ่งเป็นกลุ่มของพลังงานรูปหนึ่งในอัตราการจ่ายพลังงานที่มากกว่าไปยังจุดอีกจุดหนึ่ง ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับการแผ่รังสีนั้นเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ของความร้อน

## 1.3 พฤติกรรมด้านอุณหภูมิจากอาคาร (Thermal Behavior of Building)

พฤติกรรมความร้อนในอาคารโดยพื้นฐานแล้วส่วนหนึ่งเป็นการกำหนดรูปร่างของสถาปัตยกรรม การก่อสร้าง วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง สภาพแวดล้อมรอบๆ อาคารทั้งในอาคารขนาดใหญ่และเล็ก โดยทั่วไปโครงสร้างของอาคารประกอบด้วยส่วนที่มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้แตกต่างกันทั้งจากหลังคา พื้นและผนังอาคาร สามารถแสดงได้ดังสมการนี้

$$\Delta S = Q_i + Q_c + Q_s + Q_v + Q_e \quad (1)$$

เมื่อ

$Q_i$  คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (internal heat gain)

$Q_c$  คือ ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อน (conduction heat gain or loss)

$Q_s$  คือ ความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (solar heat gain)

$Q_v$  คือ ความร้อนที่มาจากกระบายอากาศ (ventilation heat gain or loss)

$Q_e$  คือ การระเหยความร้อนที่กลายเป็นไอ (evaporative heat loss)

โดย  $\Delta S$  จะเปลี่ยนแปลงไปตามความร้อนที่สะสมในอาคารและจะเกิดความสมดุลย์ทางความร้อนในอาคาร เมื่อผลรวมของสมการ  $\Delta S$  มีค่าเท่ากับ 0

ภาระการทำความเย็นในอาคารส่วนใหญ่มากกว่าครึ่งมาจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโครงสร้างเปลือกห่อหุ้มของอาคาร เช่น หลังคา ผนังภายนอก ก่อให้เกิดสภาวะที่ไม่สบายและความร้อนภายในอาคาร เนื่องจากการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ของวัสดุโครงสร้าง ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือผนังทึบแสงมีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อตารางเมตร งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับการลดความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางผนังทึบด้านทิศใต้ ซึ่งได้รับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ค่อนข้างมากและสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน

1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ค่าความต้านทานความร้อน (R), และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

#### 1.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, k)

คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางเมตร ที่ความหนา 1 เมตร เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน 1 องศาเซลเซียส ( $W/m \cdot ^\circ C$ ) มี หน่วยเป็น  $W/m \cdot ^\circ C$  หรือ  $W/m \cdot K$  ( $Btu/ft \cdot h \cdot ^\circ F$ ) เมื่อวัสดุที่มีความหนาเท่ากันหากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของวัสดุต่ำ หมายความว่าวัสดุนั้นมีความเป็นฉนวนมากกว่าวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ที่สูงกว่า โดยสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ ดังสมการนี้

$$k = Q \times \Delta x / \Delta T \times A \quad (2)$$

เมื่อ

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( $W/m \cdot ^\circ C$  หรือ  $W/m \cdot K$ )

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่าน (W)

$\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ (m)

A คือ พื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุ ( $m^2$ )

$\Delta T$  คือ พื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุ ( $m^2$ )

สำหรับวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity, k) ซึ่งมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของวัสดุ (Density,  $\rho$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat,  $C_p$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างวัสดุประกอบอาคาร

ลำดับ	วัสดุ	k (W/m.°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (kJ/kg.°C)
1	วัสดุผนังหลังคา/คานฝ้า			
	(ก) กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.993	2400	0.79
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	0.395	2000	1.00
2	วัสดุปูพื้น/ผนัง			
	(ก) กระเบื้องยาง	0.573	1900	1.26
	(ข) หินอ่อน	1.250	2700	0.80
3	ผนังอิฐ/คอนกรีต			
	(ก) อิฐมวลเบาปูน 2 หน้า	1.102	1700	0.79
	(ข) คอนกรีตบล็อกกลวง 80 มม. ไม้ฉาบ	0.546	2210	0.92
4	คอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่นต่างๆ			
	(ก) 620 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.180	620	0.84
	(ค) 960 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.303	960	0.84

หมายเหตุ ตัวอย่างรายการวัสดุบางส่วน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)

1.4.2 ค่าการต้านทานความร้อน (R) ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 หมวด 4 หมายถึง ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ หรือส่วนกลับของค่าการนำความร้อน ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R = 1/C \text{ หรือ } \Delta x/k \quad (3)$$

เมื่อ

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน โดยมีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์

C คือ ค่าการนำความร้อน โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

$\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ โดยมีหน่วยเป็นเมตร

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-เคลวิน

เมื่อค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดมากนั้นหมายความว่าวัสดุนั้นมีความเป็นฉนวนมาก จากประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ออกโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) จำแนกกรณีค่าความต้านทานความร้อนเป็นกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร

ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุประกอบผนังอาคาร ในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) กรณีผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

ค่าความต้านทานความร้อนรวม ( $R_T$ ) ของส่วนใดๆของผนังอาคาร ซึ่งประกอบด้วยวัสดุ  $n$  ชนิดที่แตกต่างกัน สามารถคำนวณได้ ดังสมการนี้

$$R_T = R_O + \Delta x_1/k_1 + \Delta x_2/k_2 + \dots + \Delta x_n/k_n + R_i \quad (4)$$

เมื่อ

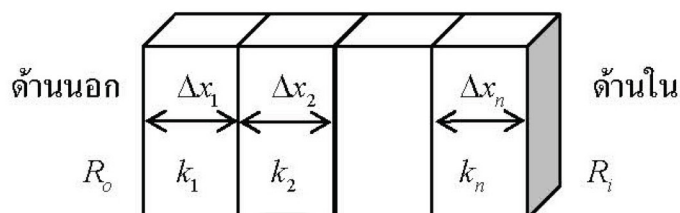
$R_T$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์

$R_O$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์

$R_i$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์

$x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$  คือ ค่าความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร มีหน่วยเป็น เมตร

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน



ภาพที่ 1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)

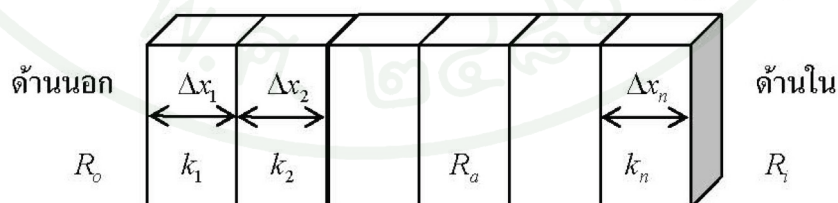
2) กรณีผนังอาคารมีช่องว่างอากาศอยู่ภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนรวม ( $R_T$ ) ของส่วนใดๆของผนังอาคาร ซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน และมีช่องว่างอากาศภายใน สามารถคำนวณได้ ดังสมการนี้

$$R_T = R_o + \Delta x_1/k_1 + \Delta x_2/k_2 + \dots + R_a + \dots + \Delta x_n/k_n \quad (5)$$

เมื่อ

$R_a$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์



ภาพที่ 2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)

ข. ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคารขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนไหวยของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของผนังอาคารตามค่าที่กำหนด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )	
	ที่ผิวผนังด้านใน ( $R_i$ )	ที่ผิวผนังด้านนอก ( $R_o$ )
กรีนที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120	0.044
กรีนที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299	-

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคารขึ้นอยู่กับ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศตามค่าที่กำหนด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านในช่องว่าง อากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ตามความหนาของช่องว่างอากาศ ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรีนที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
กรีนที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)

1.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient) หรือค่า U ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 ออกตามความในพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลัง

งาน พ.ศ. 2535 หมวด 4 คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวมสามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$U = 1/R_T \quad (6)$$

เมื่อ

$U$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$R_T$  คือ ความต้านทานความร้อนรวม

ซึ่ง  $R_T$  สามารถคำนวณได้จากค่าความต้านทานความร้อนของผนัง หลังคา และเพดาน ซึ่งมีโครงสร้างประกอบจากวัสดุแตกต่างกัน  $n$  ชนิด รวมถึงค่าความต้านทานความร้อนที่เกิดจากฟิล์มอากาศบริเวณผิววัสดุภายในและภายนอก ( $R_i, R_o$ ) ในกรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุ  $n$  ชนิด หรือ ในกรณีที่ผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ จะต้องคำนวณรวมความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายในช่องว่างอากาศของผนังด้วย

การวิจัยนี้มีการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า  $k$ ) โดยสามารถนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนรวม (ค่า  $R$ ) แบบที่มีวัสดุแตกต่างกันและมีช่องว่างอากาศภายใน จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (ค่า  $U$ ) ของคอนกรีตบล็อกตันแบบที่ทำการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นฉนวนกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป

## 1.5 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติ

วิธีการทำความเย็นโดยธรรมชาติเป็นการใช้สภาพแวดล้อมที่มีอยู่ตามธรรมชาติในการปรับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิแก่ผู้ใช้อาคาร โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามกลไกในการทำความเย็นได้ออกเป็น 5 วิธีการหลักๆ ได้ดังต่อไปนี้

### 1.5.1 การระบายอากาศโดยธรรมชาติ (Natural Ventilation)

### 1.5.2 การทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling)

### 1.5.3 การทำความเย็นด้วยมวลสาร (Thermal Mass Cooling)

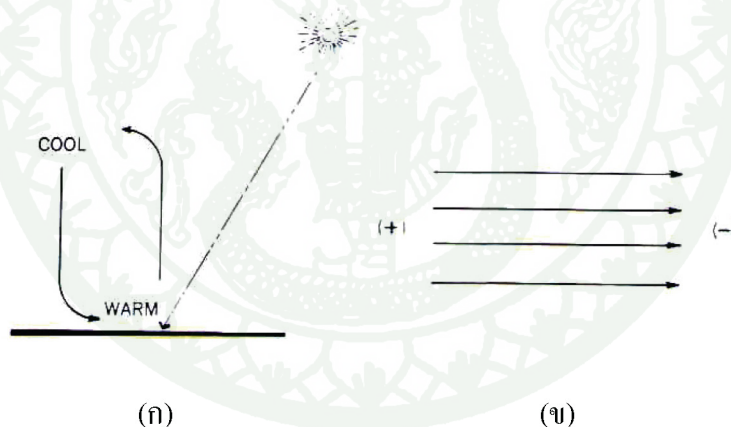
### 1.5.4 การทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี (Radiative Cooling)

### 1.5.5 การใช้สารดูดความชื้น (Desiccant Dehumidification)

การระบายอากาศโดยธรรมชาติ เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศในการระบายความร้อนและความชื้นออกจากอาคารภายในอาคาร เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับอาคารในเขตอากาศร้อนชื้นที่มีสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปสูงกว่าขอบเขตความสบายเชิงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของอากาศเพิ่มอัตราการพาความร้อนและการระเหยของเหงื่อออกจากผิวหนังคนทำให้รู้สึกเย็นลงได้ สามารถแบ่งออกได้ เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การระบายอากาศจากการเคลื่อนที่ของลม (Wind-driven Ventilation) และการระบายอากาศด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิ (Stack Ventilation) ซึ่งการวิจัยนี้มุ่งเน้นวิธีการระบายอากาศด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิ (Stack Ventilation)

1.6 ลักษณะพื้นฐานการเคลื่อนที่ของอากาศ (Basic Principles of Air Flow) แบ่งได้ 7 ประเภท ดังต่อไปนี้

1.6.1 เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความแตกต่างของความกดอากาศ โดยความกดอากาศต่ำ (อุณหภูมิสูงและน้ำหนักเบา) จะลอยตัวสูงขึ้นและความกดอากาศสูง (อุณหภูมิต่ำและน้ำหนักมาก) จะเคลื่อนเข้ามาแทนที่เสมอ (ความกดอากาศสูง ไปยัง ความกดอากาศต่ำ)



ภาพที่ 3 การเคลื่อนที่ของอากาศร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้นและมีอากาศเย็นเคลื่อนมาแทนที่ (ก) การเคลื่อนที่ของความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ (ข)

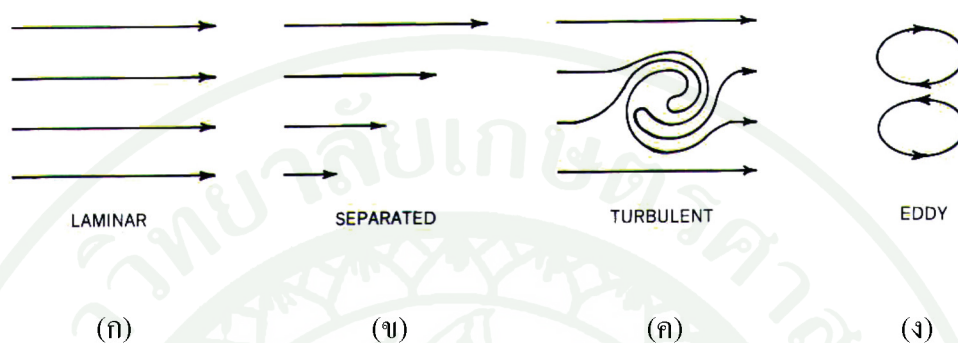
ที่มา: Lechner (2009: 267)

1.6.2 การเคลื่อนที่ของอากาศ แบ่งย่อยออกเป็น 4 ประเภท คือ

- ก. การเคลื่อนที่เป็นชั้นๆ อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ (Laminar)
- ข. การเคลื่อนที่แบบแยกออกจากกัน ไม่ต่อเนื่อง (Separated)

ค. การเคลื่อนที่แบบแปรปรวน ไม่แน่นอน (Turbulent)

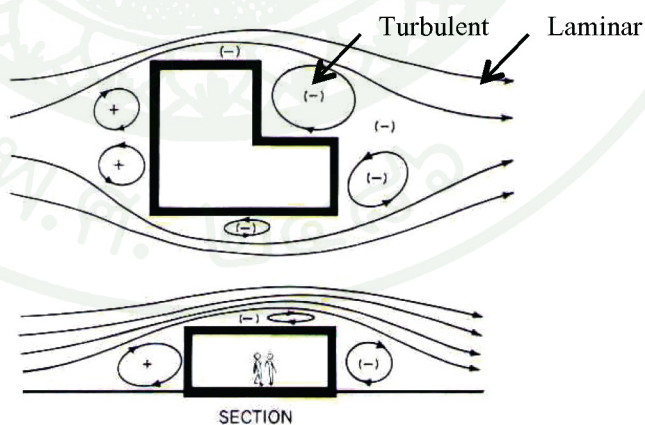
ง. การเคลื่อนที่แบบหมุนวน (Eddy)



ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของอากาศอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ (Laminar) (ก) การเคลื่อนที่ของอากาศแบบแยกออกจากกัน ไม่ต่อเนื่อง (Separated) (ข) การเคลื่อนที่ของอากาศแบบแปรปรวน ไม่แน่นอน (Turbulent) (ค) การเคลื่อนที่ของอากาศแบบหมุนวน (Eddy) (ง)

ที่มา: Lechner (2009: 268); After Art Bowen (1981)

การเคลื่อนที่ของอากาศจากลักษณะ Laminar จะเปลี่ยนเป็นลักษณะ Turbulent ทันที เมื่อปะทะกับสิ่งกีดขวางอย่างฉับพลัน เช่น เมื่ออากาศเคลื่อนที่ปะทะกับอาคาร



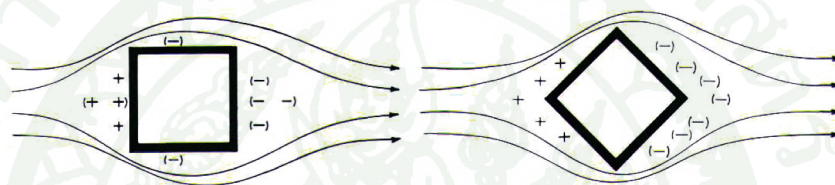
ภาพที่ 5 การเคลื่อนที่ของอากาศที่เปลี่ยนจากลักษณะ Laminar เป็น Turbulent ทันทีเมื่อปะทะกับอาคารที่กีดขวาง

ที่มา: Lechner (2009: 269); After Art Bowen (1981)

1.6.3 เมื่อลมพัดผ่านวัตถุทำให้เกิดความกดอากาศสูงและต่ำมากขึ้นอยู่กับมุมและตำแหน่งที่มากระทบวัตถุและรูปทรงของวัตถุนั้นๆ

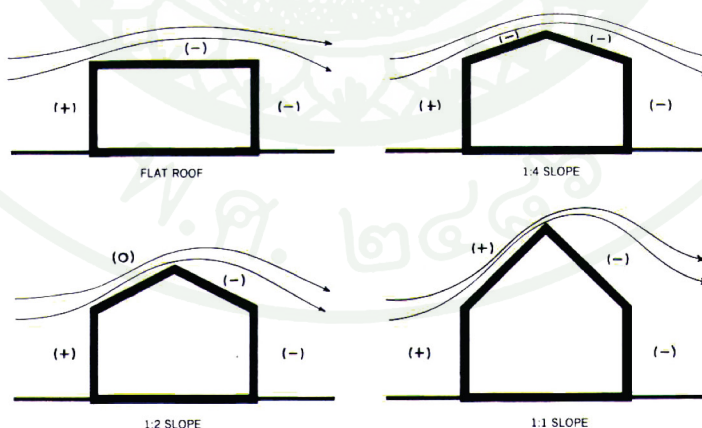
1.6.4 ปริมาณการเคลื่อนที่ของอากาศก่อนและหลังกระทบวัตถุกีดขวางต้องมีค่าเท่ากัน

1.6.5 เมื่ออากาศเคลื่อนที่ปะทะกับอาคารทำให้เกิดแรงอัดเป็นความกดอากาศสูง (+) ขณะเดียวกันบริเวณที่อยู่ด้านหลังแรงปะทะนั้นจะเกิดแรงดูดเป็นความกดอากาศต่ำ (-) ความแปรปรวนของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอบๆอาคารนั้น โดยทั่วไปจะเกิดความกดอากาศต่ำ (-) ดังนั้นลักษณะรูปทรงของสิ่งกีดขวาง เช่น อาคารจึงมีผลต่อความกดอากาศและความเร็วของกระแสลม



ภาพที่ 6 การเคลื่อนที่ของอากาศเมื่อปะทะกับอาคารทำให้เกิดแรงอัด เป็นความกดอากาศสูง (+) ขณะเดียวกันบริเวณที่อยู่ด้านหลังแรงปะทะนั้นจะเกิดแรงดูด เป็นความกดอากาศต่ำ (-)

ที่มา: Lechner (2009: 268): After Art Bowen (1981)

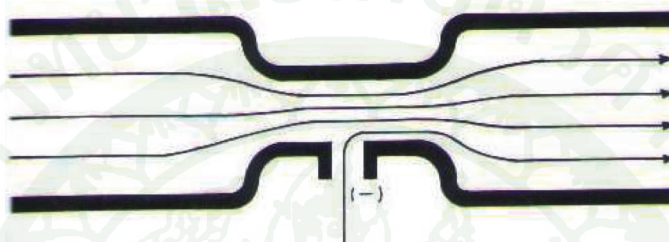


ภาพที่ 7 อากาศที่เคลื่อนที่ปะทะอาคารจะเกิดความกดอากาศสูง (+) หรือความกดอากาศต่ำ (-) ขึ้นอยู่กับลักษณะความลาดชันของหลังคาจั่วที่กีดขวาง

ที่มา: Lechner (2009: 268): After Art Bowen (1981)

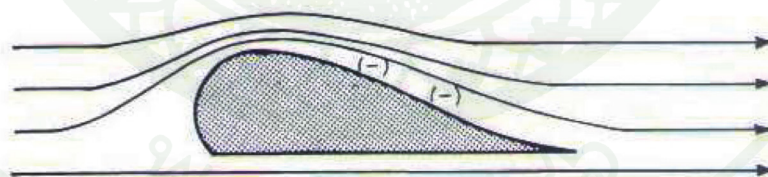
### 1.6.6 ปรากฏการณ์ Venturi effect

ทฤษฎีนี้เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอากาศที่ไหลผ่านช่องเปิดขนาดเท่ากันในอัตราความเร็วคงที่ แต่ถูกรบกวนด้วยสิ่งกีดขวางทิศทางการไหลหรือช่องเปิดที่มีขนาดเล็กกว่า ส่งผลให้อัตราความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความกดอากาศต่ำ (-) ดังนั้นจึงเกิดแรงดูดรอบบริเวณที่ถูกรบกวนนั้น (ดูภาพที่ 8)



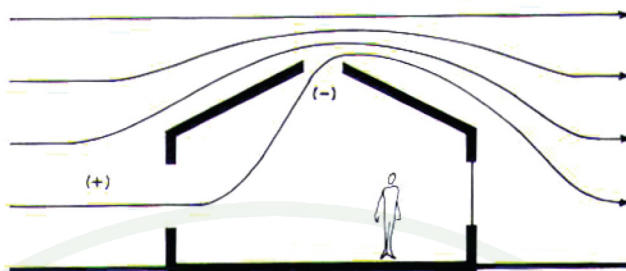
ภาพที่ 8 Venturi Tube ใช้หลักการ Venturi effect โดยการลดพื้นที่ช่องเปิดจึงเกิดการเพิ่มอัตราความเร็วของอากาศที่เคลื่อนที่ทำให้เกิดความกดอากาศต่ำ (-) ดังนั้นจึงเกิดแรงดูดรอบบริเวณนั้น

ที่มา: Lechner (2009: 269): After Art Bowen (1981)



ภาพที่ 9 รูปตัดปีกเครื่องบิน ซึ่งถือเป็นปรากฏการณ์ Bernoulli effect เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสที่อากาศเคลื่อนที่ผ่านเกิดเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำ (-) หรือแรงดูดที่เกิดขึ้นในกรณีนี้เรียกว่าแรงยกของปีกเครื่องบิน

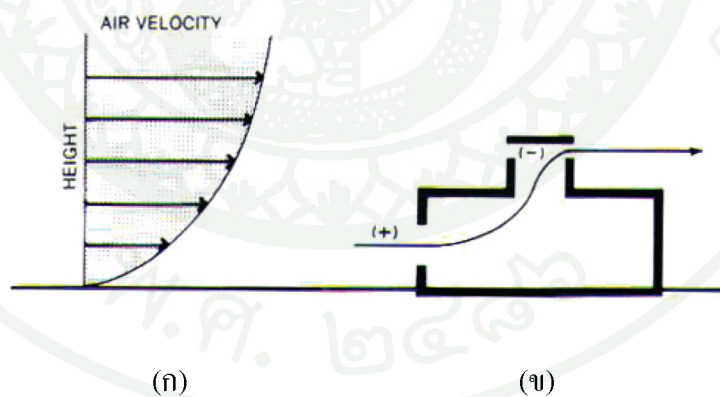
ที่มา: Lechner (2009: 269): After Art Bowen (1981)



ภาพที่ 10 อาคารที่ออกแบบและประยุกต์ใช้ปรากฏการณ์ Venturi effect เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ

ที่มา: Lechner (2009: 270): After Art Bowen (1981)

อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศขึ้นอยู่กับความสูงของช่องเปิดจากระดับพื้นดินยังมีระดับความสูงจากพื้นดินทำให้อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศยิ่งเพิ่มขึ้น (ก) ดังนั้นเมื่อประยุกต์ใช้ปรากฏการณ์ Venturi effect กับอาคาร แม้โครงสร้างหลังคาจะไม่มี ความลาดชันแต่ช่องระบายอากาศอยู่สูงจากระดับพื้นดินทำให้อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศเพิ่มขึ้น

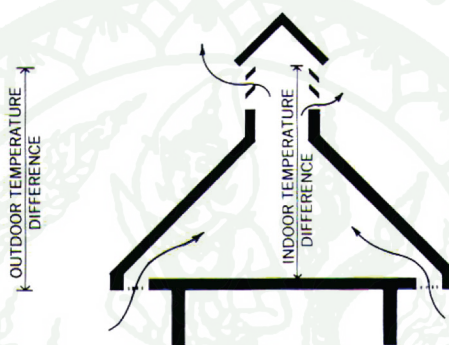


ภาพที่ 11 อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศขึ้นอยู่กับความสูงของช่องเปิดจากระดับพื้นดิน (ก) ช่องเปิดระบายอากาศของอาคารอยู่สูงจากระดับพื้นดินเพียงพอที่จะทำให้อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศนั้นสูงขึ้นได้ (ข)

ที่มา: Lechner (2009: 270): After Art Bowen (1981)

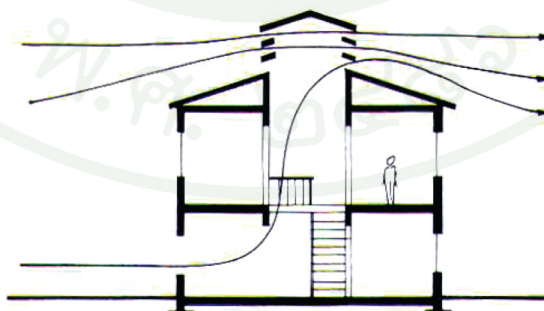
### 1.6.7 ปราบกฎการณ์ Stack Effect

เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศในลักษณะการพาความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยอากาศร้อนมีความกดอากาศต่ำ (-) และน้ำหนักเบาลอยอยู่ด้านบน ขณะเดียวกันอากาศเย็นมีความกดอากาศสูง (+) และน้ำหนักมากอยู่ด้านล่าง จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนและการแทนที่ของอากาศ ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายความร้อนโดยลมธรรมชาติเป็นความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกันระหว่างค่าความจุความร้อนของอากาศ, อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศและความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร (ดูภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 ขนาดของช่องเปิด ระยะห่างในแนวตั้ง ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายใน และภายนอกอาคาร เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการระบายความร้อนโดยลมธรรมชาติในลักษณะ Stack Effect

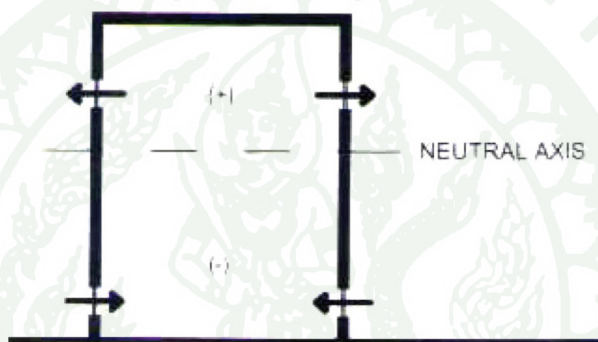
ที่มา: Lechner (2009: 270): After Art Bowen (1981)



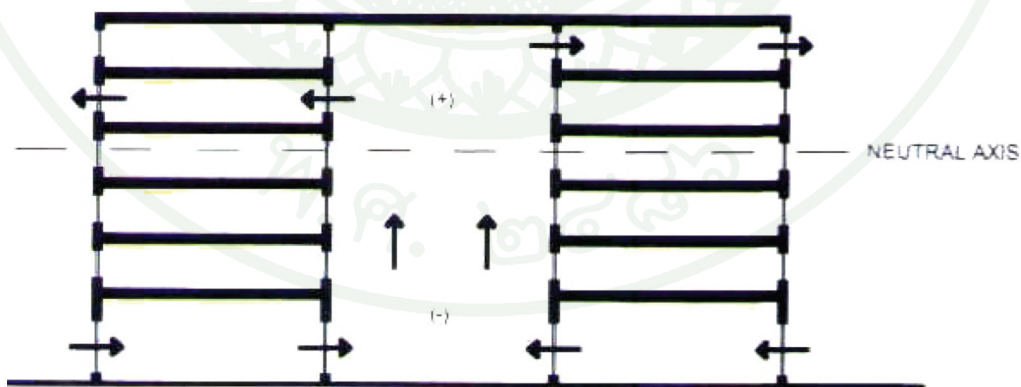
ภาพที่ 13 รูปตัดอาคารที่มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในลักษณะผสมผสานระหว่าง Stack Effect, Bernoulli effect และ Venturi effect

ที่มา: Lechner (2009: 270): After Art Bowen (1981)

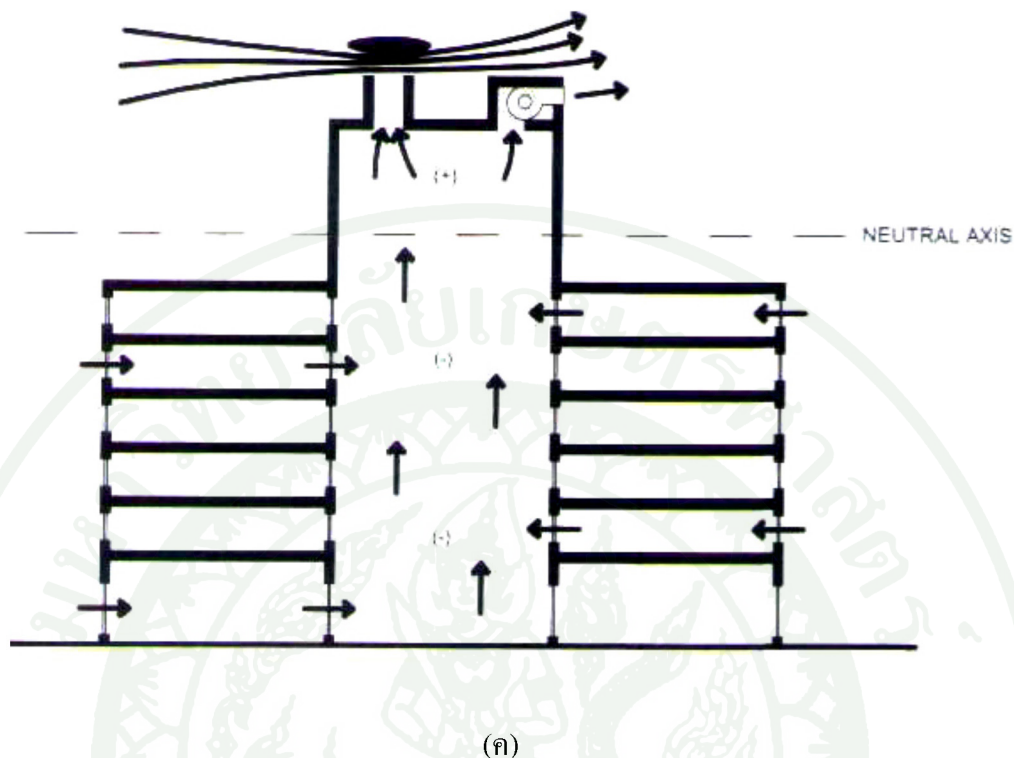
บางกรณีปรากฏการณ์ Stack Effect ที่เกิดขึ้นบริเวณโถงกลางของอาคารที่มีช่องเปิดอยู่ในระดับต่ำอาจเกิดความกดอากาศต่ำ (-) ช่องเปิดที่อยู่ระดับสูงขึ้นไปอาจเกิดความกดอากาศสูง (+) ซึ่งมีความกดอากาศที่เป็นแกนกลาง (Neutral Axis) อยู่ระหว่างความกดอากาศต่ำ (-) และความกดอากาศสูง (+) หากกรณีนี้เกิดขึ้นกับอาคารหลายชั้นที่มีบริเวณโถงกลางในลักษณะเดียวกัน อากาศร้อนจะไหลเข้าอาคาร ในการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวบางอาคารจึงใช้วิธีการให้ความกดอากาศที่ซึ่งเป็นแกนกลาง (Neutral Axis) อยู่ระดับที่สูงกว่าช่องเปิด ด้านบนของโถงอาคารโดยการเพิ่มความสูงของบริเวณโถงนั้นและใช้การพัดพาของลมภายนอกหรือพัดลมช่วยในการเร่งให้เกิดการระบายอากาศ



(ก)



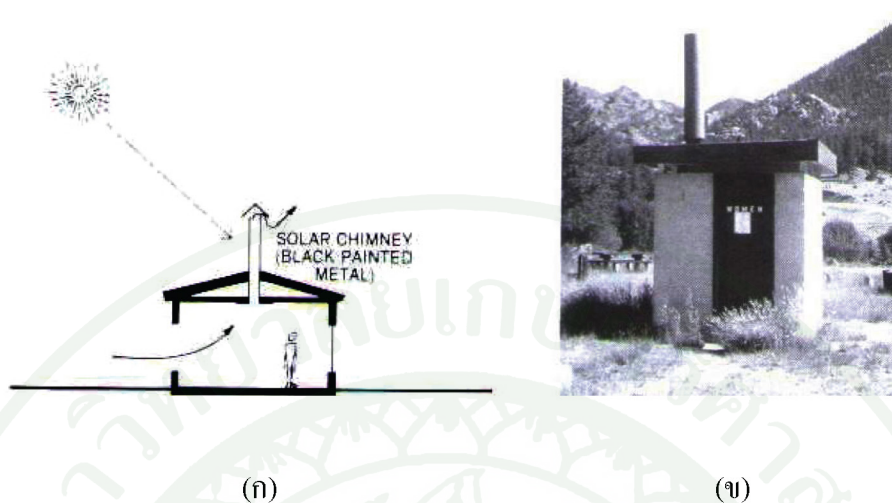
(ข)



ภาพที่ 14 โดมกลางของอาคารที่มีช่องเปิดอยู่ในระดับต่ำอาจเกิดความกดอากาศต่ำ (-) ช่องเปิดที่อยู่ระดับสูงขึ้นไปอาจเกิดความกดอากาศสูง (+) (ก) กรณีที่เป็นอาคารหลายชั้นอากาศร้อนอาจพัดพาเข้ามาในอาคาร (ข) วิธีการเพิ่มความสูงของบริเวณโถงและใช้การพัดพาของลมภายนอกหรือพัดลมช่วยในการเร่งให้เกิดการระบายอากาศ (ค)

ที่มา: Lechner (2009: 271); After Art Bowen (1981)

Solar Chimney ใช้หลักการเดียวกับ Stack Effect คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิแต่เพิ่มอัตราการไหลของอากาศให้มากขึ้น โดยปราศจากการพาความร้อนเข้ามาในอาคาร



ภาพที่ 15 หลักการ Solar Chimney กรณีนี้ใช้วิธีการเร่งอัตราการไหลของอากาศโดยวัสดุของปล่องระบายอากาศนั้นทำจากโลหะและทาสีดำ เพื่อช่วยนำและดูดซับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (ก) ตัวอย่างอาคารที่ใช้หลักการ Solar Chimney (ข)

ที่มา: Lechner (2009: 271); After Art Bowen (1981)

ความแตกต่างระหว่างหลักการ Bernoulli effect, Venturi effect, Stack Effect และ Solar Chimney คือ Bernoulli effect อาศัยการพัดพาของอากาศโดยตรงแต่ Stack Effect ใช้หลักการความแตกต่างของ อุณหภูมิซึ่งปราศจากลม ส่วน Solar Chimney นั้นคล้ายกับ Stack Effect แต่เร่งอัตราการไหลของอากาศให้มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นหลักการ Stack Effect เพื่อประยุกต์ใช้กับคอนกรีตบล็อกตันแบบที่บรรจุขวดน้ำพลาสติกสำหรับเป็นวัสดุก่อผนังอาคาร

## 2. คอนกรีตบล็อกและส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต

### 2.1 คอนกรีตบล็อก

#### 2.1.1 ความหมายของคอนกรีตบล็อก

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

ก. คอนกรีตบล็อก (hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) หมายถึง ก้อนคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ สำหรับก่อผนังหรือกำแพงมีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุรอดก่อน

และมีหน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวรายน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน (มอก. 58, 2530)

ข. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (hollow non load bearing concrete masonry unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบโดยไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆนอกจากน้ำหนักตัวเอง (มอก. 58, 2530)

ค. เปลือก (face shell) หมายถึง ผนังของคอนกรีตบล็อกซึ่งเชื่อมต่อกับผนังกันโพรง (มอก.58, 2533)

### 2.1.2 ประเภทของคอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.28-2530, 2533) แบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่

ก. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ควบคุมความชื้น

ข. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น

### 2.1.3 ขนาดและความคลาดเคลื่อน

คอนกรีตบล็อกที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดมีขนาด  $70 \times 190 \times 390$ ,  $90 \times 190 \times 390$  มิลลิเมตร และ  $140 \times 190 \times 390$  มิลลิเมตร และมีรูปแบบหลากหลายแบบ เช่น บล็อกก่อผนังตัน, บล็อกช่องลม, บล็อกปูพื้น, ฯลฯ โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินรายละเอียดต่อไปนี้

ก. ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร (มอก.58, 2530)

ข. ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก สามารถคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน  $\pm 2$  มิลลิเมตร (มอก.58, 2530)

## 2.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่เป็นวัสดุหลักของคอนกรีตบล็อก ให้ใช้อย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

### 2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เล่ม 1  
ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1

### 2.2.2 ปูนซีเมนต์ผสม

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีตมาตรฐาน  
เลขที่ มอก. 566 ยกเว้นเกณฑ์กำหนดการัดขนาดมวลผสมคอนกรีต

### 2.3 สรุปการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการจูนรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบในงานวิจัย

คอนกรีตบล็อกกลางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (มอก.57, 2530) ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดมีอัตราส่วน ผสมโดยปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งต่อปริมาณของหินเกล็ดในอัตราส่วนผสมต่างๆ คือ 6 - 11 โดยใช้ ปริมาณน้ำคงที่ทุกอัตราส่วนผสม โดยที่อัตราส่วนผสม 1:9 เป็นอัตราส่วนที่โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกส่วนใหญ่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อัตราส่วนผสม 1:7 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการรับกำลังแรงอัดเพิ่มขึ้นถึง ร้อยละ 30 จากอัตราส่วน 1:9 ในขณะที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำลังรับแรงกดอัด (มอก. 58, 2516) อัตราส่วนผสม 1:11 จะเป็นอัตราส่วนผสมที่ประหยัด ที่สุดในการรับแรงอัดต่อราคา ซึ่งราคาในการผลิตจะลดลงจากอัตราส่วนผสม 1:9 เท่า กับ 5.8% (สิทธิชัย, 2546)

จากการตรวจสอบเอกสารเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อกและส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตในงานวิจัยนี้ จึงเลือกอัตราส่วนผสมสำหรับการทดสอบจูนรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบทั้งหมด 4 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก คือ 1:11, 1:9, 1:7 และ 1:6 โดยปริมาณน้ำคงที่ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

### 3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญ (2553) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาการออกแบบรูปร่างของคอนกรีตบล็อกต้นแบบที่ช่วยลดการสะสมความร้อน โดยใช้การระบายความร้อนแบบวัฏจักรชาติลดมวลของก้อนเพิ่มการบังเงา และมีรูปร่างที่มีส่วนโค้งเมื่อปะทะกับแรงลมช่วยให้สามารถระบายความร้อนได้รวดเร็วขึ้นพัฒนารูปแบบการใช้งานของต้นแบบคอนกรีตบล็อกให้สะดวกต่อการติดตั้งใช้งาน อีกทั้งยังใช้เม็ดโฟม EPS เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนและมีน้ำหนักเบา

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ จึง มุ่งเน้นการออกแบบก้อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบที่ใช้วิธีการลดพื้นที่ผิวสัมผัสทำให้มีน้ำหนักเบา และช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร อีกทั้งยังมีลักษณะ คอนกรีตบล็อกต้นแบบ 2 ลักษณะ ที่จะประกอบกันเพื่อให้เกิดการไหลของอากาศ

ปริตา (2552) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาการออกแบบรูปร่างของคอนกรีตบล็อกต้นแบบที่ช่วยลดการสะสมความร้อน โดยใช้การระบายความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติเดิมของก้อน เพิ่มการบังเงา และมีรูปร่างที่มีส่วนโค้งเมื่อปะทะกับแรงลม ช่วยให้สามารถระบายความร้อนได้รวดเร็วขึ้น ได้ทำการออกแบบต้นแบบคอนกรีตบล็อก เพื่อที่จะศึกษารูปร่างของคอนกรีตบล็อกให้เกิดประโยชน์ทางด้านการลดการสะสมความร้อน และใช้การระบายความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ เพราะเป็นวิธีที่ประหยัดทั้งพลังงานและทรัพยากรธรรมชาติ โดยมุ่งศึกษาให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของต้นแบบคอนกรีตบล็อกทำให้มีน้ำหนักเบา

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ จึงมุ่งเน้นในการออกแบบก้อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบบรรจุขวดน้ำพลาสติกที่นอกจากจะช่วยระบายอากาศแล้วยังทำให้มีน้ำหนักเบาและช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร

Khedari *et al.* (2004) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาการออกแบบคอนกรีตบล็อกต้นแบบชนิดระบายอากาศแนวนอน เพื่อบังสายตาให้กับผู้ใช้ภายในและภายนอกอาคารเพื่อช่วยในเรื่องมุมมองที่เหมาะสมเกิด ความรู้สึกเป็นส่วนตัวมากขึ้นในบางพื้นที่การใช้งาน ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มพื้นที่การติดตั้งคอนกรีตบล็อกต้นแบบนี้เพื่อให้เกิดการระบายอากาศที่ดีขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติโดยปราศจากการนำความร้อน ซึ่งค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านวัดได้ 20 - 500 lux เพียงพอต่อการใช้งานภายในอาคารทั่วไป

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ จึงมุ่งเน้นในการออกแบบก้อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบบรรจุขวดน้ำพลาสติกที่มีลักษณะคอนกรีตบล็อกต้นแบบ 2 ลักษณะ คือ ส่วนที่เปิดให้ช่องอากาศเข้าและส่วนที่ยอมให้อากาศไหลผ่าน เพื่อประกอบกันเป็นระบบการไหลของอากาศ

Zhai *et al.* (2011) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบ Solar Chimneys ในอาคาร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิภายในอาคารและประหยัดพลังงาน ไม่ว่าจะเป็ระบบในผนังรวมทั้งระบบบนโครงสร้างหลังคา โดยศึกษาจากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบให้เกิดแนวทางการประยุกต์ใช้ที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

#### กรณีศึกษาที่ 1

Boutin and Gosselin (2009) อธิบายถึงพฤติกรรมการไหลผ่านของอากาศภายในโครงสร้างที่เป็นช่องท่อในระบบ Solar Wall และ Solar Chimney พบว่าขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสและขนาดของช่องเปิด-ปิดในท่อแนวตั้งมีผลต่ออัตราการระบายอากาศ หากพื้นที่ผิวสัมผัสและขนาดช่องเปิด-ปิดมากขึ้นเท่าใด จะส่งผลให้มีอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มมากขึ้น

### กรณีศึกษาที่ 2

Hirunlabh *et al.* (1999) รายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ของ Metallic Solar Wall ซึ่งประกอบขึ้นจาก แผ่นกระจก ช่องว่างอากาศ แผ่นโลหะสีดำ ฉนวนที่ทำจากเส้นใย Micro-Fiber และแผ่นไม้อัด จากการทดสอบสมรรถนะการระบายอากาศโดย Metallic Solar Wall พบว่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก และอยู่ในขอบเขตของสภาวะน่าสบาย โดยพัฒนาให้เกิดอัตราการไหลของอากาศที่ดียิ่งขึ้น ทั้งยังเป็นระบบที่ประหยัดงบประมาณในด้านการใช้วัสดุ แต่มีประสิทธิภาพสูงในการลดความร้อนภายในอาคาร เป็นทางเลือกหนึ่งในการออกแบบระบบการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ที่เหมาะกับสภาพอากาศในประเทศไทย

### กรณีศึกษาที่ 3

Punyasompun *et al.* (2009) ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนภายในอาคารโดยใช้ระบบ Solar Chimney ในอาคารภายใต้สภาวะอากาศในกรุงเทพฯ โดยทดสอบกับอาคารพาณิชย์ความสูง 3 ชั้น ซึ่งระบบ Solar Chimney ถูกออกแบบให้เป็นส่วนหนึ่งของเปลือกผนังอาคารในด้านทิศใต้ของ 1 คูหา ขณะเดียวกันคูหาอื่นๆ ในอาคารที่มีผู้ใช้งานอาคารตามปกติจะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกับคูหาที่มีระบบ Solar Chimney ระบบ Solar Chimney ต้นแบบดังกล่าว สามารถจำแนกย่อยออกเป็น 2 ลักษณะ คือ a และ b โดยลักษณะ a คือ เปลือกอาคารที่มีระบบช่องลมเข้า-ออกในแต่ละชั้น ส่วนลักษณะ b คือ เปลือกอาคารที่มีระบบช่องลมเข้าในแต่ละชั้น แต่มีช่องลมออกเพียงช่องเดียวที่ชั้นบนสุด จากการทดสอบผลปรากฏว่าระบบ Solar Chimney แบบลักษณะ a มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดีกว่า แบบ b จึงเป็นรูปแบบหนึ่งที่เหมาะสมในแง่สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอาคารประหยัดพลังงาน ดังเช่นประเทศไทย

### กรณีศึกษาที่ 4

Altan *et al.* (2009) รายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับกลยุทธ์ในการออกแบบระบบการพาความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ พบว่าเปลือกอาคารทางด้านทิศใต้ที่มีผิวมันเงานั้น และมีทั้งที่ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในลักษณะ Stack Ventilation ถือเป็น Buffer Zone ที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยลักษณะ Stack Ventilation ดังกล่าว ได้รับการแผ่รังสีความร้อนที่ทะลุผ่านชั้นกระจกผิวมันเงา เมื่อเกิดการสะสมความร้อน จึงส่งผลให้ช่องว่างอากาศที่ไหลผ่านในชั้นถัดไปมีอัตราการไหลของอากาศที่สูงขึ้นเรื่อยๆ และอากาศร้อนระบายออกไปบนช่องเปิดชั้นบนสุดทางด้านทิศเหนือทำให้เกิดการแทนที่ของอากาศเย็นไหลเข้ามาในช่องเปิดด้านล่างสุด นอกจากนี้ระบบ Stack Ventilation

ยังเหมาะกับการออกแบบอาคารที่ลดความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ ช่วยลดการใช้พลังงานและทำให้เกิดสถานะน่าสบายแก่ผู้ใช้อาคาร ทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

#### กรณีศึกษาที่ 5

Macias *et al.* (2009) นำเสนอระบบ Passive Cooling หรือการทำความเย็นภายในอาคารโดยวิธีธรรมชาติในช่วงเวลากลางคืนที่เหมาะสมกับบริบทในเขตเมือง ซึ่งมีการออกแบบผสมผสานกันกับระบบ Solar Chimney จะช่วยให้มีประสิทธิภาพในการพาความร้อนได้ดียิ่งขึ้น โดยมีหลักการทำงาน คือ เกิดการสะสมความร้อน ปริมาณสูงในโครงสร้างอาคารตลอดช่วงเวลากลางวัน ฝาเปิด-ปิดบน ช่องด้านบนของระบบ Solar Chimney จะถูกปิด เมื่อถึงช่วงเวลากลางคืนที่โครงสร้างอาคารคายความร้อนออกมา และอุณหภูมิโดยรอบลดต่ำลง ฝาเปิด-ปิดด้านบนของ ระบบ Solar Chimney นั้นจะถูกเปิด ส่งผลให้เกิดการพาความร้อนสะสมออกไปนอกอาคาร อากาศเย็นจะแทรกซึมมาทางเปลือกอาคารและหลังคาช่วยให้ความร้อนสะสมได้ฝ้าเพดานเย็นลง โดยปราศจากการเปิดหน้าต่าง ซึ่งเหมาะกับลักษณะอาคารที่มีช่องเปิดน้อยในเขตชุมชนเมือง

จากการพิจารณกรณีศึกษา ทั้ง 5 สรุปได้ว่า Passive Cooling หรือการทำความเย็นภายในอาคารโดยวิธีธรรมชาติในลักษณะ ระบบ Solar Wall และ Solar Chimney ส่วนของผนังอาคาร ประสิทธิภาพในการลดความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของช่องเปิดให้อากาศเข้า-ออก ระยะห่างของช่องท่อในแนวดิ่ง ความแตกต่างของอุณหภูมิและภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้นที่ได้รับการแผ่รังสีความร้อนตลอดทั้งวัน

อย่างไรก็ตาม กรณีศึกษาทั้งหมด ยังเป็นลักษณะทำโครงสร้างผนัง 2 ชั้น โดยอาศัยช่องว่างอากาศภายในระหว่างผนังทั้ง 2 เป็นระบบท่อการไหลของอากาศ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นการพัฒนาให้เกิดการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ โดยทำให้เกิดการไหลของอากาศในตัวโครงสร้างของวัสดุเอง ด้วยการก่อผนังเพียงชั้นเดียว

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้เหลือใช้ และทดสอบประสิทธิภาพในด้านต่างๆ จะต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วยรายละเอียดต่อไปนี้

1. การเตรียมขวดน้ำดื่มพลาสติก
  - 1.1 ขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ ชนิด PET (Polyethylene terephthalate) ขนาดปริมาตร 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร
  - 1.2 มีดคัตเตอร์
  - 1.3 ถูดำหรือกระสอบสำหรับฟุ้งให้ขวดน้ำแห้ง
2. การผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบเพื่อทดสอบ
  - 2.1 ขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ที่ตัดปากขวดและก้นขวดออกแล้ว
  - 2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
  - 2.3 หินเกล็ด ขนาด 5 มิลลิเมตร
  - 2.4 น้ำสะอาด
  - 2.5 ถังผสมคอนกรีต
  - 2.6 ถังน้ำ
  - 2.7 แม่แบบเหล็ก ขนาด  $10 \times 38 \times 16$  เซนติเมตร
  - 2.8 แม่แบบเหล็ก ขนาด  $20 \times 20 \times 2.20$  เซนติเมตร
  - 2.9 เครื่องตักวัสดุ
  - 2.10 เครื่องปูน
  - 2.11 คีมสำหรับไขน็อต
  - 2.12 เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดหลักกรัม อ่านค่าตั้งแต่ช่วง 0.001 กิโลกรัม - 10 กิโลกรัม ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$
  - 2.13 ไม้หรือเหล็กสำหรับกระทุ้งคอนกรีต
  - 2.14 น้ำมันทาแม่แบบเหล็ก

### 3. การทดสอบการรับกำลังแรงอัด

- 3.1 เครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$

### 3.2 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

#### 4. การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

4.1 เครื่องทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน Heat Flow Meter Instrument รุ่น HC-074 ของ Eco Instrument Co., Ltd. ตามมาตรฐาน ASTM-C518 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$

#### 4.2 น้ำแข็ง

#### 5. การทดสอบด้านอุณหภูมิ

5.1 บ้านจำลอง ขนาด  $1.20 \times 1.20 \times 1.60$  เมตร

5.2 คอนกรีตบล็อกตันแบบ ขนาด  $10 \times 38 \times 16$  เซนติเมตร

5.3 คอนกรีตบล็อกทั่วไปที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2533

5.4 คอนกรีตมวลเบา

5.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

5.6 น้ำสะอาด

5.7 เกรียงตักวัสดุ

5.8 เกรียงปูนก่อ

5.9 เกรียงฉาบสามเหลี่ยม

5.10 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Hobo H84-channel External Logger และ External Sensor/  
Input Cables: Operating range  $-4^{\circ}\text{F}$  to  $+158^{\circ}\text{F}$  ( $-20^{\circ}\text{C}$  to  $+70^{\circ}\text{C}$ )

#### 6. การตรวจวัดความเร็วลม

6.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลม Testo 400

6.2 พารามิเตอร์

### วิธีการ

งานวิจัยนี้ มีกระบวนการเกี่ยวกับการพัฒนาคอนกรีตบล็อกตันแบบที่มีการนำขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้มาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดระบบการไหลของอากาศในลักษณะ Stack Effect ภายในผนังที่ก่อและความเป็นไปได้ในการผลิตเพื่อทดสอบ คุณสมบัติด้านต่าง ๆ ดังนั้นในการออกแบบคอนกรีตบล็อกตันแบบและแม่แบบจึงแบ่งการพัฒนาที่สำคัญออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การออกแบบก่อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบ
2. การนำไปใช้งานเพื่อให้เกิดระบบการไหลของอากาศในลักษณะ Stack Effect
3. การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกต้นแบบ
4. การทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1. การออกแบบก่อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

การออกแบบคอนกรีตบล็อกต้นแบบอ้างอิงจากขนาดขวดน้ำที่ใช้ในการผลิตในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.50 เซนติเมตร สูง 17.50 เซนติเมตร ปริมาตร 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชนิด PET (Polyethylene terephthalate) ซึ่งมีหลักการที่สำคัญประกอบพิจารณาขนาดและรูปทรงของคอนกรีตบล็อกต้นแบบ ดังต่อไปนี้

#### 1.1 การอ้างอิงจากมาตรฐานคอนกรีตบล็อก (มอก. 58-2533)

โดยพิจารณาจากความหนาของเปลือกคอนกรีตที่หุ้มต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ต้องมีน้ำหนักและขนาดที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป

#### 1.2 การอ้างอิงจากขนาดของขวดน้ำ

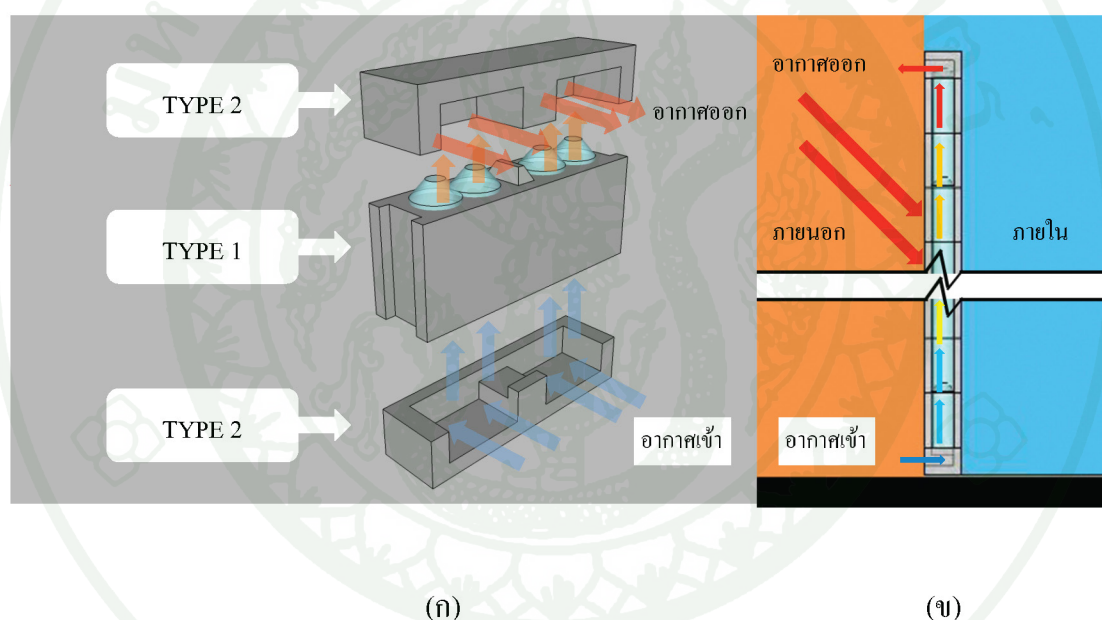
เนื่องจากขวดน้ำที่ใช้ในงานวิจัย มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.50 เซนติเมตร สูง 17.50 เซนติเมตร ปริมาตร 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร และจากมาตรฐานคอนกรีตบล็อก (มอก. 58-2533) ที่ยอมให้ความหนาของเปลือกคอนกรีตที่หุ้มต้องไม่น้อยกว่า 12 มม. ดังนั้นก่อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบที่บรรจุขวดน้ำจึงควรมีความหนาที่ไม่เกิน 10 เซนติเมตร และสูง 15 เซนติเมตร

#### 1.3 การลดพื้นที่ผิวหน้าตัดของก่อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

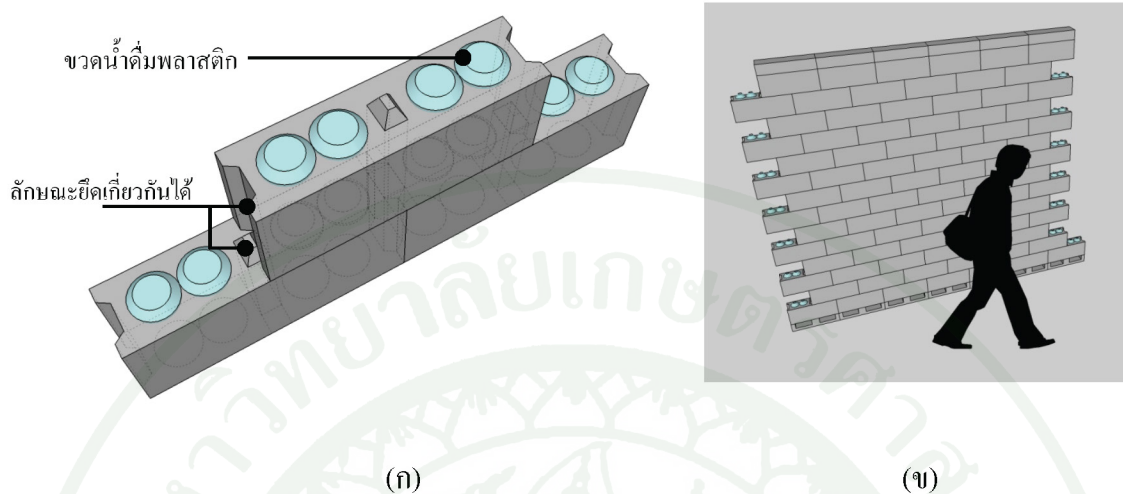


## 2. การนำไปใช้งานเพื่อให้เกิดระบบการไหลของอากาศในลักษณะ Stack Effect

ในงานวิจัยนี้ การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการพาความร้อนของอากาศในลักษณะ Stack Effect ซึ่งเกิดจากอากาศร้อนที่มีน้ำหนักเบาลอยตัวผ่านช่องว่างภายในผนังออกสู่ภายนอกทางช่องเปิดด้านบน และอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอก ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าไหลเข้ามาแทนที่ทางช่องเปิดด้านล่าง โดยวิธีธรรมชาติการก่อผนังโดยใช้คอนกรีตบล็อกตันแบบเป็นการนำก้อนคอนกรีตวางซ้อนกันขึ้นในลักษณะสลับหว่าง โดยแนวต่อของขุดจะต่อกันเป็นระบบท่ออากาศตามแนวตั้ง (TYPE 1) ซึ่งมีช่องให้อากาศไหลผ่านเข้าออกได้ทั้งด้านบนและด้านล่าง (TYPE 2) โดยงานวิจัยนี้มุ่ง เน้นพัฒนาและออกแบบก้อนคอนกรีตบล็อกตันแบบ Type 1 เป็นลำดับแรก ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Sketch up



ภาพที่ 17 การออกแบบก้อนคอนกรีตบล็อกตันแบบ Type 1 เป็นส่วนต่อลำเลียงอากาศ Type 2 เป็นช่องสำหรับอากาศไหลเข้า-ออก (ก) รูปแบบการใช้งานเพื่อให้เกิดระบบการไหลของอากาศในลักษณะ Stack Effect ภายในผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบ (ข)



ภาพที่ 18 ลักษณะการวางและติดตั้งก้อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบ (ก) ลักษณะการก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกต้นแบบ (ข)

### 3. การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

จากการตรวจสอบเอกสารเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อกและส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตในงานวิจัยนี้ จึงเลือกอัตราส่วนผสมสำหรับทดสอบขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบทั้งหมด 4 อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ : หินเกล็ด โดยน้ำหนัก คือ 1:11, 1:9, 1:7 และ 1:6 โดยปริมาณน้ำคงที่ๆ ร้อยละ 30 ของปริมาณปูนซีเมนต์ เมื่อทดสอบขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกพบว่าการใช้อัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : หินเกล็ด 1 : 6 เป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณปูนซีเมนต์พอเหมาะในการยึดเกาะขวดน้ำดื่มพลาสติกที่บรรจุอยู่ภายในได้ดี (ดูตารางที่ 4) จึงพิจารณาการใช้อัตราส่วนนี้ในการผลิตบล็อกต้นแบบเพื่อการทดสอบต่อไป



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

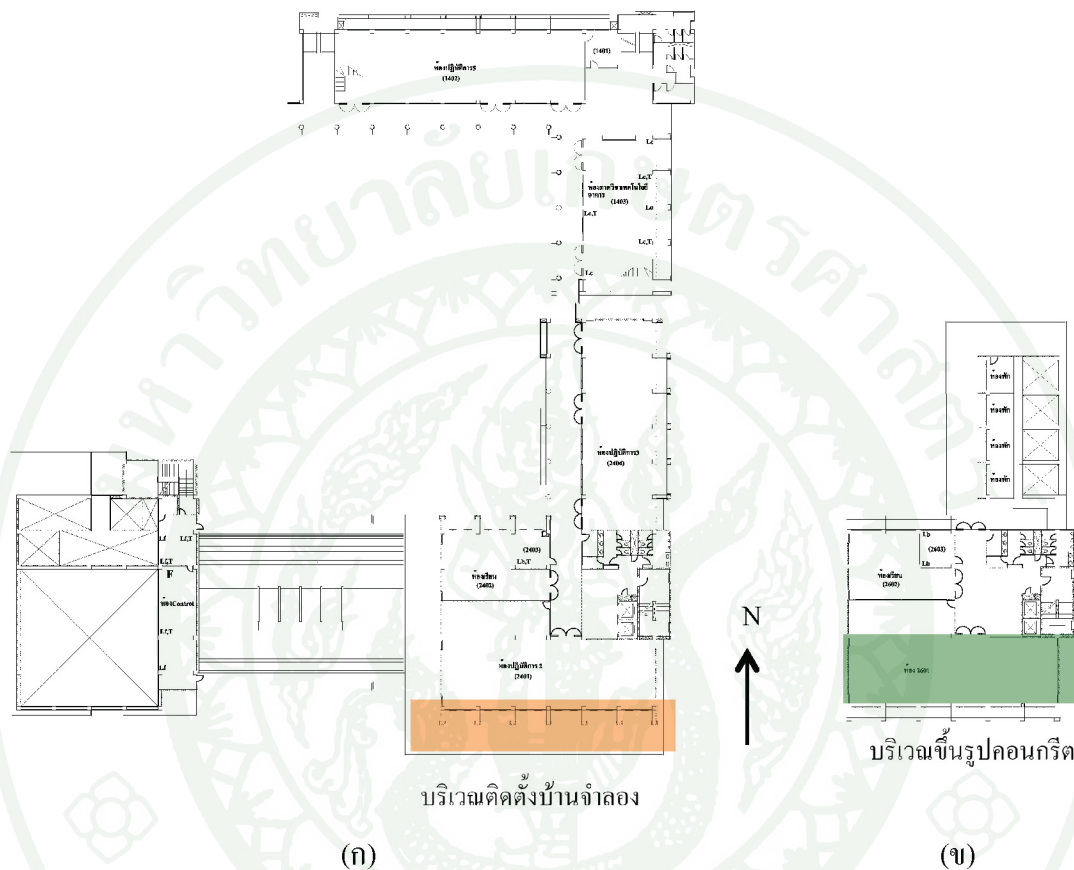
(จ)

ภาพที่ 19 ขั้นตอนการผลิตบล็อกดินแบบ การเตรียมปูนซีเมนต์ (ก) การเตรียมหินเกล็ด (ข) ผสมปูนซีเมนต์และหินเกล็ดให้เข้ากันตามสัดส่วนต่างๆ โดยใช้ น้ำสะอาด (ค) เทขึ้นรูปในแบบหล่อ (ง) ก้อนคอนกรีตดินแบบเมื่อถอดแบบแล้ว (จ)

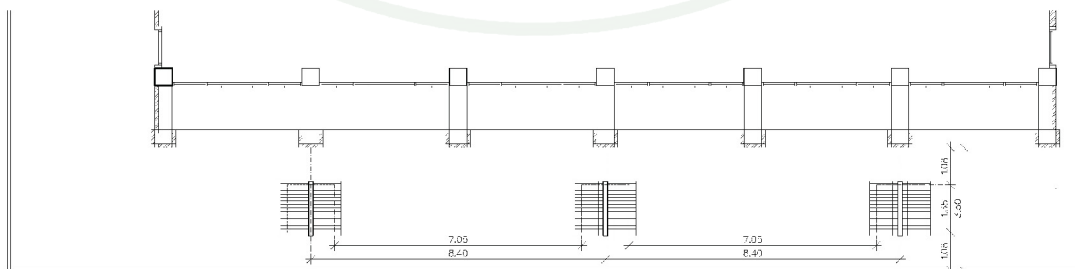
ตารางที่ 4 การทดสอบขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกดินแบบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการวิจัย

อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : หินเกล็ด : ปริมาณน้ำคงที่ ทุกอัตราส่วน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
1:11	ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยเกินไป หินเกล็ดหลุดร่วง ก้อนคอนกรีตไม่ยึดจับผิวขวดน้ำดื่มพลาสติก	
1:9	ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยเกินไป หินเกล็ดหลุดร่วง ก้อนคอนกรีตไม่ยึดจับผิวขวดน้ำดื่มพลาสติก	
1:7	ปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น แต่หินเกล็ดยังหลุดร่วง ก้อนคอนกรีตยึดจับผิวขวดน้ำดื่มพลาสติกได้ไม่ตึ๊ง	
1:6	ปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้น หินเกล็ดไม่หลุดร่วง ก้อนคอนกรีตยึดจับผิวขวดน้ำดื่มพลาสติกได้ดี	

4. การทดสอบด้านต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกตันแบบ (สถานที่ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)



ภาพที่ 20 พื้นที่คาดฟ้าชั้น 4 บริเวณติดตั้งบ้านจำลอง 3 หลังเพื่อทดสอบด้านอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศ (ก) พื้นที่ห้องปฏิบัติการชั้น 6 บริเวณหล่อขึ้นรูปและบ่มคอนกรีตบล็อกตันแบบ (ข)



ภาพที่ 21 แบบขยายตำแหน่งติดตั้งบ้านจำลองทั้ง 3 หลัง บริเวณคาดฟ้าชั้น 4

#### 4.1 การทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength)

ในการทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัดสูงสุด มีขั้นตอน คือ การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบ โดยใช้อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ : หินเกล็ด : น้ำ คือ 1 : 6 : น้ำ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ขนาด  $10 \times 38 \times 15$  ซม. จำนวน 5 ชั้น ตัวอย่างทดสอบ จากนั้นบ่มทิ้งไว้ 28 วัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์และคอนกรีตที่ได้มีการพัฒนากำลังตามมาตรฐาน (มอก. 58, 2516) ตัดหัวขวดน้ำออกให้เรียบเสมอกับผิวหน้าตัดคอนกรีต พอกปูนพลาสติกให้ทั่วผิว หน้าตัดและขีดให้เรียบที่สุด จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$  ทำการบันทึกผล หาค่าเฉลี่ยและสรุปค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 22 ขั้นตอนการทดสอบ การเจียรหน้าตัดผิวก่อนตัวอย่างทดสอบที่พอกด้วยปูนพลาสติกให้เรียบเสมอกันทั้งระนาบ (ก) คอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่บ่มทิ้งไว้ 28 วัน หลังเจียรหน้าตัดผิวให้เรียบ เพื่อทดสอบด้านการรับกำลังแรงอัดสูงสุด (ข) การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด (ค)

#### 4.2 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k)

ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ได้ทำการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบจำนวน 5 ชั้นตัวอย่างทดสอบ ขนาด  $20 \times 20 \times 2.5$  ซม. ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้ในเครื่องทดสอบหาค่า k อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : หินเกล็ด : น้ำ คือ 1 : 6 : ปริมาณน้ำร้อยละ 30 ของปริมาณปูนซีเมนต์ บ่มทิ้งไว้ 28 วัน เช่นเดียวกับการทดสอบการรับ กำลังแรงอัดสูงสุด จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Heat Flow Meter Instrument รุ่น HC-074 ของ Eco Instrument Co., Ltd. ตามมาตรฐาน

ASTM-C518 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$  เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ทำการบันทึกผลหาค่าเฉลี่ย และสรุปค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป



(ก)

(ก)

(ค)

ภาพที่ 23 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) แม่แบบเหล็ก ขนาด  $20 \times 20 \times 2.5$  ซม. (ก) คอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่บ่มทิ้งไว้ 28 วัน เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ก) เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค)

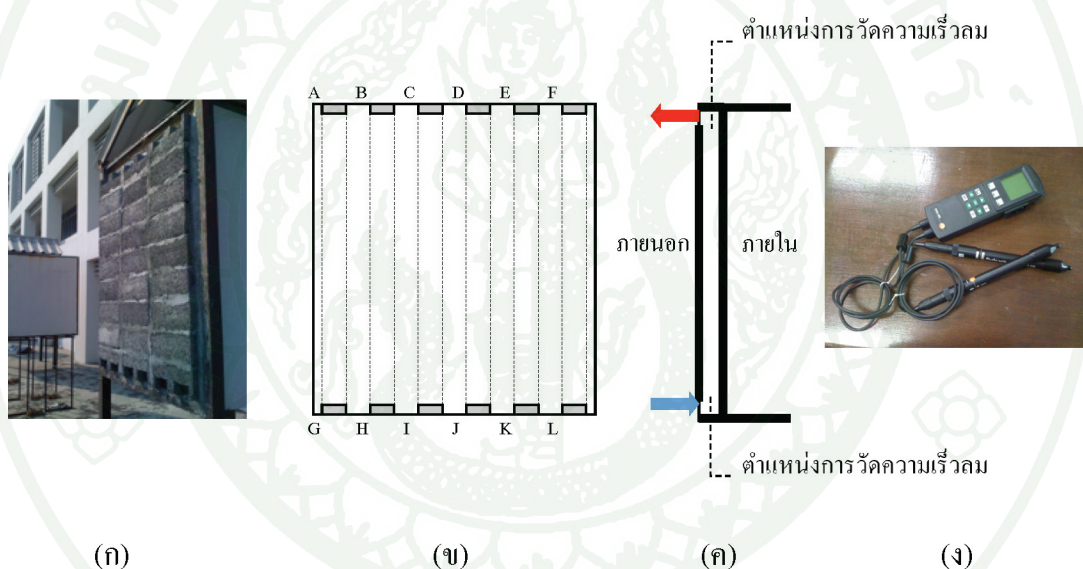
4.3 การทดสอบหาปริมาณอากาศและอัตราการไหลผ่านผนังบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกต้นแบบ



ภาพที่ 24 คอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่บ่มทิ้งไว้ 28 วัน จำนวน 27 ก้อน เพื่อนำไปทดสอบด้านการหาอัตราการไหลของอากาศและด้านอุณหภูมิ

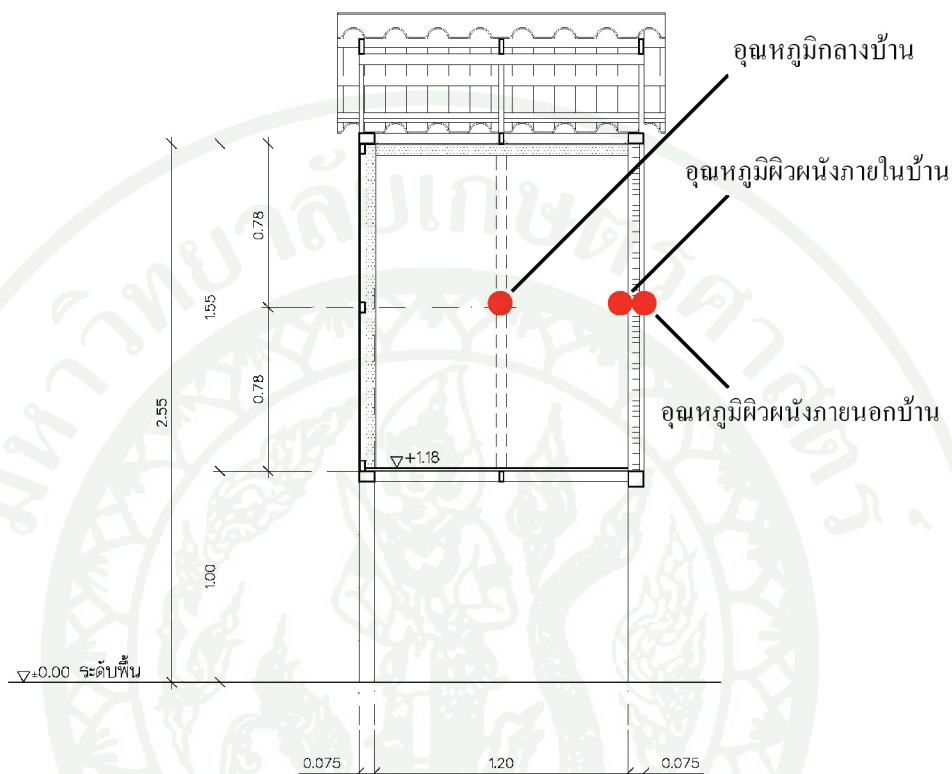


จัดทำบ้านจำลอง ขนาด  $1.20 \times 1.20 \times 1.60$  เมตร โดยยกสูงจากพื้น 1 เมตร โครงสร้างของบ้านจำลองเป็นโครงสร้างเหล็กวัสดุประกอบพื้นและผนังด้วยอิฐฉาบปูน กรุด้วยฉนวนโฟมแผ่น EPS ความหนาแน่น 25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หนา 10 เซนติเมตร ภายในผนังด้านทิศตะวันตก ตะวันออก และทิศเหนือที่มีประตู เปิด-ปิดได้ หลังคาทรงจั่วมุงกระเบื้องลอนคู่กรุฝ้าฉาบปูน และก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบทางด้านทิศใต้ ในการทดสอบหาอัตราความเร็วและปริมาณลมที่ไหลผ่านภายในผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบที่บริเวณด้านล่างและบนตามแนวขวดน้ำ มีการเปิดช่อง ขนาด  $5 \times 13$  เซนติเมตร เพื่อให้อากาศสามารถไหลผ่านได้ ทำการตรวจวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดความเร็วลม Testo 400 ทำการตรวจวัด บริเวณกึ่งกลางขวดเป็นแถวบน (ช่องลมออก) และ แถวล่าง (ช่องลมเข้า) พร้อมกันจากตำแหน่ง A และ G, B และ H, C และ I,...F และ L ตามลำดับ ทำการบันทึกผล (ดูภาพที่ 26) หาค่าเฉลี่ยและคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ



ภาพที่ 26 บ้านจำลอง ขนาด  $1.20 \times 1.20 \times 1.60$  เมตร ที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบบนผนังด้านทิศใต้ (ก) รูปด้านหน้าผนังแสดงแนวการวัดความเร็วลมตามลำดับแต่ละช่องเปิด (ข) รูปตัดผนังแสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลม (ค) เครื่องวัดความเร็วลม Testo 400 (ง)

#### 4.4 การทดสอบด้านอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง



ภาพที่ 27 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิเพื่อเก็บข้อมูลในบ้านจำลอง

โดยการจัดทำบ้านจำลอง ขนาด  $1.20 \times 1.20 \times 1.60$  เมตร ที่มีผนังด้านทิศใต้ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อกตันแบบ เพื่อทดสอบเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิ โดยเก็บข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 19 - 22 มี.ค. 56 ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ Hobo H84 – Channel External Logger และ External Sensors/Input Cables : Operating range:  $-4^{\circ}\text{F}$  to  $+158^{\circ}\text{F}$  ( $-20^{\circ}\text{C}$  to  $+70^{\circ}\text{C}$ ) ในตำแหน่งต่าง ๆ คือ ผิวผนังภายนอกบริเวณกลางกล่อง, ผิวผนังภายในบริเวณกลางกล่อง, ภายในบริเวณตรงกลางกล่อง ซึ่งทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาทีต่อเนื่องเป็นเวลา 1 วัน วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 28 การก่อผนังคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ การติดตั้งเก็บบันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิและความเร็วลมเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศ

(ก) บ้านจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไปทางทิศใต้

(ข) บ้านจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตมวลเบาไปทางทิศใต้

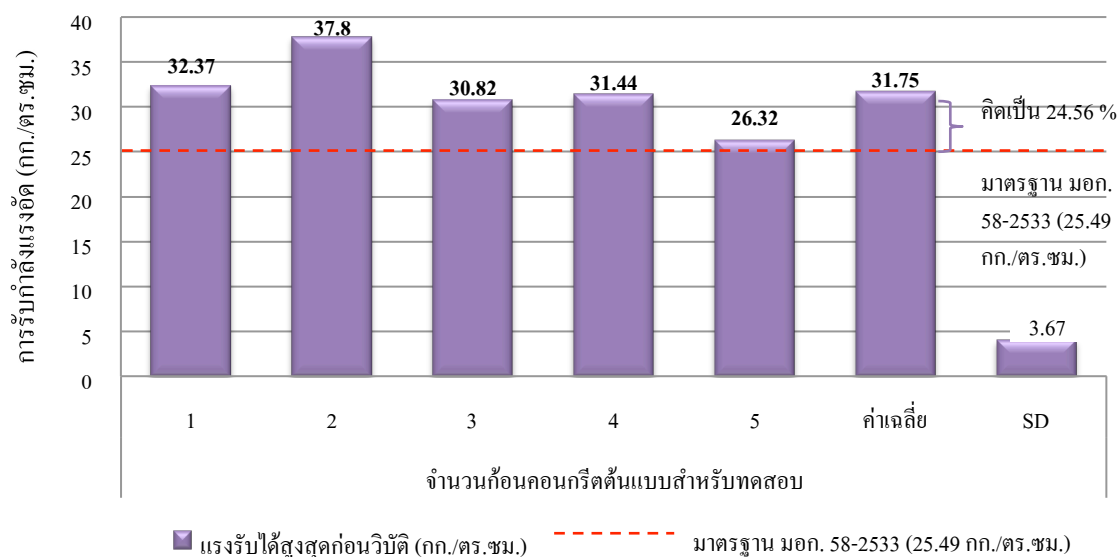
(ค) บ้านจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบทางทิศใต้

## ผลและวิจารณ์

### 1. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัด

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบค้ำน้ำหนักและด้านการรับกำลังแรงอัดของก้อนตัวอย่างทดสอบ ขนาด  $10 \times 38 \times 15$  ซม. จำนวน 5 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ

อัตราส่วนโดย ปริมาตร	การทดสอบ	ผลการทดสอบ						
		1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	SD
ปูนซีเมนต์ 1 : หินเกล็ด 6 : น้ำ 30% ของปูนซีเมนต์	น้ำหนัก (กก./ก้อน)	5.34	6.00	5.82	6.02	6.08	5.85	$\pm 0.604$
	แรงรับได้สูง สุดก่อนวิบัติ (กก./ซม. <sup>2</sup> )	32.37	37.8	30.82	31.44	26.32	31.75	$\pm 3.672$



### ภาพที่ 29 ผลการทดสอบด้านการรับกำลังแรงอัดสูงสุด

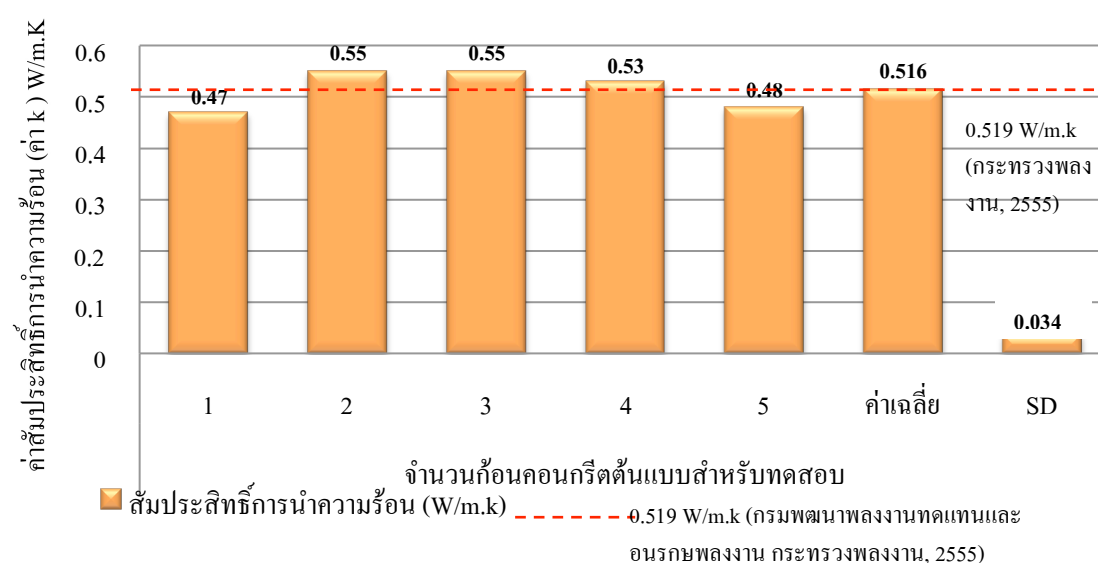
จากตารางที่ 5 และภาพที่ 29 พบว่าคอนกรีตบล็อกค้ำแบบจำนวน 5 ตัวอย่างทดสอบมีน้ำหนักต่อก้อน คือ 5.34, 6.00, 5.82, 6.02 และ 6.08 กก. ตามลำดับ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อน 5.85 กก. หรือ 1,026.32 กก./ลบ.ม. ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่มีน้ำหนัก 6.43 กก. หรือ 1,239.64 กก./ลบ.ม. คิดเป็นร้อยละ 18.66 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลัง

งาน, 2555) โดยคอนกรีตบล็อกตันแบบมีอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ 1 (1 กก.) : หินเกล็ด 6 (6 กก.) : น้ำร้อยละ 30 (0.3 กก.) ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ให้ผลการรับกำลังแรงอัดสูงสุดต่อก่อน คือ 32.37, 37.80, 30.82, 31.44 และ 26.32 กก./ตร.ซม จำนวน 5 ก้อนตามลำดับ ให้ผลการรับกำลังแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 5 ก้อน คือ 31.75 กก./ตร.ซม ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2533 ที่กำหนดให้ค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุดต่อก่อน คือ 20.00 กก./ตร.ซม และค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงอัดสูงสุด 5 ก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 25.49 กก./ตร.ซม โดยสามารถรับกำลังแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 5 ก้อน ได้มากกว่ามาตรฐาน มอก. 58-2533 คิดเป็นร้อยละ 24.56

## 2. ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k)

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ของก้อนตัวอย่างทดสอบ ขนาด  $20 \times 20 \times 2.5$  ซม. จำนวน 5 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ

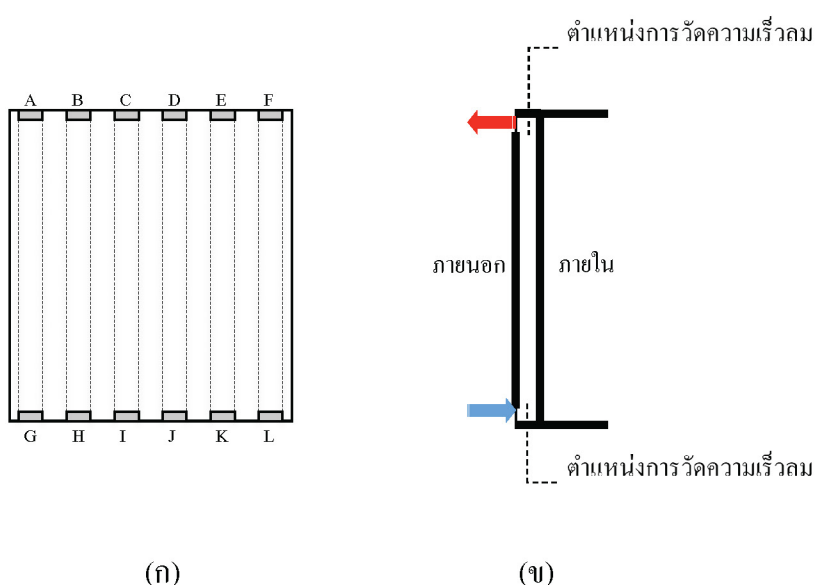
อัตราส่วนโดยประมาณ	การทดสอบ	ผลการทดสอบ						
		1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	SD
ปูนซีเมนต์ 1 :	น้ำหนัก							
หินเกล็ด 6 :	(กก./ก้อน)	1.55	1.60	1.75	1.45	1.57	1.58	$\pm 0.097$
น้ำ 30%	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน							
ของปูนซีเมนต์	(ค่า k) (W/m.k)	0.47	0.55	0.55	0.53	0.48	0.516	$\pm 0.034$



ภาพที่ 30 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k)

จากตารางที่ 6 และภาพที่ 30 พบว่าคอนกรีตบล็อกตันแบบจำนวน 5 ก้อน ตัวอย่างทดสอบ มีน้ำหนักต่อก้อน คือ 1.55, 1.60, 1.75, 1.45 และ 1.57 กก. ตามลำดับ มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 5 ก้อน คือ 1.58 กก. ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) แต่ละก้อนคือ 0.47, 0.55, 0.55, 0.53 และ 0.48 W/m.K ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) โดยเฉลี่ย 5 ก้อน คือ 0.516 W/m.K ซึ่งใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ของคอนกรีตบล็อกทั่วไป คือ 0.519 W/m.K (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2555)

### 3. ผลการทดสอบหาอัตราความเร็วและปริมาณอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกตันแบบ



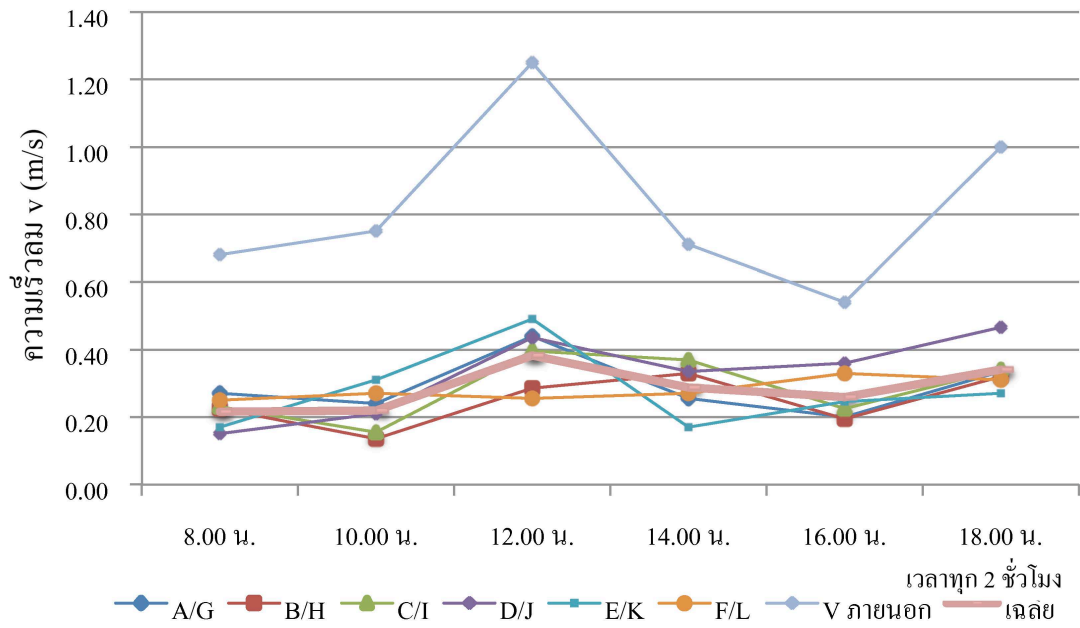
ภาพที่ 31 ภาพการวัดความเร็วลมบนผนังบ้านจำลองด้านทิศใต้ที่ก่อด้วยก้อนคอนกรีตบล็อกตันแบบ โดยรูปด้านแสดงตำแหน่งการวัดภายในช่องเปิดบนและล่าง ขนาด  $5 \times 13$  ซม. พร้อมกันในตำแหน่งกึ่งกลางช่องเปิดตำแหน่ง A และ G, B และ H, C และ I, ...F และ L ตามลำดับ (ก) รูปตัดผนังแสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลมบริเวณกึ่งกลาง (ข)



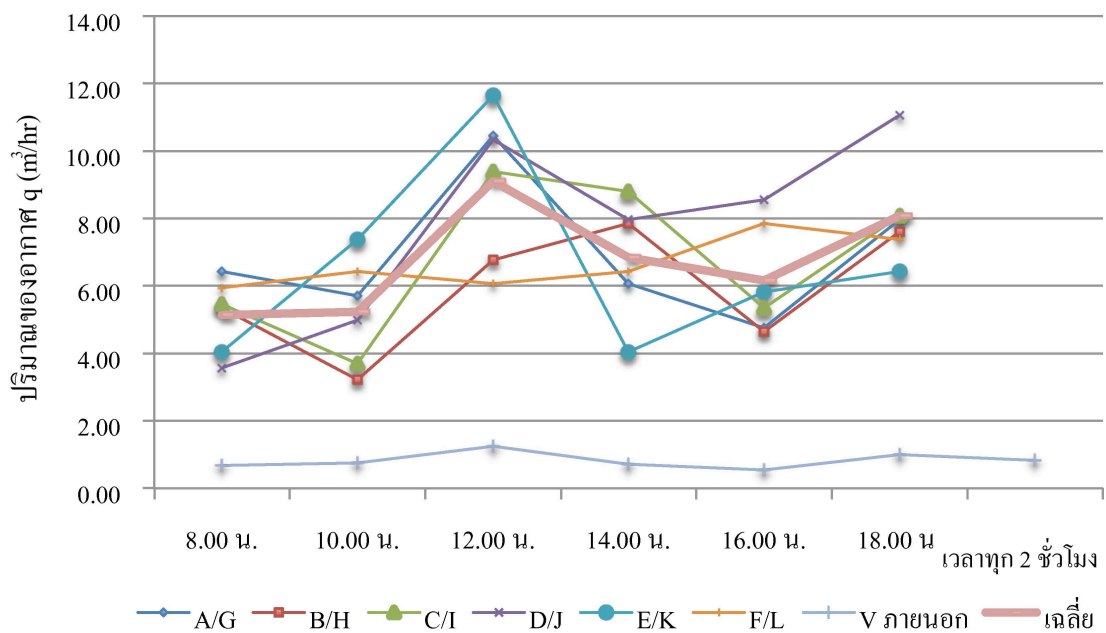
ตารางที่ 8 ผลการคำนวณหาปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกต้นแบบ วันที่ 5 ก.พ. 56 เวลา 8.00 – 18.00 น. เก็บข้อมูลทุก 2 ชั่วโมง

ปริมาณอากาศ เฉลี่ยห้อง เปิดบนและล่าง	Q (m <sup>3</sup> /hr) A/G	Q (m <sup>3</sup> /hr) B/H	Q (m <sup>3</sup> /hr) C/I	Q (m <sup>3</sup> /hr) D/J	Q (m <sup>3</sup> /hr) E/K	Q (m <sup>3</sup> /hr) F/L	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	V (m/s) ภายนอก
8.00 น.	6.42	5.35	5.46	3.56	4.04	5.94	6.42	3.56	5.13	0.68
10.00 น.	5.70	3.21	3.68	4.99	7.37	6.42	7.37	3.21	5.23	0.75
12.00 น.	10.45	6.77	9.39	10.34	11.64	6.06	11.64	3.21	9.11	1.25
14.00 น.	6.06	7.84	8.79	7.96	4.04	6.42	8.79	4.04	6.85	0.71
16.00 น.	4.75	4.63	5.35	8.55	5.82	7.84	8.55	4.04	6.16	0.54
18.00 น.	7.96	7.60	8.08	11.05	6.42	7.37	11.05	4.63	8.08	1.00
เฉลี่ย	6.89	5.90	6.79	7.74	6.55	6.67	8.97	3.78	6.76	0.82

จากตารางที่ 8 แสดงผลการคำนวณหาปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกต้นแบบที่ได้จากการวัดความเร็วอากาศ (ตารางที่ 7) มีปริมาณเฉลี่ยของอากาศที่คำนวณได้คือ 6.76 m<sup>3</sup>/hr คิดเป็น 21.125 m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup> เมื่อค่าความเร็วอากาศภายนอก คือ 0.82 m/s



ภาพที่ 32 ผลการทดสอบหาความเร็วอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกตันแบบ วันที่ 5 ก.พ. 56 วัดช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น. ทุก 2 ชั่วโมง

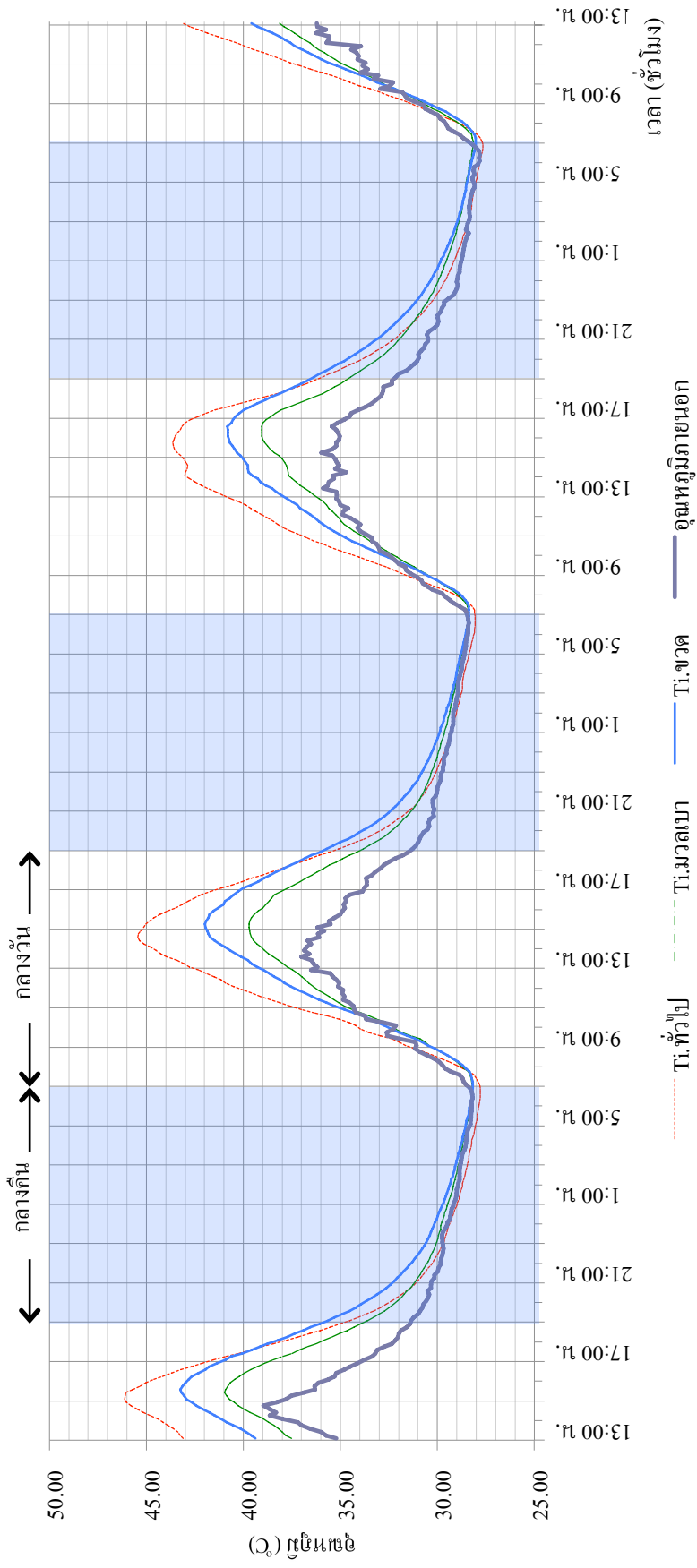


ภาพที่ 33 ผลการคำนวณหาปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกตันแบบ วันที่ 5 ก.พ. 56 วัดช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น. ทุก 2 ชั่วโมง

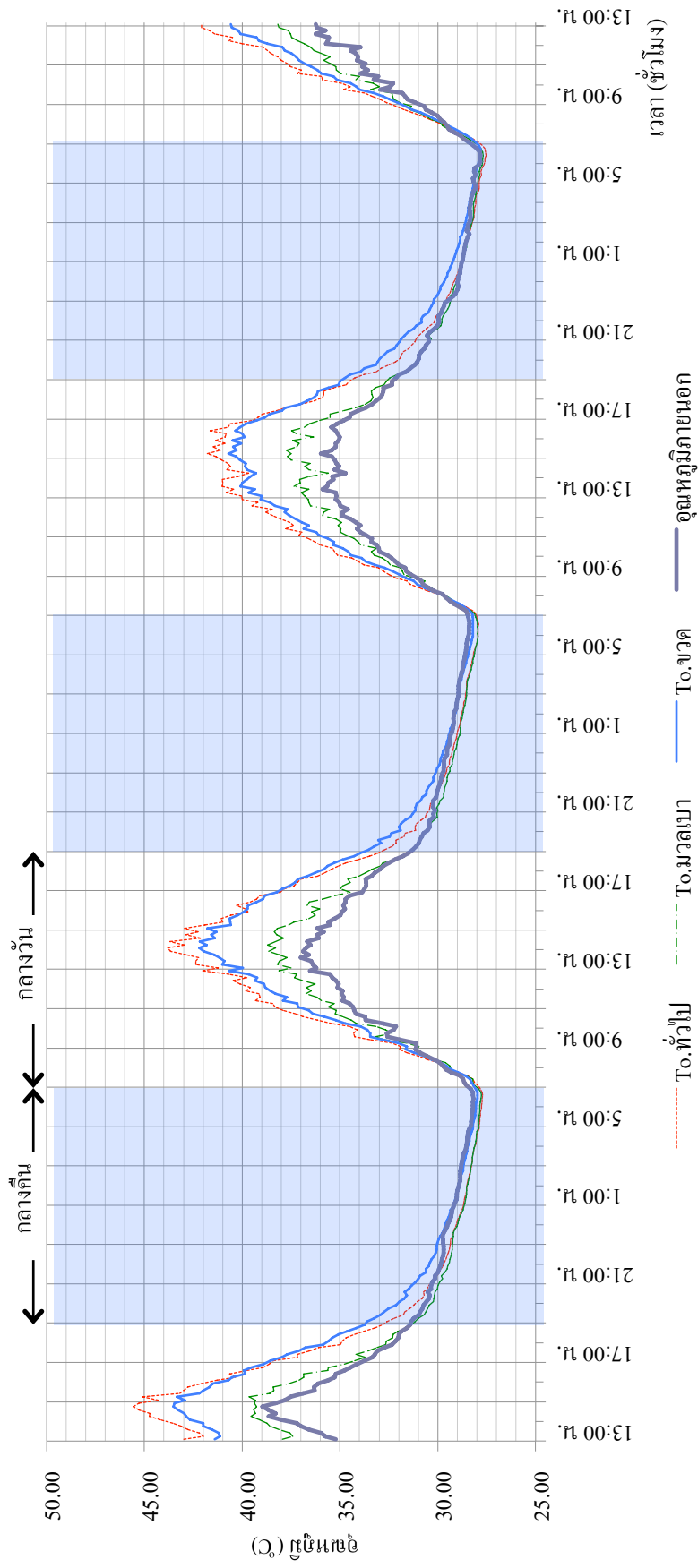
จากตารางที่ 7 และ 8 พบว่าผลการทดสอบหาความเร็วและอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกตันแบบมีความเร็วเฉลี่ยตลอดช่วงเวลากลางวัน 0.28 เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุด 0.49 เมตรต่อวินาที (เวลา 12.00 น.) ต่ำสุด 0.14 เมตรต่อวินาที (เวลา 10.00 น.) ความเร็วอากาศภายนอกที่วัดได้มีความเร็วเฉลี่ย 0.82 เมตรต่อวินาที โดยมีความเร็วสูงสุด 1.25 เมตรต่อวินาที (เวลา 12.00 น.) ต่ำสุด 0.54 เมตรต่อวินาที (16.00 น.) ปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกตันแบบเฉลี่ยตลอดช่วงเวลากลางวันวัดได้ 6.76 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คิดเป็น  $21.125 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$  เมื่อค่าความเร็วอากาศภายนอก คือ 0.82 m/s ปริมาณของอากาศสูงสุด 11.64 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (เวลา 12.00 น.) ต่ำสุด 3.21 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (เวลา 10.00 น.)

จากภาพที่ 32 และ 33 สรุปได้ว่าเกิดการไหลของอากาศในก้อนคอนกรีตบล็อกที่พัฒนา ซึ่งปริมาณและความเร็วแปรผันตามลมธรรมชาติในลักษณะ Stack Effect อัตราการไหลของอากาศช่วงที่สูงที่สุด คือ ช่วงกลางวัน เวลา 12.00 น. หากมีความแตกต่างของอุณหภูมิขนาดของช่องเปิดที่อากาศไหลผ่านและระยะห่างของท่อระบายอากาศภายในผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบมากเท่าใด คาดว่าการลดการถ่ายเทความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารโดยการพาความร้อนของอากาศในลักษณะ Stack Effect จะมีแนวโน้มที่มากขึ้น

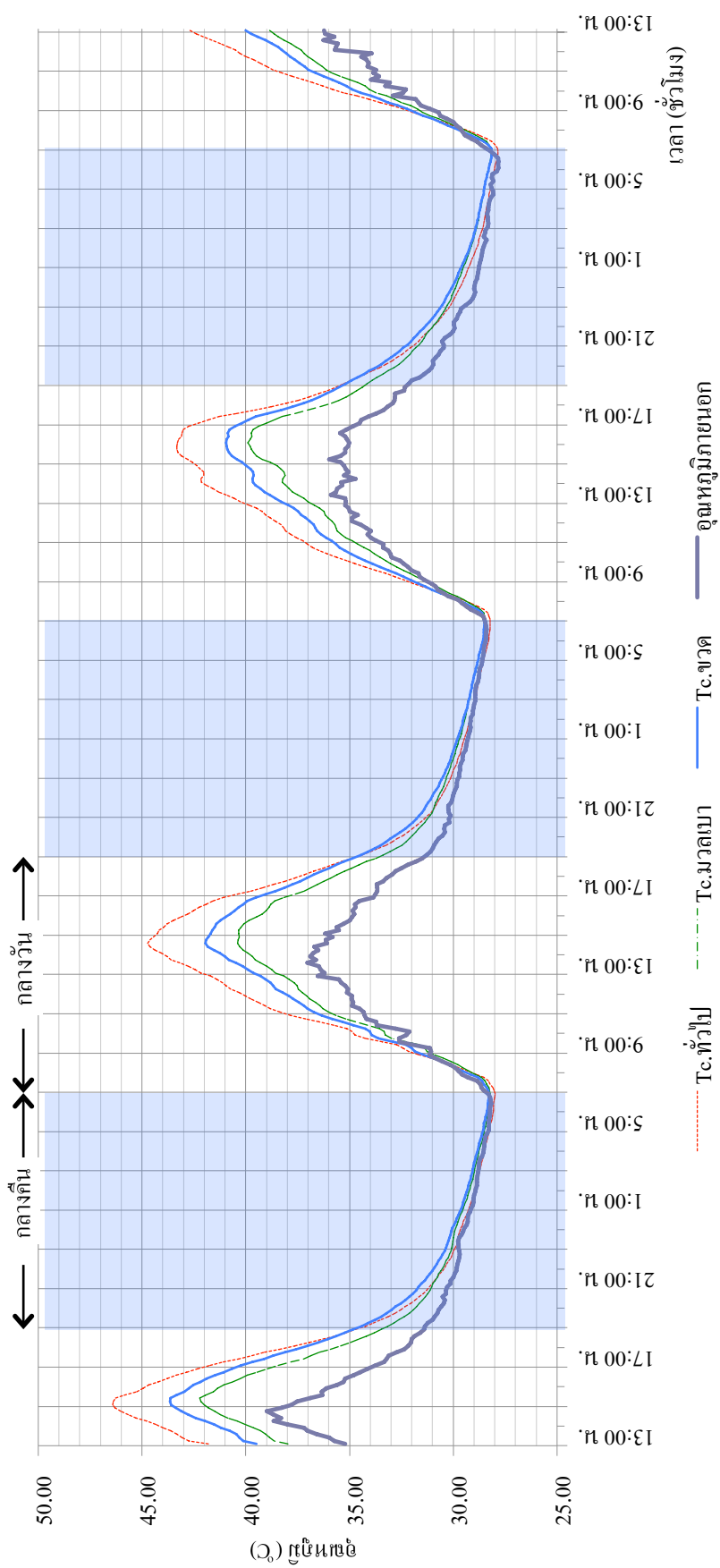
#### 4. ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง



ภาพที่ 34 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิผนังภายใน (Ti.) บ้านจำลองด้านทิศใต้ เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและ คอนกรีตบล็อกต้นแบบ ตั้งแต่วันที่ 19 - 22 มี.ค. 56 ทุก ๆ 10 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน



ภาพที่ 35 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิผนังภายนอก (To.) บ้านจำลองด้านทิศใต้ เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและ คอนกรีตบล็อกต้นแบบ ตั้งแต่วันที่ 19 - 22 มี.ค. 56 ทุก ๆ 10 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน



ภาพที่ 36 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิภายในตรงกลาง (Tc.) บ้านจำลองด้านทิศใต้ เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและ คอนกรีตบล็อกต้นแบบ ตั้งแต่วันที่ 19 - 22 มี.ค. 56 ทุก ๆ 10 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิบริเวณจุดวัดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

การวัดอุณหภูมิบริเวณต่างๆของบ้านจำลอง	Tc. (°C)	Ti. (°C)	To. (°C)
ภายนอก (max)	38.98		
(min)	27.83		
คอนกรีตทั่วไป (max)	46.42	46.13	45.56
(min)	27.85	27.65	27.65
มวลเบา (max)	42.21	40.98	39.61
(min)	28.17	28.15	27.68
คอนกรีตต้นแบบ (max)	43.65	43.25	43.53
(min)	28.15	28.02	27.80

จากภาพที่ 34, 35, 36 และตารางที่ 9 พบว่าสภาพอากาศโดยทั่วไปมีอุณหภูมิสูงสุด 38.98 °C ต่ำสุด 27.83 °C อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง ซึ่งอยู่ในสภาพปิด ช่วงเวลากลางวันสูงกว่าภายนอกอย่างเห็นได้ชัดเจน อุณหภูมิสูงสุดในบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกต้นแบบ คือ 43.65 °C ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป คือ 46.42 °C คิดเป็นร้อยละ 5.97 แต่สูงกว่าคอนกรีตมวลเบาเล็กน้อย คือ 42.21 °C คิดเป็นร้อยละ 3.30 ช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิภายในบ้านจำลองแต่ละหลังลดต่ำลงใกล้เคียงอุณหภูมิภายนอก โดยจะสูงกว่าภายนอกไม่มากนัก

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิบริเวณภายในบ้านจำลองช่วงเวลากลางวัน เพื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง ทั้ง 3 หลัง	อุณหภูมิสูงสุด Tc. (°C)			เฉลี่ย
	19 มี.ค. 56	20 มี.ค. 56	21 มี.ค. 56	
คอนกรีตทั่วไป	46.42	44.72	43.31	44.82
คอนกรีตต้นแบบ	43.65	41.94	40.95	42.18
คอนกรีตมวลเบา	42.21	40.40	39.89	40.83
ภายนอก	38.98	37.02	35.99	37.33

จากตารางที่ 10 พบว่าอุณหภูมิภายนอกโดยเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ตั้งแต่ วันที่ 19 – 21 มี.ค. 56 คือ 37.33 °C มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงสุดของบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตทั่วไป, คอนกรีตต้นแบบ, คอนกรีตมวลเบา คือ 44.82 °C, 42.18 °C และ 40.83 °C ตามลำดับ อุณหภูมิภายในโดยเฉลี่ยสูงสุดของบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตต้นแบบต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป คือ 2.64 °C คิดเป็นร้อยละ 5.90 แต่สูงกว่าคอนกรีตมวลเบาเล็กน้อย คือ 1.35 °C คิดเป็นร้อยละ 3.20 จากการพิจารณา

อุณหภูมิภายในบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ใกล้เคียงคอนกรีตมวลเบาแต่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ให้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533 มีดังนี้

#### 1. การออกแบบและพัฒนาคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

ขนาดของก้อนคอนกรีตบล็อกต้นแบบ Type 1 คือ กว้าง 10 ซม. x ยาว 38 ซม. x สูง 15 ซม. โดยบรรจุขวดน้ำดื่มตราเกษตร ขนาดความจุ 600 ลบ.ซม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.50 ซม. โดยพิจารณาความหนาของเปลือกคอนกรีตบล็อกต้นแบบที่หุ้มขวดน้ำ เทียบจากมาตรฐาน มอก. 58-2530 ซึ่ง กำหนดให้ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มม. ขณะหล่อขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบที่ บรรจุขวดน้ำ ต้องตัดปากและกันขวดออก เพื่อให้เกิดการไหลของอากาศ

การออกแบบรูปทรงและระบบการใช้งานของคอนกรีตบล็อกต้นแบบเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยวิธี ธรรมชาติ โดยการไหลของอากาศในลักษณะ Stack Effect โดยการวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาคอนกรีตบล็อกต้นแบบ Type 1 เป็นลำดับแรก (บล็อกตัวกลางที่ยอมให้อากาศไหลผ่านตลอดก้อน) ส่วนระบบท่อที่จะเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศนั้น อาศัยลักษณะทางกายภาพด้านรูปทรงของขวดน้ำ คือ คอขวดที่ตัดปากขวดออกแล้วนำมาสวมต่อกับกันขวดที่ถูกตัดออกทำให้สวมทับกันได้พอดี เมื่อนำแต่ละบล็อกมาก่อผนังจึงเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศอย่างต่อเนื่องโอกาสรั่วไหลภายในบล็อกน้อย

#### 2. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการหล่อขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

คอนกรีตบล็อกต้นแบบมีอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ 1 (1 กก.) : หินเกล็ด 6 (6 กก.) : น้ำร้อยละ 30 (0.3 กก.) ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

#### 3. คุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัด

จากขนาดรูปทรงและอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกต้นแบบส่งผลให้การรับกำลังแรงอัดที่ 31.75 กก./ตร.ซม. ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2533 ที่กำหนดให้ค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุดต่อก้อนคือ 2.00 กก./ตร.ซม. และค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงอัดสูงสุด 5 ก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 25.49 กก./ตร.ซม. โดยสามารถรับกำลังแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 5 ก้อน ได้มากกว่ามาตรฐาน มอก. 58-2533 คิดเป็นร้อยละ 24.56 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อน 5.85 กก. ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่มีน้ำหนัก 6.43 กก.

คิดเป็นร้อยละ 9.02 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555)

#### 4. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k)

จากอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกตันแบบส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) แต่ละก้อนคือ 0.47, 0.55, 0.55, 0.53 และ 0.48 W/m.K ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) โดยเฉลี่ย 5 ก้อน คือ 0.516 W/m.K ซึ่งใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ของคอนกรีตบล็อกทั่วไป คือ 0.519 W/m.K (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ที่ได้สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนรวม (ค่า R) แบบที่มีวัสดุแตกต่างกันและมีช่องว่างอากาศ ภายใน จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (ค่า U) ของคอนกรีต บล็อกตันแบบที่ทำการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นฉนวนกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป

#### 5. อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านคอนกรีตบล็อกตันแบบ

เกิดการไหลของอากาศในก้อนคอนกรีตบล็อกที่พัฒนา ซึ่งปริมาณและความเร็วแปรผันตามลมธรรมชาติในลักษณะ Stack Effect อัตราการไหลของอากาศช่วง ที่สูงที่สุด คือ ช่วงกลางวัน เวลา 12.00 น. หากมีความแตกต่างของอุณหภูมิขนาดของช่องเปิดที่อากาศไหลผ่านและระยะห่างของท่อระบายอากาศภายในผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบมากเท่าใด คาดว่าการลดการถ่ายเทความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร โดยการพาความร้อนของอากาศในลักษณะ Stack Effect จะมีแนวโน้มที่มากขึ้น

#### 6. การทดสอบด้านอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง เปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อกตันแบบ

จากการพิจารณาอุณหภูมิภายในบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกตันแบบมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ใกล้เคียงคอนกรีตมวลเบาแต่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป

#### ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ มุ่งเน้นพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ที่มีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยวิธีธรรมชาติโดยการไหลของอากาศในลักษณะ Stack Effect เพื่อจะนำวัสดุ เหลือใช้พัฒนาให้เกิดมูลค่าเพิ่มโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ

ด้านรูปทรงของขวดมาประยุกต์ให้เกิดการไหลของอากาศ และเน้นเทคโนโลยีที่ง่าย และเหมาะสมในการผลิตด้วยงบประมาณที่จำกัด โดยผลจากการศึกษาและทดสอบได้มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

#### 1. การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกต้นแบบ

เพื่อการผลิตสู่อุตสาหกรรมควรใช้เครื่องมือในการผลิตที่มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้นและใช้เทคนิคการผลิตให้เกิดช่องว่างของโพรงอากาศแทนการใช้ขวดน้ำ

#### 2. ปัญหาในเรื่องการขนส่งเคลื่อนย้ายอาจเกิดความเสียหายระหว่างขนส่งคอนกรีตบล็อกต้นแบบได้

#### 3. การพิจารณาวัสดุทางเลือกอื่นมาทดแทนการใช้คอนกรีต

เพื่อช่วยให้น้ำหนักเบาขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน ไม้บวบหรือแตก

#### 4. ระบบการติดตั้ง

หรืออุปกรณ์ตะแกรงกันสัตว์และแมลงที่จะเข้าช่องอากาศ ทั้งด้านบนและด้านล่างรวมถึงการพัฒนาประสิทธิภาพระบบการไหลของอากาศในลักษณะ Stack Effect

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์. 2554. การออกแบบที่พึงพาธรรมชาติเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ โรงเรียนอนุรักษ์พลังงานแห่งอนาคต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี
- ชาญ มีทิพย์กิจ. 2553. การพัฒนาต้นแบบคอนกรีตบล็อก L-SHAPE ผสมเม็ดโฟม EPS เพื่อการระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธนิต จินดาวณิก, คมกฤษ ชูเกียรติมันและปริมลาภ วสุวัต. 2543. ข้อมูลอากาศประเทศไทย สำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ปริดา โยธาพิทยากุล. 2552. ต้นแบบคอนกรีตบล็อกที่ลดการสะสมความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิทธิชัย แสงอาทิตย์. 2546. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐบล็อก. เอกสารประกอบการสัมมนางานวิจัยของคณาจารย์ มทส. และความร่วมมือด้านการวิจัยในภาคีอุดมศึกษา ประจำปี 2546.: 156-158.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2516. มาตรฐานอุตสาหกรรมกำลังรับแรงกดอัด. มอก. 58-2516.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวง. มอก. 57-2530.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก. มอก. 58-2530.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (แก้ไขครั้งที่ 1). มอก. 58-2533.
- Fanger, P.O. 1972. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering.** McGraw-Hill, Inc., New York.

Khedari,J., M. Rungsiyopas, R. Sarachitti and J. Hirunlabh. 2004. A new type of vented concrete block for zero cooling energy. **Building and Environment** 39 (10): 1193-1197.

Kreider, J.F. and A. Rabl. 1994. **Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency.** McGraw-Hill, Inc., New York.

Lechner, N. 1991. **Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects.** John Wiley & Sons, Inc.\., New York.

Zhai. X. Q., Song. Z. P. and Wang. R. Z. 2011. A review for the applications of solar chimneys in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** (15): 3757-3767.

**ภาคผนวก**



## TEST REPORT

Date : 19 December 2012

Report Number : 1212-001

### THIS TEST IS SPECIFIC FOR :

"โครงการ การศึกษาการพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้"  
 สาขาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sample Type	Thermal Conductivity (W/mK)				
	Thicknes (cm)	Test Temp 1 (°C)	Test Temp 2 (°C)	K-Value	Remark
1. แผ่นคอนกรีต ต้นแบบ	2.590 ± 0.0003	20.000	50.000	0.516 ± 0.0002	Follow Up ASTM-C518

Reference Methode : ASTM C518

Test By : Kanokon Hancharoen  
 (Kanokon Hancharoen)  
 Metrologist



Pasinee Sunakorn  
 Associate Professor Pasinee Sunakorn  
 Director of CBIT  
 Center of Building Innovation & Technology

ศูนย์เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางอาคาร

50 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900 โทรศัพท์ 02-942-8960-3 โทรสาร 02-942-8960-3 ต่อ202

ภาพผนวกที่ ก1 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ด้วยเครื่องทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน Heat Flow Meter Instrument รุ่น HC-074 ของ Eco Instrument Co., Ltd. ตามมาตรฐาน ASTM-C518 ค่าความคลาดเคลื่อน ± 1%

ผลการเก็บบันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิในบ้านจำลองที่ก่อด้วยบล็อกคอนกรีตชนิดต่างๆ

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการทดลองอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิผิวผนังภายนอก (To.) ของบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อกต้นแบบทางทิศใต้ ระหว่างวันที่ 19 มีนาคม 2556 – 22 มีนาคม 2556 ดังตารางต่อไปนี้

อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิผิวผนังภายนอกบ้านจำลอง (To.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที เฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อกต้นแบบ
19/03/2556 13:00	35.21	41.80	37.98	41.56
14:00:00.0	36.76	43.51	39.24	43.12
15:00:00.0	38.45	45.74	41.30	42.28
16:00:00.0	36.46	45.56	41.71	39.90
17:00:00.0	34.61	43.04	39.61	37.33
18:00:00.0	32.82	39.39	36.62	34.77
19:00:00.0	31.71	35.51	34.02	32.86
20:00:00.0	30.86	33.02	32.27	31.64
21:00:00.0	30.40	31.57	31.31	30.79
22:00:00.0	29.98	30.71	30.74	30.19
23:00:00.0	29.73	30.10	30.23	29.83
20/03/2556 00:00	29.64	29.75	29.97	29.41
01:00:00.0	29.26	29.41	29.68	29.05
02:00:00.0	28.99	29.07	29.32	28.81
03:00:00.0	28.84	28.81	29.05	28.58
04:00:00.0	28.66	28.58	28.84	28.34
05:00:00.0	28.43	28.36	28.59	28.13
06:00:00.0	28.25	28.14	28.38	28.01
07:00:00.0	28.27	28.02	28.25	28.61
08:00:00.0	29.14	28.56	28.66	30.54
09:00:00.0	30.63	30.90	30.36	32.83

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิผิวผนังภายนอกบ้านจำลอง (To.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที				
เฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อก ต้นแบบ
10:00:00.0	32.11	33.73	32.48	35.44
11:00:00.0	33.83	36.78	34.87	37.80
12:00:00.0	34.85	39.56	36.77	39.43
13:00:00.0	35.65	41.33	37.89	41.08
14:00:00.0	36.68	43.31	39.35	41.76
15:00:00.0	36.24	44.51	40.30	40.62
16:00:00.0	35.17	43.56	39.86	39.12
17:00:00.0	34.40	41.62	38.51	37.16
18:00:00.0	33.42	38.43	36.39	34.99
19:00:00.0	32.01	35.59	34.34	32.93
20:00:00.0	30.85	33.15	32.44	31.68
21:00:00.0	30.30	31.69	31.46	30.94
22:00:00.0	30.14	30.82	30.87	30.34
23:00:00.0	29.84	30.29	30.45	29.92
21/02/2556 00:00	29.63	29.89	30.11	29.56
01:00:00.0	29.38	29.56	29.80	29.27
02:00:00.0	29.19	29.27	29.52	29.01
03:00:00.0	29.01	29.02	29.30	28.83
04:00:00.0	28.88	28.83	29.10	28.59
05:00:00.0	28.68	28.62	28.87	28.33
06:00:00.0	28.50	28.38	28.64	28.20
07:00:00.0	28.43	28.23	28.48	28.80
08:00:00.0	29.22	28.78	28.89	30.80
09:00:00.0	30.79	31.22	30.63	32.97
10:00:00.0	32.06	33.97	32.54	35.03
11:00:00.0	33.27	36.53	34.19	36.66
12:00:00.0	34.26	38.09	35.56	38.18
13:00:00.0	34.98	39.44	36.43	39.65

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิผิวผนังภายนอกบ้านจำลอง (To.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที				
เฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อก ต้นแบบ
14:00:00.0	35.52	41.41	37.79	39.74
15:00:00.0	35.15	42.22	38.36	40.38
16:00:00.0	35.32	43.18	39.63	39.91
17:00:00.0	35.04	42.91	39.55	37.82
18:00:00.0	33.61	39.99	37.30	35.72
19:00:00.0	32.54	36.32	34.79	33.86
20:00:00.0	31.37	34.07	33.27	32.42
21:00:00.0	30.68	32.39	32.03	31.37
22:00:00.0	30.18	32.39	32.03	30.51
23:00:00.0	29.71	31.30	31.23	29.94
22/03/2556 00:00	29.03	30.44	30.53	29.45
01:00:00.0	28.83	29.84	30.02	29.06
02:00:00.0	28.63	29.39	29.64	28.74
03:00:00.0	28.44	29.01	29.28	28.47
04:00:00.0	28.34	28.69	28.97	28.27
05:00:00.0	28.18	28.46	28.75	28.05
06:00:00.0	28.04	28.28	28.57	27.85
07:00:00.0	28.02	28.08	28.39	28.71
08:00:00.0	29.22	27.89	28.20	30.70
09:00:00.0	30.44	28.66	28.85	33.12
10:00:00.0	32.11	31.23	30.89	35.59
11:00:00.0	33.57	37.50	35.22	37.39
12:00:00.0	34.41	39.78	36.86	39.65
13:00:00.0	35.93	41.80	38.25	40.57

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการทดลองอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิผิวผนังภายใน (Ti.) ของบ้านจำลอง  
ที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อกตันแบบทาง  
ทิศใต้ ระหว่างวันที่ 19 มีนาคม 2556 – 22 มีนาคม 2556 ดังตารางต่อไปนี้

อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิผิวผนังภายในบ้านจำลอง (Ti.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที เฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อก ตันแบบ
19/03/2556 13:00	35.21	42.98	37.95	40.06
14:00:00.0	36.76	42.98	38.26	41.92
15:00:00.0	38.45	44.98	39.37	43.09
16:00:00.0	36.46	42.91	38.30	42.14
17:00:00.0	34.61	39.46	35.66	39.85
18:00:00.0	32.82	36.14	33.31	37.14
19:00:00.0	31.71	33.56	31.78	34.75
20:00:00.0	30.86	31.57	30.59	33.01
21:00:00.0	30.40	30.60	30.07	31.83
22:00:00.0	29.98	29.90	29.61	30.96
23:00:00.0	29.73	29.45	29.29	30.38
20/03/2556 00:00	29.64	29.19	29.13	29.94
01:00:00.0	29.26	28.81	28.77	29.53
02:00:00.0	28.99	28.56	28.53	29.20
03:00:00.0	28.84	28.36	28.35	28.93
04:00:00.0	28.66	28.18	28.18	28.66
05:00:00.0	28.43	27.96	27.99	28.43
06:00:00.0	28.25	27.82	27.87	28.24
07:00:00.0	28.27	27.78	27.87	28.28
08:00:00.0	29.14	28.80	28.79	29.37
09:00:00.0	30.63	31.15	30.55	31.38
10:00:00.0	32.11	33.84	32.62	33.70
11:00:00.0	33.83	36.99	34.91	36.27
12:00:00.0	34.85	39.24	36.23	38.26
13:00:00.0	35.65	40.71	37.22	39.97

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิผิวผนังภายในบ้านจำลอง (Ti.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที				
เฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อก ต้นแบบ
14:00:00.0	36.68	42.88	38.18	41.50
15:00:00.0	36.24	42.81	38.28	41.81
16:00:00.0	35.17	40.69	36.72	40.80
17:00:00.0	34.40	39.03	35.65	39.12
18:00:00.0	33.42	36.49	34.17	37.02
19:00:00.0	32.01	33.86	32.08	34.83
20:00:00.0	30.85	31.86	30.84	33.10
21:00:00.0	30.30	30.79	30.17	31.93
22:00:00.0	30.14	30.18	29.82	31.11
23:00:00.0	29.84	29.72	29.52	30.53
21/02/2556 00:00	29.63	29.38	29.23	30.08
01:00:00.0	29.38	29.09	28.97	29.72
02:00:00.0	29.19	28.85	28.78	29.41
03:00:00.0	29.01	28.63	28.58	29.13
04:00:00.0	28.88	28.49	28.45	28.91
05:00:00.0	28.68	28.25	28.21	28.66
06:00:00.0	28.50	28.01	28.01	28.44
07:00:00.0	28.43	27.98	28.01	28.47
08:00:00.0	29.22	29.05	29.05	29.60
09:00:00.0	30.79	31.52	30.81	31.59
10:00:00.0	32.06	33.86	32.47	33.85
11:00:00.0	33.27	36.12	33.92	35.72
12:00:00.0	34.26	37.69	35.17	37.15
13:00:00.0	34.98	39.33	36.31	38.69
14:00:00.0	35.52	40.75	36.94	39.78
15:00:00.0	35.15	40.70	36.78	40.49
16:00:00.0	35.32	41.25	37.22	40.74
17:00:00.0	35.04	40.40	36.61	39.74

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิผิวผนังภายในบ้านจำลอง (Ti.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที				
เฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อก ต้นแบบ
18:00:00.0	33.61	37.38	34.17	37.59
19:00:00.0	32.54	35.08	32.96	35.59
20:00:00.0	31.37	32.74	31.38	33.87
21:00:00.0	30.68	31.46	30.61	32.54
22:00:00.0	30.18	30.50	30.03	31.50
23:00:00.0	29.71	29.79	29.49	30.68
22/03/2556	29.03	29.29	29.16	30.07
00:00				
01:00:00.0	28.83	28.91	28.86	29.58
02:00:00.0	28.63	28.60	28.59	29.15
03:00:00.0	28.44	28.32	28.34	28.82
04:00:00.0	28.34	28.11	28.17	28.57
05:00:00.0	28.18	27.94	28.02	28.36
06:00:00.0	28.04	27.74	27.82	28.12
07:00:00.0	28.02	27.66	27.83	28.20
08:00:00.0	29.22	29.09	29.23	29.47
09:00:00.0	30.44	31.51	31.11	31.63
10:00:00.0	32.11	34.04	32.77	34.12
11:00:00.0	33.57	36.87	34.83	36.47
12:00:00.0	34.41	38.73	36.16	38.37
13:00:00.0	35.93	41.40	37.68	39.57

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการทดลองอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิภายใน (Tc.) ของบ้านจำลองที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อกต้นแบบทางทิศใต้ ระหว่างวันที่ 19 มีนาคม 2556 – 22 มีนาคม 2556 ดังตารางต่อไปนี้

อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Tc.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาทีเฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อกต้นแบบ
19/03/2556 13:00	35.21	43.10	37.51	40.39
14:00:00.0	36.76	43.78	38.35	42.53
15:00:00.0	38.45	45.56	40.07	43.31
16:00:00.0	36.46	45.48	40.79	41.63
17:00:00.0	34.61	42.90	39.41	38.90
18:00:00.0	32.82	39.35	36.89	35.88
19:00:00.0	31.71	35.80	34.49	33.66
20:00:00.0	30.86	33.17	32.63	32.24
21:00:00.0	30.40	31.54	31.49	31.33
22:00:00.0	29.98	30.54	30.75	30.66
23:00:00.0	29.73	29.88	30.21	30.22
20/03/2556 00:00	29.64	29.49	29.87	29.86
01:00:00.0	29.26	29.12	29.58	29.49
02:00:00.0	28.99	28.79	29.25	29.20
03:00:00.0	28.84	28.54	28.99	28.97
04:00:00.0	28.66	28.32	28.77	28.71
05:00:00.0	28.43	28.11	27.99	28.49
06:00:00.0	28.25	27.91	27.87	28.32
07:00:00.0	28.27	27.80	28.23	28.64
08:00:00.0	29.14	28.35	28.44	30.44
09:00:00.0	30.63	30.49	29.69	32.76
10:00:00.0	32.11	33.16	31.55	35.10
11:00:00.0	33.83	36.04	33.73	37.34
12:00:00.0	34.85	39.56	35.75	38.76
13:00:00.0	35.65	41.76	37.13	40.33
14:00:00.0	36.68	44.00	38.55	41.71

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

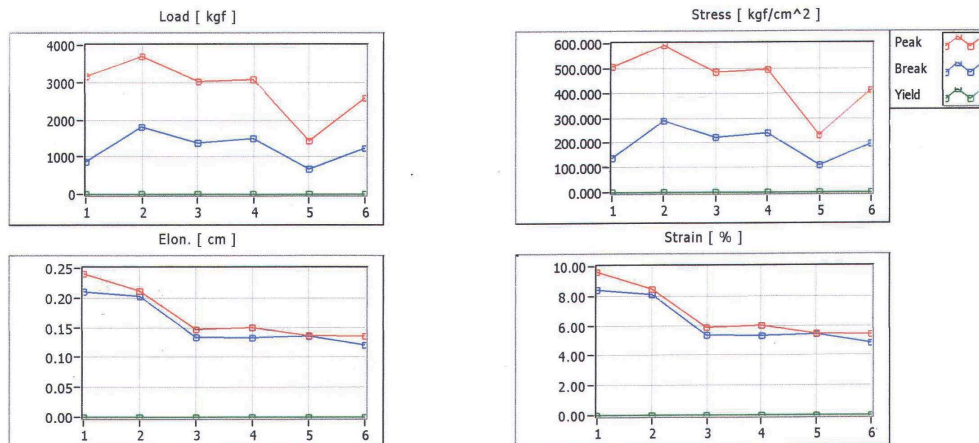
อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Tc.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาทีเฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อก ต้นแบบ
15:00:00.0	36.24	45.29	40.30	41.40
16:00:00.0	35.17	44.36	39.45	40.20
17:00:00.0	34.40	42.25	38.37	37.99
18:00:00.0	33.42	39.31	36.62	35.80
19:00:00.0	32.01	36.33	34.70	33.69
20:00:00.0	30.85	33.66	32.84	32.25
21:00:00.0	30.30	31.95	31.67	31.36
22:00:00.0	30.14	30.87	30.90	30.78
23:00:00.0	29.84	30.24	30.42	30.31
21/02/2556	29.63	29.78	30.05	29.97
00:00				
01:00:00.0	29.38	29.41	29.74	29.64
02:00:00.0	29.19	29.10	29.46	29.37
03:00:00.0	29.01	28.85	29.22	29.14
04:00:00.0	28.88	28.67	29.03	28.93
05:00:00.0	28.68	28.45	28.82	28.70
06:00:00.0	28.50	28.20	28.60	28.52
07:00:00.0	28.43	28.06	28.44	28.84
08:00:00.0	29.22	28.57	28.66	30.76
09:00:00.0	30.79	30.74	29.93	32.95
10:00:00.0	32.06	33.33	31.64	35.02
11:00:00.0	33.27	36.11	33.33	36.38
12:00:00.0	34.26	38.32	34.81	37.42
13:00:00.0	34.98	40.15	35.85	38.94
14:00:00.0	35.52	42.28	37.16	39.73
15:00:00.0	35.15	43.00	37.87	40.65
16:00:00.0	35.32	43.56	38.79	40.81
17:00:00.0	35.04	42.98	38.93	39.10
18:00:00.0	33.61	40.45	37.38	36.32
19:00:00.0	32.54	37.05	35.17	34.47

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

อุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (Tc.) เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาทีเฉลี่ยรายชั่วโมง				
วันที่ - เวลา	อุณหภูมิภายนอก	คอนกรีตบล็อกทั่วไป	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตบล็อก ต้นแบบ
20:00:00.0	31.37	34.62	33.58	32.92
21:00:00.0	30.68	32.76	32.30	31.82
22:00:00.0	30.18	31.48	31.42	30.96
23:00:00.0	29.71	30.51	30.69	30.33
22/03/2556 00:00	29.03	29.79	30.11	29.84
01:00:00.0	28.83	29.28	29.67	29.41
02:00:00.0	28.63	28.87	29.30	29.07
03:00:00.0	28.44	28.52	28.98	28.82
04:00:00.0	28.34	28.27	28.73	28.61
05:00:00.0	28.18	28.08	28.56	28.41
06:00:00.0	28.04	27.88	28.38	28.20
07:00:00.0	28.02	27.69	28.19	28.76
08:00:00.0	29.22	28.35	28.53	30.86
09:00:00.0	30.44	30.51	30.07	33.33
10:00:00.0	32.11	33.25	32.03	35.71
11:00:00.0	33.57	36.26	34.11	37.52
12:00:00.0	34.41	39.21	35.95	38.94
13:00:00.0	35.93	42.03	37.50	40.00

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

**Testing Report**



	PeakLoad	PeakElong.	PeakStress	PeakStrain	BreakLoad	BreakElong.	BreakStress	BreakStrain
Filename	kgf	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	%	kgf	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	%
1.Block1.tst	3162	0.24	505.855	9.64	864	0.21	138.222	8.40
2.Block2.tst	3704	0.21	592.617	8.44	1803	0.20	288.507	8.08
3.Block3.tst	3020	0.15	483.279	5.88	1383	0.13	221.222	5.36
4.Block4.tst	3081	0.15	493.018	6.00	1498	0.13	239.703	5.32
5.Block5.tst	1435	0.14	229.632	5.48	679	0.14	108.674	5.44
6.Block6.tst	2579	0.14	412.674	5.44	1224	0.12	195.879	4.84
Average	2830	0.17	452.846	6.81	1242	0.16	198.701	6.24
Standard Devi.	704.912	0.041	112.786	1.624	378.662	0.036	60.586	1.430
PKM(Ca)	5658.574	-Inf	Inf	Inf	2481.764	Inf	Inf	Inf
DPK(Cp)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CV%	24.906	23.842	24.906	23.842	30.491	22.919	30.491	22.919

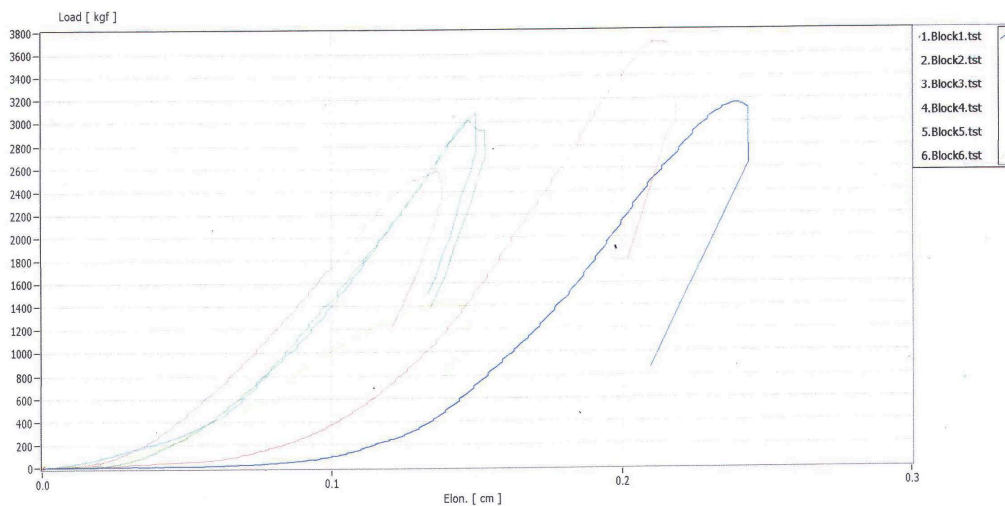
ภาพผนวกที่ ข1 ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$

**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

**Testing Report**

1.Customer : หัสยา	9.Specimen : 21D
2.Operator : หัสยา	10.Spec.Length : 2.500cm
3.Lot No. : Block	11.Spec. WxT : 2.5000x2.5000cm
4.Date : 1/14/2013	12.Spec.Area : 6.2500cm <sup>2</sup>
5.Temperature: 30 C	13.Total Energy: 12J
6.Speed :Single Speed V1= 0.50cm/min	14.Elasticity Modu. : 10207.801kgf/cm <sup>2</sup>
7.Test Style : Compression Test	15.Notice : 21D
8.Standard : ASTM	

Filename	PeakLoad kgf	PeakElon. cm	PeakStress kgf/cm <sup>2</sup>	PeakStrain %	BreakLoad kgf	BreakElon. cm	BreakStress kgf/cm <sup>2</sup>	BreakStrain %
1.Block1.tst	3162	0.24	505.855	9.64	864	0.21	138.222	8.40
2.Block2.tst	3704	0.21	592.617	8.44	1803	0.20	288.507	8.08
3.Block3.tst	3020	0.15	483.279	5.88	1383	0.13	221.222	5.36
4.Block4.tst	3081	0.15	493.018	6.00	1498	0.13	239.703	5.32
5.Block5.tst	1435	0.14	229.632	5.48	679	0.14	108.674	5.44
6.Block6.tst	2579	0.14	412.674	5.44	1224	0.12	195.879	4.84
Average	2830	0.17	452.846	6.81	1242	0.16	198.701	6.24
Standard Devi.	704.912	0.041	112.786	1.624	378.662	0.036	60.586	1.430
PKM(Ca)	5658.574	-Inf	Inf	Inf	2481.764	Inf	Inf	Inf
DPK(Cp)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CV%	24.906	23.842	24.906	23.842	30.491	22.919	30.491	22.919



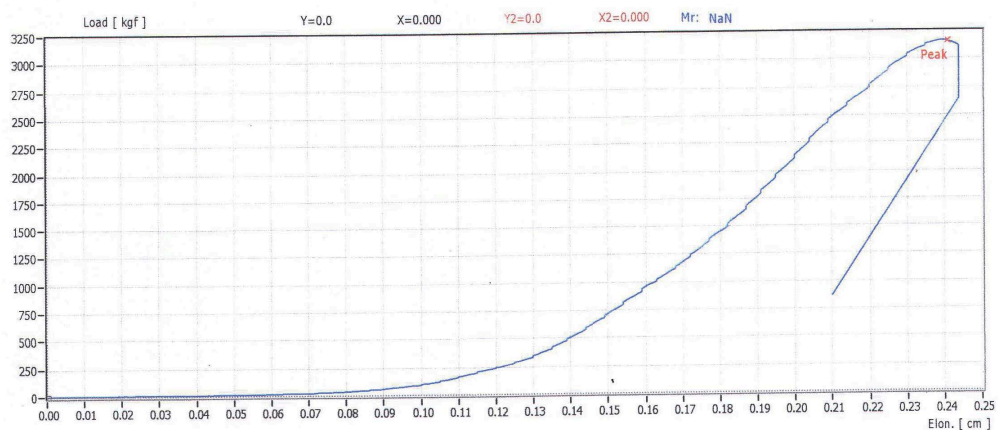
**ภาพผนวกที่ ข2** ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$

**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

**Testing Report**

1.Customer : หัสยา	9.Specimen : 21D
2.Operator : หัสยา	10.Spec.Length : 2.500cm
3.Lot No. : Block	11.Spec. WxT : 2.5000x2.5000cm
4.Date : 1/14/2013	12.Spec.Area : 6.2500cm <sup>2</sup>
5.Temperature: 30 C	13.Total Energy: 20J
6.Speed :Single Speed V1= 0.50cm/min	14.Elasticity Modu. : 10057.030kgf/cm <sup>2</sup>
7.Test Style : Compression Test	15.Notice : 21D
8.Standard : ASTM	

	Load(kgf)	Elon.(cm)	Stress(kgf/cm <sup>2</sup> )	Strain(%)
Peak	3162	0.24	505.855	9.64
Break	864	0.21	138.222	8.40



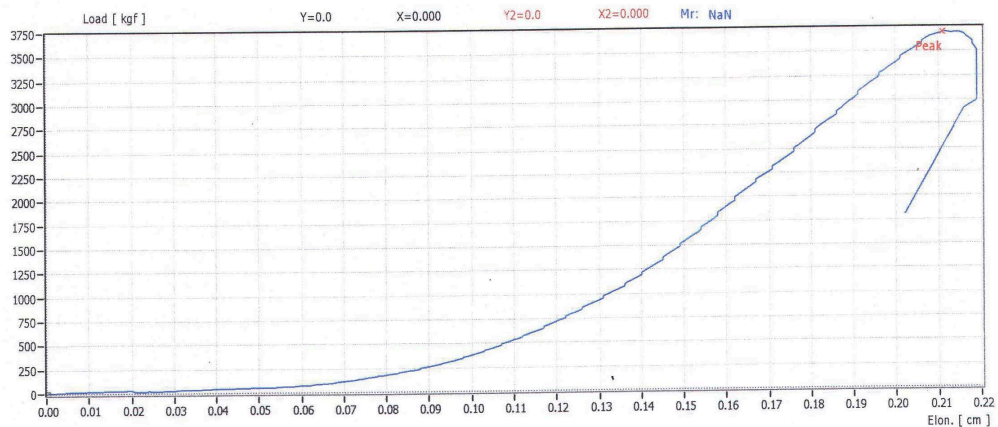
**ภาพผนวกที่ ข3** ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$

**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

**Testing Report**

1.Customer : หัสยา	9.Specimen : 21D
2.Operator : หัสยา	10.Spec.Length : 2.500cm
3.Lot No. : 70 NOHEAT 21D ACID1%	11.Spec. WxT : 2.5000x2.5000cm
4.Date : 1/14/2013	12.Spec.Area : 6.2500cm <sup>2</sup>
5.Temperature: 30 C	13.Total Energy: 23J
6.Speed :Single Speed V1= 0.50cm/min	14.Elasticity Modu. : 13269.090kgf/cm <sup>2</sup>
7.Test Style : Compression Test	15.Notice : 21D
8.Standard : ASTM	

	Load(kgf)	Elon.(cm)	Stress(kgf/cm <sup>2</sup> )	Strain(%)
Peak	3704	0.21	592.617	8.44
Break	1803	0.20	288.507	8.08



**ภาพผนวกที่ ข4** ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 1\%$

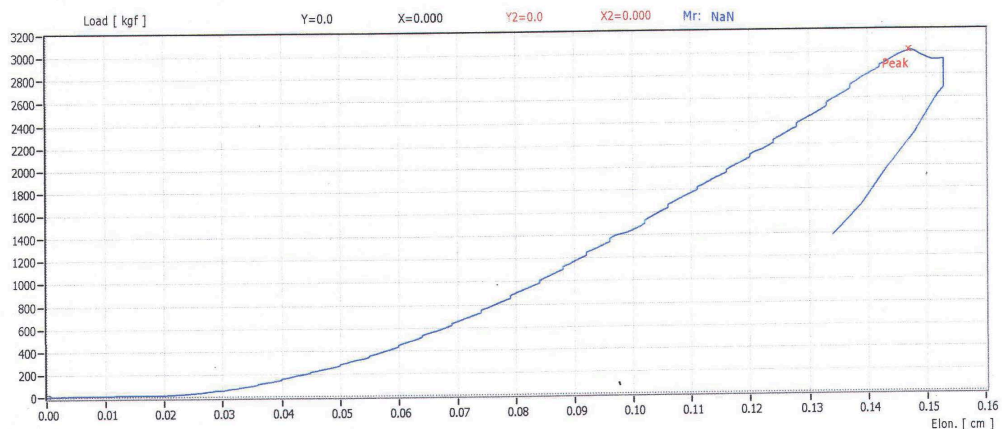
## มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

### Testing Report

1.Customer : หัสยา	9.Specimen : 21D
2.Operator : หัสยา	10.Spec.Length : 2.500cm
3.Lot No. : Block	11.Spec. WxT : 2.500x2.500cm
4.Date : 1/14/2013	12.Spec.Area : 6.2500cm <sup>2</sup>
5.Temperature: 30 C	13.Total Energy: 14J
6.Speed :Single Speed V1= 0.50cm/min	14.Elasticity Modu. : 11941.571kgf/cm <sup>2</sup>
7.Test Style : Compression Test	15.Notice : 21D
8.Standard : ASTM	

	Load(kgf)	Elon.(cm)	Stress(kgf/cm <sup>2</sup> )	Strain(%)
Peak	3020	0.15	483.279	5.88
Break	1383	0.13	221.222	5.36



**ภาพผนวกที่ ข5** ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm$

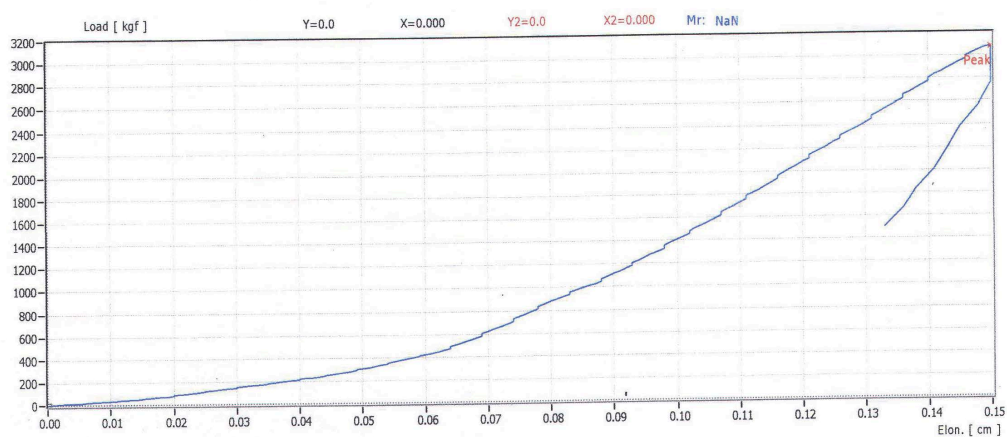
## มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

### Testing Report

1.Customer : หัสยา	9.Specimen : 21D
2.Operator : หัสยา	10.Spec.Length : 2.500cm
3.Lot No. : Block	11.Spec. WxT : 2.5000x2.5000cm
4.Date : 1/14/2013	12.Spec.Area : 6.2500cm <sup>2</sup>
5.Temperature: 30 C	13.Total Energy: 13J
6.Speed :Single Speed V1= 0.50cm/min	14.Elasticity Modu. : 10795.074kgf/cm <sup>2</sup>
7.Test Style : Compression Test	15.Notice : 21D
8.Standard : ASTM	

	Load(kgf)	Elon.(cm)	Stress(kgf/cm <sup>2</sup> )	Strain(%)
Peak	3081	0.15	493.018	6.00
Break	1498	0.13	239.703	5.32



ภาพผนวกที่ ๖ ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm$

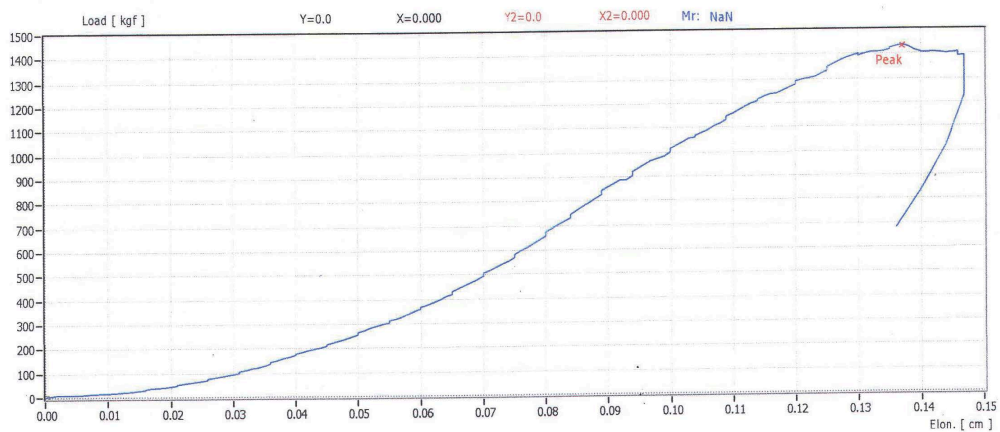
## มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

### Testing Report

1.Customer : หัสยา	9.Specimen : 21D
2.Operator : หัสยา	10.Spec.Length : 2.500cm
3.Lot No. : Block	11.Spec. WxT : 2.5000x2.5000cm
4.Date : 1/14/2013	12.Spec.Area : 6.2500cm <sup>2</sup>
5.Temperature: 30 C	13.Total Energy: 9J
6.Speed :Single Speed V1= 0.50cm/min	14.Elasticity Modu. : 6539.641kgf/cm <sup>2</sup>
7.Test Style : Compression Test	15.Notice : 21D
8.Standard : ASTM	

	Load(kgf)	Elon.(cm)	Stress(kgf/cm <sup>2</sup> )	Strain(%)
Peak	1435	0.14	229.632	5.48
Break	679	0.14	108.674	5.44



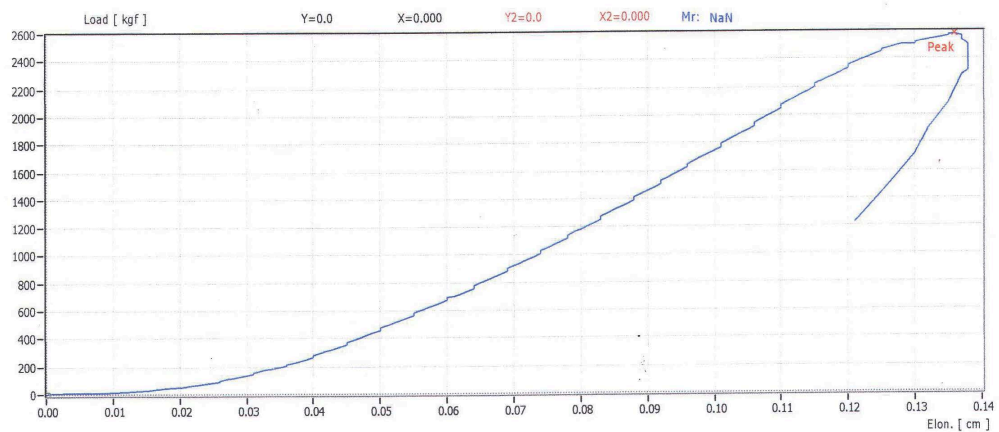
ภาพผนวกที่ ข7 ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm$

**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

**Testing Report**

1.Customer : หัสยา	9.Specimen : 21D
2.Operator : หัสยา	10.Spec.Length : 2.500cm
3.Lot No. : Block	11.Spec. WxT : 2.5000x2.5000cm
4.Date : 1/14/2013	12.Spec.Area : 6.2500cm <sup>2</sup>
5.Temperature: 30 C	13.Total Energy: 12J
6.Speed :Single Speed V1= 0.50cm/min	14.Elasticity Modu. : 10207.801kgf/cm <sup>2</sup>
7.Test Style : Compression Test	15.Notice : 21D
8.Standard : ASTM	

	Load(kgf)	Elon.(cm)	Stress(kgf/cm <sup>2</sup> )	Strain(%)
Peak	2579	0.14	412.674	5.44
Break	1224	0.12	195.879	4.84



**ภาพผนวกที่ ข8** ผลการทดสอบค่าการรับกำลังแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 ค่าความคลาดเคลื่อน ±

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวหทัย สิงห์ศรี
วัน เดือน ปีเกิด	15 กรกฎาคม 2526
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา ที่อยู่ปัจจุบัน	สศ.บ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 98/165 The Key Phahonyothin ซ. พหลโยธิน 34 ถ. พหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กทม. 10900
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นิสิตช่วยงานคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาปนิกอิสระ
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	รางวัลระดับดี จากบทความการวิจัย “การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานจากขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้ (PET)” โครงการประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนที่เคยได้รับ	ทุนอุดหนุนการศึกษา ประเภทเรียนดีแต่ขาดแคลนทุนทรัพย์ จากสมาคมราชกรีฑาสโมสร ประจำปีงบประมาณ 2554-2555