# การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

โดย
นายวิศรุต เอ็นดู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ
ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

# การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

โดย
นายวิศรุต เอ็นดู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ
ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

# USING OF PHASE CHANGE MATERIALS (PCMS) IN CALCIUM SILICATE BRICK WALL TO REDUCE HEAT TRANSFER TO BUILDINGS

By

MR. Visarut ENDOO

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Architecture (Architecture)

Department of Architecture

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2017

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อ | การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร |
| โดย | วิศรุต เอ็นดู |
| สาขาวิชา | สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญามหาบัณฑิต |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว |

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจงสาร )

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว )

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรนันท์ ทักขนนท์ )

58054216 : สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : วัสดุเปลี่ยนสถานะ, ผนังอิฐขาว, การลดการถ่ายเทความร้อน

นาย วิศรุต เอ็นดู: การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว

วัสดุเปลี่ยนสถานะ (phase change materials หรือ PCMs) ประเภทพาราฟินถูกนำไปใช้เพื่อเพิ่มมวลความร้อนให้กับวัสดุผนังอาคารเพื่อช่วยหน่วงความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร แต่วัสดุประเภทนี้จะส่งผลกับมวลรวมของผนังเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากมีคุณสมบัติในการกักเก็บมวลความร้อนในรูปแบบของความร้อนแฝงซึ่งกักเก็บมวลความร้อนในระหว่างการเปลี่ยนสถานะ โดยจะส่งผลให้สามารถหน่วงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารได้โดยที่วัตถุไม่ต้องมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นหรือหนาขึ้นเกินความจำเป็น อันจะส่งผลต่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและงานโครงสร้างทางวิศวกรรม งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาการนำ PCMs มาเพิ่มมวลความร้อนให้กับผนังอิฐขาวเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน โดย PCMs ที่เลือกนำมาใช้คือ PCM35 ซึ่งมีจุดเปลี่ยนสถานะอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 29 - 36 องศาเซลเซียส ด้วยการสร้างกล่องจำลองเพื่อวัดค่าของอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

ผลการทดลองพบว่า เมื่อนำ PCM35 บรรจุลงในช่องอากาศของผนังอิฐขาวแบบโดยตรง PCM35 ซึมซับเข้าสู่ผนังอิฐขาว ส่งผลให้ ลักษณะทางกายภาพผนังอิฐขาวเกิดรอยแตก และมีคราบมันบนผิวผนัง อีกทั้งยังส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 แบบบรรจุโดยตรงสูงขึ้น 5 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองข้างต้นจึงได้ผลิตซองบรรจุ PCM35 เพื่อบรรจุ PCMs ลงในซองดังกล่าว แล้วจึงบรรจุลงในช่องอากาศผนังอิฐขาว ผลที่ได้เป็นซองพลาสติกใส หนา 0.1 มิลลิเมตร ที่ทนต่อการรั่วซึมของ PCM35 และนำไปบรรจุลงช่องผนังอิฐขาวต่อไป จากการเก็บข้อมูลการทดลองผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 แบบมีซองบรรจุ PCM35 พบว่า ลักษณะทางกายภาพ ไม่มีการรั่วซึมของ PCM35 ผนังอิฐขาวไม่มีรอยแตก หรือคราบมัน และอุณหภูมิภายในเฉลี่ยของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs ต่ำกว่าอุณหภูมิภายในเฉลี่ยของกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 1.27 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยภายในของกล่องพบว่า กล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยภายในกล่องต่ำกว่ากล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 2.73 องศาเซลเซียส

จึงเห็นได้ว่าการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในผนังอิฐขาวมีประสิทธิภาพในการช่วยลดการ

ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร แต่ในการบรรจุลงในอิฐขาวนั้นต้องทำการบรรจุวัสดุเปลี่ยนสถานะลงบรรจุภัณฑ์ก่อน หากไม่นำวัสดุเปลี่ยนสถานะการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ก่อน อาจเกิดความเสียหายกับผนังอิฐขาวได้ การใช้ PCM35 ของงานวิจัยนี้เหมาะกับการใช้ร่วมกับผนังอิฐขาวสภาวะอากาศแบบไม่ปรับอากาศ ในสภาพอากาศกรุงเทพมหานคร

58054216 : Major (Architecture)
Keyword : phase change material, calcium silicate brick, building heat transfer

MR. VISARUT ENDOO : USING OF PHASE CHANGE MATERIALS (PCMS) IN CALCIUM SILICATE BRICK WALL TO REDUCE HEAT TRANSFER TO BUILDINGS THESIS ADVISOR : SATTA PANYAKAEW

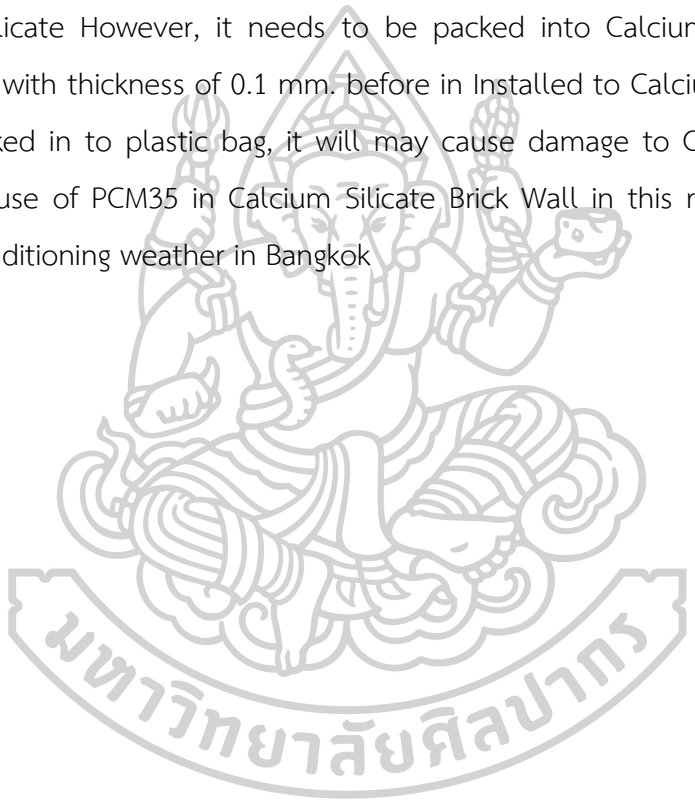
Phase change materials (PCMs), paraffin type, is used to increase thermal mass of the wall to reduce heat transfer into the building. The application of PCM to the wall structure slightly affects the total mass of the wall because PCM has the ability of heat storage in the form of latent heat. The heat is stored when the materials changes from solid to liquid. The wall is thermally heavy but it's limited in mass and weight. By this phase change process, it will affect to the architectural design and engineering work.

This study investigated the use of PCMs to increase the thermal mass of Calcium Silicate Brick Wall to reduce heat transfer. The selected PCMs were PCM 35, which had a melting point in the range of about 29-36 °C. The experiment was set to find the heat reduction ability of PCMs when applied to Calcium Silicate Brick Wall by creating test box and measuring the indoor temperature of the box made of Calcium Silicate Brick Wall with PCMs compare to the box made of Calcium Silicate Brick Wall without PCMs.

The results show that, When PCM35 is poured into the air-gap of the Calcium Silicate brick wall, PCM35 absorbed into the wall. As a result, the physical appearance of the Calcium Silicate brick wall was broken. And it stains on the surface of the wall. Also, the average indoor temperature of the box made of Calcium Silicate brick wall with PCM35 (No packaging) increased by 5 °C. Based on the above results, Made package for prevent leakage. Found that, the clear plastic case was 0.1 mm thick resistant to leakage of PCM35. For the above reasons, used a plastic envelope continue to experiment. From the experimental Calcium Silicate brick wall with PCM35 (In packaging) show that, the physical No leakage of PCM35, no cracks or

stains. And the average indoor temperature of the box made of Calcium Silicate brick wall with PCMs has lower than the box without PCMs by 1.27 °C. And when comparing average maximum indoor temperature of those boxes, the box made of Calcium Silicate Brick Wall with PCMs has average maximum indoor temperature lower than the box made of Calcium Silicate Brick Wall without PCMs by 2.73 °C

It can be seen that the use of phase change materials (PCMs) in Calcium Silicate Brick Wall is effective in reducing heat transfer to buildings. But packed into Calcium Silicate However, it needs to be packed into Calcium Silicate Brick Wall plastic bag with thickness of 0.1 mm. before in Installed to Calcium Silicate Brick. If it is not packed in to plastic bag, it will may cause damage to Calcium Silicate Brick Wall. The use of PCM35 in Calcium Silicate Brick Wall in this research is based on non-air conditioning weather in Bangkok



# กิตติกรรมประกาศ

ในการทดลองนี้ได้รับการสนับสนุนอิฐขาวหรือ calcium silicate brick จากบริษัท K.S. CONTRADE CO.,LTD. ขอขอบคุณท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ท่าน อ.ดร.สัทธา ปัญญาแก้ว และท่านอาจารย์จากสายอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้แนะนำและจุดประกายให้เกิดงานวิจัยชิ้นนี้

วิศรุต เอ็นดู

มหาวิทยาลัยศิลปากร

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ซ

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ท

บทที่ 1 ..... 1

บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 3

สมมติฐานของการศึกษา ..... 3

ขอบเขตการศึกษา ..... 3

นิยามศัพท์เฉพาะ ..... 3

บทที่ 2 ..... 7

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ..... 7

1 วัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change material หรือ PCMs ..... 7

2 คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change material (PCMs) ..... 8

2.1) คุณสมบัติทางความร้อน (thermal properties) ..... 8

2.2) คุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ..... 9

2.3) คุณสมบัติทางเคมี (chemical Properties) ..... 9

3 ประเภทของวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change material (PCMs) ..... 11

3.1) Organic PCMs (สารอินทรีย์) .....11

3.2) Inorganic (สารอนินทรีย์).....12

4 การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในอาคาร .....15

4.1) งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ PCMs ในอาคารจากต่างประเทศ.....16

4.2) งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ PCMs ในอาคารในประเทศไทย .....19

บทที่ 3 .....24

วิธีการศึกษา.....24

1.การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ PCMs ร่วมกับอิฐขาว เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของ PCMs เบื้องต้นของการนำ PCMs ร่วมกับอิฐขาว.....27

1.1 ศึกษาการนำ PCMs มาใช้ ในการทดลอง .....27

1.2 ศึกษาการใช้สารวัสดุเปลี่ยนสถานะ(PCMs) ร่วมกับอิฐขาว (Calcium silicate brick).....28

1.3 ศึกษาการหาจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) .30

1.4 การจัดหาวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) .....31

1.5 การผลิตอิฐขาวใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs).....32

1.5.1) การเตรียม PCMs RUBITHERM® RT35 และ PCM 55 (Candle Thailand) .....32

1.5.2) การบรรจุPCMs ลงในอิฐขาว.....33

1.6 การเตรียมพื้นที่ในการทดลอง .....35

1.7 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....36

1.7.1).วัสดุ-เครื่องมือ ขั้นตอนการผลิตอิฐขาวบรรจุPCMs .....36

1.7.2) วัสดุ-เครื่องมือ ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อน.....36

1.8. สถานที่ทำการวิจัย.....36

1.8.1) สถานที่ผลิตอิฐขาวบรรจุPCMs .....36

1.8.2). สถานที่ทดสอบความสมารถในการลดการถ่ายเทความร้อน .....36
1.9. ระยะเวลาในการทำการทดลอง.....36
1.10 การผลิตหุ่นจำลอง.....37
1.10.1) การเตรียมหุ่นจำลอง .....37
อุปกรณ์การสร้างกล่องทดลอง .....40
วิธีการสร้างกล่องทดลอง.....41
ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ .....42
1.11 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนในการทดลอง .....43
1.11.1) ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 1 .....43
1.11.2) ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 2 .....44
1.12 การบรรจุPCMsลงในห่อหรือซอง.....45
2.การศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs).....48
2.1 ชุดทดลองศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) .....48
3. ราคาต้นทุนของการนำอิฐขาวมาใช้กับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) .....49
บทที่ 4 .....51
ผลการดำเนินงาน.....51
1. ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนในการทดลอง .....52
1.1) ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 1.....52
1.1.1) ลักษณะทางกายภาพ .....54
1.1.2) ลักษณะการถ่ายเทความร้อน.....56
ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง.....56

ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลอง.....58
ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง .....60
1.2) ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 2.....62
1.2.1) ลักษณะทางกายภาพ .....62
1.2.2) ลักษณะการถ่ายเทความร้อน.....64
ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง.....64
ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลอง.....65
ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง .....67
2.ผลการศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs).....69
2.1 ผลการดำเนินงานลักษณะทางกายภาพ.....70
กล่องทดลองอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs.....71
กล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM35.....71
2.2) ผลการดำเนินงาน ลักษณะการถ่ายเทความร้อน.....71
2.2.1) ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง.....72
ผลอุณหภูมิเฉลี่ย.....72
ช่วงเวลากลางวัน.....72
ช่วงเวลากลางคืน .....72
ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย.....72
ช่วงเวลากลางวัน.....72
ช่วงเวลากลางคืน .....72
2.2.2) ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลอง.....74
ผลอุณหภูมิเฉลี่ย.....74
ช่วงเวลากลางวัน.....74

ช่วงเวลากลางคืน .....74
ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย .....74
ช่วงเวลากลางวัน.....74
ช่วงเวลากลางคืน .....74
2.2.3) ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง.....76
ผลอุณหภูมิเฉลี่ย.....76
ช่วงเวลากลางวัน.....76
ช่วงเวลากลางคืน .....76
ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย .....76
ช่วงเวลากลางวัน.....76
ช่วงเวลากลางคืน .....76
2.2.4) ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลองและอุณหภูมิในช่องอากาศ
ผนังอิฐขาว.....78
ผลอุณหภูมิเฉลี่ย.....78
ช่วงเวลากลางวัน.....78
ช่วงเวลากลางคืน .....78
ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย .....78
ช่วงเวลากลางวัน.....78
ช่วงเวลากลางคืน .....79
บทที่ 5 .....82
วิเคราะห์ผลการศึกษา .....82
1 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs).....83

1.1 วิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 1 ..... 83

1.2 วิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 2 ..... 84

2 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวเมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) ..... 86

2.1 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การทดลองอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง ..... 86

ผลอุณหภูมิเฉลี่ย ..... 86

ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ..... 86

2.2 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การทดลองอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง ..... 88

ผลอุณหภูมิเฉลี่ย ..... 88

ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ..... 88

2.3 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง ..... 89

ผลอุณหภูมิเฉลี่ย ..... 89

ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ..... 89

2.4 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลองกับอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว ..... 91

2.4.1) การวิเคราะห์อุณหภูมิที่ PCM เริ่มปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อน ..... 91

2.4.2) การวิเคราะห์อุณหภูมิที่ PCMs สิ้นสุดปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อน 93

2.4.3) การวิเคราะห์ผลความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนชอง PCMs ณ อุณหภูมิในช่องผนังอิฐสูงสุด ..... 94

บทที่ 6 ..... 96

บทสรุปและข้อเสนอแนะ ..... 96

6.2 ข้อเสนอแนะ ..... 98
รายการอ้างอิง ..... 99
ภาคผนวก ..... 102
ภาคผนวก ก ผลการตรวจวิเคราะห์ PCM35 ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry ภาษาไทย ..... 103
ภาคผนวก ข ผลการตรวจวิเคราะห์ PCM35 ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry ภาษาอังกฤษ ..... 106
ภาคผนวก ค ผลการวัดอุณหภูมิการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 มาใช้ลดการถ่ายเทความร้อนในการทดลอง ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 1 ..... 109
อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 ..... 109
อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 ..... 113
อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 ..... 116
ภาคผนวก ง ผลการวัดอุณหภูมิการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 มาใช้ลดการถ่ายเทความร้อนในการทดลอง ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 2 ..... 119
อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 ..... 119
อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 ..... 123
อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 ..... 126
ภาคผนวก จ ผลการวัดอุณหภูมิ ศึกษาความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ..... 129
อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561 ..... 129
อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561 ..... 132
อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 14-16 มีนาคม 2561 ..... 135
อุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs 14-16 มีนาคม 2561 ..... 138
ประวัติผู้เขียน ..... 142

# สารบัญรูปภาพ

**หน้า**

ภาพที่ 1 Standard heating curve ..... 7
ภาพที่ 2 ที่อยู่อาศัยที่สร้างขึ้นจากวัสดุอินทรีย์ (organic materials.) หรือ Adobe ..... 15
ภาพที่ 3 ที่อยู่อาศัยที่สร้างขึ้นจากวัสดุอินทรีย์ (organic materials.) หรือ Adobe (2) ..... 15
ภาพที่ 4 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการศึกษา ..... 26
ภาพที่ 5 ลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงของ PCM ใน 1วัน ..... 27
ภาพที่ 6 แสดงการบรรจุสาร PCMs ลงในอิฐขาว ..... 28
ภาพที่ 7 รูปตัดทางตั้งกล่องทดลอง แสดงตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ data logger. 28
ภาพที่ 8 กล่องทดลองในสภาวะแบบปิด ..... 29
ภาพที่ 9 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันของ ช่องอากาศอิฐขาวไม่บรรจุPCMs ..... 30
ภาพที่ 10 data sheet RUBITHERM RT35 ..... 31
ภาพที่ 11 อิฐขาว (calcium silicate brick) จากบริษัท K.S. CONTRADE CO.LTD ..... 32
ภาพที่ 13 PCMs ประเภท paraffin wax ของ candle Thailand ขนาด 1 กก. ..... 33
ภาพที่ 12 PCMs ประเภท paraffin wax ของ RUBITHERM® ขนาด 4 ลิตร ..... 33
ภาพที่ 14 ละลาย PCMs RUBITHERM® ด้วยความร้อน ..... 33
ภาพที่ 15 ละลาย PCMs candle Thailand ..... 33
ภาพที่ 16 ปิดผนึกPCMs ช่วงรอแข็งตัวเพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอม ..... 34
ภาพที่ 17 พัก PCMs รอให้ PCMs แข็งตัว ..... 34
ภาพที่ 18 ใส่ PCMs ลงในช่องแล้วทิ้งไว้ ..... 34
ภาพที่ 19 ละลาย PCMs ด้วยความร้อน ..... 34
ภาพที่ 20 ฐานวางกล่องทดลอง ..... 35
ภาพที่ 21 แบบการสร้างฐานวางกล่องทดลอง ..... 35

ภาพที่ 22 แบบการสร้างแผงบังกล่องทดลอง ..... 35
ภาพที่ 23 แสดงลักษณะกล่องและวัสดุของกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM35 (บรรจุโดยตรง)..... 37
ภาพที่ 24 แสดงลักษณะกล่องและวัสดุของกล่องทดลองอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs ..... 38
ภาพที่ 25 แสดงลักษณะกล่องและวัสดุของกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM55 ..... 39
ภาพที่ 26 แสดงลักษณะกล่องและวัสดุของกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM55 ..... 40
ภาพที่ 27 การประกอบกล่องทดลอง ..... 41
ภาพที่ 28 กล่องทดลองเจาะหลังกล่อง..... 41
ภาพที่ 29 รูปตัดแสดงขนาดกล่องทดลอง และตำแหน่งการติดตั้งวัดอุณหภูมิ ..... 42
ภาพที่ 30 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุPCM 35 ..... 43
ภาพที่ 31 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุPCM 55 ..... 44
ภาพที่ 32 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการบรรจุสารPCMs ..... 45
ภาพที่ 33 การทอสอบความคงทนในการรั่วซึมของถุง..... 46
ภาพที่ 34 ขั้นตอนการทำห่อบรรจุสาร PCM..... 46
ภาพที่ 35 บรรจุสารPCMs ลงในห่อพลาสติก..... 47
ภาพที่ 37 ทดสอบการรั่วซึมอีกครั้ง..... 47
ภาพที่ 36 ใส่ห่อบรรจุสารPCMs ลงในช่องอิฐขาว..... 47
ภาพที่ 38 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ..... 49
ภาพที่ 39 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุPCM 35 ..... 52
ภาพที่ 40 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุPCM 35 ..... 53
ภาพที่ 41 แสดงลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนไปของอิฐ PCMs 35..... 54
ภาพที่ 42 ภาพขยายแสดงตำแหน่งลักษณะทางกายภาพของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 ที่เปลี่ยนไป55
ภาพที่ 43 แสดงลักษณะรอยแตกของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 ..... 55
ภาพที่ 44 แสดงลักษณะการแตกของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 หลังทำการแกะกล่องทดลอง ..... 55
ภาพที่ 45 รูปตัดแสดงขนาดกล่องทดลอง และตำแหน่งการติดตั้งวัดอุณหภูมิ data logger..... 56

ภาพที่ 46 แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง..... 57
ภาพที่ 47แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง ..... 59
ภาพที่ 48แสดงผลอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง..... 61
ภาพที่ 49 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM 55 ..... 62
ภาพที่ 50 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM 55 ..... 63
ภาพที่ 51แสดงลักษณะของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 หลังทำการแกะกล่องทดลอง..... 64
ภาพที่ 52แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง ..... 65
ภาพที่ 53 แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง ..... 66
ภาพที่ 54 แสดงผลอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง ..... 68
ภาพที่ 55 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ..... 70
ภาพที่ 56 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ..... 70
ภาพที่ 57 อิฐขาวที่บรรจุ PCM35 แบบใส่ซองพลาสติกก่อนบรรจุลงช่องอากาศ..... 71
ภาพที่ 58 แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs วันที่ 14 – 16 มีนาคม 2561 ..... 73
ภาพที่ 59 แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs วันที่ 14 – 16 มีนาคม 2561 ..... 75
ภาพที่ 60 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs วันที่ 14 – 16 มีนาคม 2561 ..... 77
ภาพที่ 61แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองและอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว..... 80
ภาพที่ 62 สรุปผลอุณหภูมิลักษณะการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 1 83
ภาพที่ 63 สรุปผลอุณหภูมิลักษณะการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 2 84
ภาพที่ 64 แสดงการเปรียบเทียบ อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง ..... 87
ภาพที่ 65 แสดงการเปรียบเทียบ อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง..... 88
ภาพที่ 66 แสดงการเปรียบเทียบ อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง ..... 90
ภาพที่ 67 แสดงการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ PCMs เริ่มปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อน ..... 92

ภาพที่ 68 แสดงการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ PCMs สิ้นสุดปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อน ..... 93
ภาพที่ 69 แสดงการวิเคราะห์ผลความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของ PCMs ณ อุณหภูมิในช่องผนังอิฐสูงสุด ..... 95

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตารางที่ 1 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติอิฐสำหรับก่อผนัง ..... 2
ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ เมื่อเทียบกับ PCMs ..... 9
ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางความร้อนของ PCMs สารอินทรีย์ทั่วไป ..... 12
ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางความร้อนของ PCMs สารอนินทรีย์ทั่วไป ..... 13
ตารางที่ 5 จำแนกคุณสมบัติของ PCMs แต่ละชนิด ..... 14
ตารางที่ 6 คุณสมบัติ อิฐขาว calcium silicate brick ..... 32
ตารางที่ 7 คำนวณราคาต้นทุนในการผลิตผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs ..... 49
ตารางที่ 8 คำนวณราคาต้นทุนในการผลิตผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs (ต่อ) ..... 50
ตารางที่ 9 ผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกของกล่องทดลอง ..... 56
ตารางที่ 10 ผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในของกล่องทดลอง ..... 58
ตารางที่ 11 ผลอุณหภูมิภายในของกล่องทดลอง ..... 60
ตารางที่ 12 ผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกของกล่องทดลอง ..... 64
ตารางที่ 13 ผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในของกล่องทดลอง ..... 65
ตารางที่ 14 ผลอุณหภูมิภายในของกล่องทดลอง ..... 67
ตารางที่ 15 ตารางสรุปผลอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง ..... 73
ตารางที่ 16 ตารางสรุปผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในของกล่องทดลอง ..... 75
ตารางที่ 17 ตารางสรุปผลอุณหภูมิภายในของกล่องทดลอง ..... 77
ตารางที่ 18 ตารางสรุปผลอุณหภูมิภายในของกล่องทดลองและอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว . 79
ตารางที่ 19 รวมผลการดำเนินงาน อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอก อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายใน อุณหภูมิภายใน และ อุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว ..... 81

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผนังอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิในอาคารมีการเปลี่ยนแปลง จากการศึกษาพบว่าผนังที่มีความหนามากจะช่วยให้มีความคงที่ของอุณหภูมิในอาคารมากขึ้น และยังทำให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในอาคารมีค่าต่ำกว่าผนังที่หนาน้อยกว่า (ณัฐกานต์ เกษประทุม, 2543) โดยผนังที่มีมวลสารมากสามารถจุความร้อนได้มาก ขณะเดียวกันหากมวลสารมากขึ้นก็จะตามมาด้วยน้ำหนักที่มากเช่นกัน และส่งผลกับการออกแบบในเรื่องของรูปลักษณะความสวยงามและเรื่องของราคาที่ตามมา ในปัจจุบันได้มีการใช้นวัตกรรมการเพิ่มการจุความร้อน (thermal capacity) ด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs) ซึ่งจะช่วยกักเก็บความร้อนในลักษณะความร้อนแฝง (latent heat) (Fleischer, 2015) และได้นำมาใช้ร่วมกับผนังอาคาร โดยจะช่วยเพิ่มมวลความร้อนให้กับผนังและส่งผลกับมวลโครงสร้างรวมเพียงเล็กน้อย วัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทสารอินทรีย์จะมีค่าจุความร้อนระหว่างการเปลี่ยนสถานะมากกว่า 10 เท่าของค่าความจุความร้อนคอนกรีตที่มีขนาดน้ำหนักเท่ากัน (ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล, 2549) ส่งผลให้สามารถหน่วงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารได้โดยที่วัตถุไม่ต้องมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นหรือหนาขึ้นเกินความจำเป็น

สารที่นิยมถูกนำมาใช้งานในการควบคุมพฤติกรรมทางความร้อนของอาคารคือ paraffin waxes โดยคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs) คือ มีค่าความร้อนแฝงสูงและนำความร้อนได้ดี มีค่าความจุความร้อนสูง (high specific heat), มีความเสถียรภาพ (stability) ไม่มี ฤทธิ์กัดกร่อน (corrosiveness) รีไซเคิล และเก็บรักษาง่าย

ในต่างประเทศได้มีการทำการศึกษา phase change materials (PCMs) ประเภท paraffin wax มาใช้กับผนังอาคารพบว่า ผนังสามารถจัดเก็บความร้อนแฝงด้วยวิธีการเปลี่ยนสถานะ (Bouguerra E.H.และRetiel N., 2014; Mushtaq T. H, Ahmed Q. MและHasanain M.H, 2013) แต่ด้วยคุณสมบัติเฉพาะทางของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่จะต้องมีจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันของวัสดุนั้นๆ จึงไม่สามารถที่จะนำจุดเปลี่ยนสถานะจากต่างประเทศมาใช้ในประเทศไทยได้ จึงต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม

การศึกษาวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เกี่ยวกับงานอาคารในประเทศไทยนั้น ได้เคยนำมาทดลองใช้ร่วมกับวัสดุชนิดคอนกรีตและโครงสร้างผนังเบา (ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล, 2553; ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล และวิทยา ยงเจริญ, 2550; ศรัณยู ไตรสาร, กฤดิ เทพเกลี้ยงและเชิดชัย สิทธิ, 2552) จึงมีความสนใจที่จะทำการวิจัยวัสดุผนังอื่นเพิ่มเติม โดยจะต้องสามารถบรรจุสาร PCMs ลงในวัสดุนั้นๆ เพื่อช่วยให้

การทำงานของ PCMs มีประสิทธิภาพสูงสุด จากที่ค้นหาวัสดุจากท้องตลาดพบว่าอิฐขาว มีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม จึงมุ่งประเด็นการทดลองไปที่การใช้ PCMs ร่วมกับอิฐขาวเป็นหลัก โดยลักษณะทางกายภาพของอิฐขาว มีช่องอากาศแบบไม่ทะลุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 5 ช่อง ซึ่งสามารถบรรจุสาร PCMs ได้โดยที่ไม่ต้องปรับปรุงหรือแก้ไขตัวอิฐแต่อย่างใด จึงเห็นว่าเหมาะสมที่จะนำมาทดลอง

ในการเลือกวัสดุก่อที่จะนำมาทดสอบควบคู่กับอิฐขาวของการทดลองนี้คือ PCMs ที่สามารถหาซื้อได้ในประเทศไทยนั่นก็คือ PCMs ชนิด paraffin waxes จุดเปลี่ยนสถานะอยู่ที่ 55–60 องศาเซลเซียส เพื่อดูความเหมาะสมในการค่าใช้จ่ายและประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนของ PCMs จุดเปลี่ยนสถานะที่เหมะสมกับการเปลี่ยนสถานะในสภาพอากาศประเทศไทย ที่ต้องสั่งตรงจากต่างประเทศ กับ PCMs ที่จุดเปลี่ยนสถานะไม่เหมาะสมการเปลี่ยนสถานะในสภาพอากาศประเทศไทย แต่มีขายในประเทศไทย

ตารางที่ 1 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติอิฐสำหรับก่อผนัง

| **คุณสมบัติ** | **อิฐขาว** calcium silicate brick[1] | **PCMs** (Typical Paraffin) | **หน่วย** |
|---|---|---|---|
| **Density** | 1600[1] | 800[2] | $Kg/m^3$ |
| **(K-value)** | 0.75[1] | 0.20[2] | W/m-K |
| **Specific Heat** | 0.84 -1.00[3][4] | 2.00[2] | kJ/kg-K |
| **Heat of Fusion** | - | 140[2] | kJ/kg |
| **(R-value)** | 0.093 | Vary | $K\text{-}m^2/W$ |
| **(C-value)** | 10.00 | Vary | $W/m^2K$ |
| **Size** | 0.07x0.11x0.24 | Vary | m. |
| **Price / $m^2$** | 165[1] | - | $Bath/m^2$ |

ที่มา: [1] K.S. Contrade Co.,Ltd., [2] ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล และ วิทยา ยงเจริญ 2550, [3] (Eppelbaum, KutasovและPilchin, 2014), [4] (NěmečekและKalousek, 2015)

การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟิน มาใช้ร่วมกับผนังเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารในประเทศไทยนั้น พบว่าเมื่อใช้ร่วมกับผนังโครงสร้างเบา (lightweight construction) จะสามารถเพิ่มมวลความร้อนให้กับผนังได้ประมาณร้อยละ45 ของมวลรวมผนัง และสามารถลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้สูงถึงร้อยละ 42 (ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล, 2553) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ร่วมกับผนังคอนกรีตบล็อกก็สามารถลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้ดีเช่นกัน (Sunil. R, et al, 2015) จากผลของงานวิจัยข้างต้นแสดงความเป็นไปได้ว่า เมื่อนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ร่วมกับผนังจะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่

อาคารด้วยวิธีการกักเก็บมวลความร้อน โดยส่งผลกับน้ำหนักรวมของผนังเพียงเล็กน้อย งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีความสนใจที่จะทำนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ร่วมกับผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อน ในรูปแบบของความร้อนแฝงด้วยวิธีการเปลี่ยนสถานะ

**วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1.เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs)

2.เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวที่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

**สมมติฐานของการศึกษา**

การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs) ร่วมกับอิฐขาว(Calcium silicate brick) จะสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนภายในอาคารได้

**ขอบเขตการศึกษา**

1. ใช้ phase change materials (PCMs) กลุ่ม oganic compound ชนิด paraffin wax

2. ช่วงเวลาในการทดลอง ฤดูร้อน

3. ใช้ PCMs ร่วมกับอิฐขาว (calcium silicate brick) ด้วยวิธีแบบ composite

**นิยามศัพท์เฉพาะ**

ความจุความร้อน : Thermal capacity หรือ Heat capacity เป็นผลคูณระหว่างมวลวัตถุ กับ ความจุความร้อนจำเพาะ (Kg x J)/(Kg.K) = J/K (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2558)

ความจุความร้อนจำเพาะ : Specific heat capacity หรือ Specific heat ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของมวลสาร 1 หน่วย ให้ร้อนขึ้นหรือเย็นลง 1 องศา มีหน่วยเป็น จูล/กิโลกรัม (J/Kg)(พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2557), (สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา, 2549)

ความร้อนของการหลอมเหลว : Heat of Fusion พลังงานที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสารชนิดหนึ่ง ให้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลว มีหน่วยเป็น จูล/กรัม (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2557)

ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว

: Latent heat of fusion ความร้อนแฝงที่สสารใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยน (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2557)

ความร้อนแฝงของการระเหย

: Latent heat of vaporization ความร้อนแฝงที่สสารใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยน (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2557)

ความร้อนแฝง : Latent heat พลังงานความร้อนที่วัสดุดูดซับและถ่ายเทออกในขณะที่วัสดุเปลี่ยนสถานะ โดยที่อุณหภูมิของวัสดุนั้นคงที่ หรือเกือบคงที่ (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2558)

ความร้อนสัมผัส : Sensible heat ความร้อนที่สามารถวัดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้โดยใช้ เทอโมมิเตอร์ มีหน่วยวัดเป็น องศาเซลเซียส (°C) หรือ องศาฟาห์เรนไฮน์ (°F) (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2558)

ความหนาแน่น : Density เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัสดุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ วัสดุที่มีความหนา แน่นสูง มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($kg/m^3$) (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2558)

ค่าการนำความร้อน : Thermal Conductance (C-value) คุณสมบัติในการนำความร้อนของชิ้นวัสดุ ที่มีความหนาตามการพิจารณา มีหน่วยเป็น วัตต์/ม.เคลวิน (W/mK) (ในการเลือกใช้วัสดุของงานวิจัยนี้จำเป็นที่ต้องพิจารณาค่า C-value ด้วยเนื่องจากวัสดุของการทดลองนี้เป็นรูปแบบ Composite จึงไม่สามารถที่จะพิจารณาแต่ค่า K–Value ได้) (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2558)

ค่าความต้านทานความร้อน

: Thermal Resistance (R-Value) คุณสมบัติในการต้านทานความร้อนของวัสดุ หากความร้อนสามารถผ่านได้ยาก แสดงว่ามีความต้านทานความร้อนได้สูง แต่หากความร้อนผ่านได้ง่ายวัสดุนั้นจะเป็นตัวนำความร้อน ค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ $\frac{1}{C}$ ,( $R=\frac{1}{C}$ ) มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-

องศาเซลเซียส/วัตต์ ($m^2$°C/W) (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2558), (สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา, 2549),

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน : Thermal Conductivity (K–Value) ความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุผ่านพื้นที่หน้าตัด 1 ตร.ม. ที่มีความหนาและมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันหนึ่งองศา มีหน่วยเป็นวัตต์/ม.เคลวิน (W/mK) หรือวัตต์/เมตร-องศาเซลเซียส (W/m. °C) (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2558)

จุดเปลี่ยนสถานะ : Melting point หรือ จุดหลอมเหลว หรือ เกือบจุดหลอมเหลว คือ ช่วงอุณหภูมิที่สสารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ที่ความดันบรรยากาศปกติ เมื่อมาถึงจุดเปลี่ยนสถานะของ ของแข็ง และ ของเหลว วัสดุจะอยู่ในภาวะสมดุล (Fleischer, 2015)

พาราฟิน แว็กซ์ : เป็นกากแว็กซ์จากส่วนที่เหลือ ที่ได้จากกระบวนการกลั่นแบบหอกลั่นลำดับส่วน โดยจะได้กากแว็กซ์ที่เรียกว่า สแลค แว็กซ์ (Slack wax) และนำสแลค แว็กซ์ มาผ่านกระบวนการการสกัดน้ำมันออกจากแว็กซ์เพื่อให้ได้พาราฟิน แว็กซ์

paraffin wax เป็นชื่อสามัญของแว็กซ์มีไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประกอบ และเป็นแว็กซ์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Petroleum wax เป็นของแข็งมีสีเหลืองอ่อนจนถึงขาว มีจุดหลอมเหลว อยู่ที่ระหว่าง 48 - 68 องศาเซลเซียส (wikipedia, 2017)

วัสดุเปลี่ยนสถานะ : phase change material (PCMs) เป็นวัสดุที่ผ่านการเปลี่ยนสถานะ จากของแข็งเป็นของเหลว โดยเรียกลักษณะการเปลี่ยนจากของแข็งเป็นของเหลว และของเหลวกลับเป็นของแข็งนี้ว่า “วัฏจักรการละลายและการแข็งตัว”(melting-solidification cycle) โดยวัสดุจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ด้วยการดูดซับพลังงานความร้อนจากรอบๆวัสดุ ในขณะที่อุณหภูมิของวัสดุคงที่หรือเกือบคงที่ และในทางกลับกัน เมื่อวัสดุถ่ายเทพลังงานความร้อนออกตัววัสดุเองก็จะกลับคืนสู่สภาวะของแข็งเช่นเดิม (wikipedia, 2017), (Fleischer, 2015)

อิฐขาว : Calcium silicate brick ผลิตจากปูนขาวที่ผ่านการเผาโดยจำกัดกำมะถันในระดับต่ำที่สุดและนำมาผสมกับทรายคัดพิเศษที่มีสัดส่วนของซิลิ

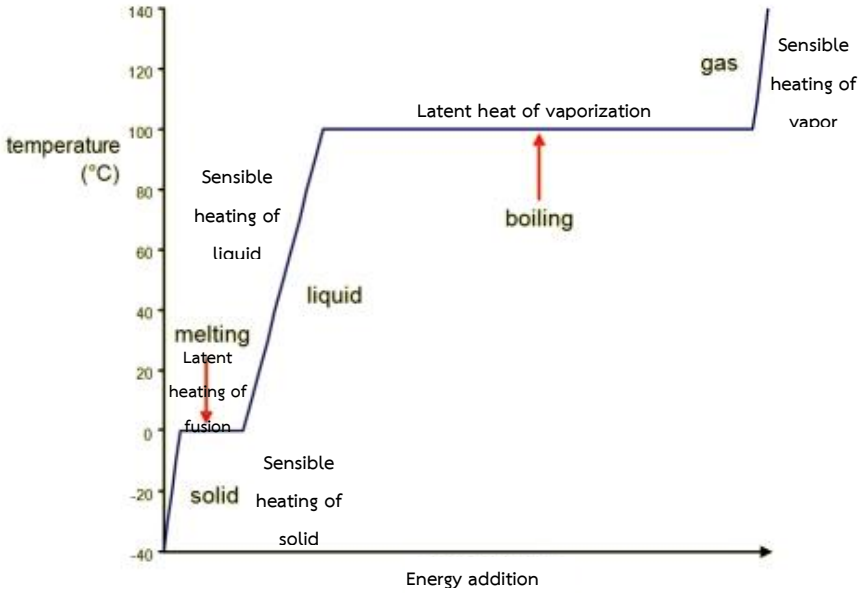
เกต(Silicate) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 นำมาขึ้นรูปและและอบไอน้ำ (บริษัท K.S. Contrade Co.,Ltd.)

โดยมีกระบวนการผลิตอิฐคือ นำทรายและปูขาวมาผสมกันด้วยเครื่องจักร แล้วหมักทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง เพื่อให้ทรายและปูนขาวทำปฏิกิริยาเคมีกัน แล้วจึงถูกนำเข้าแม่พิมพ์ของเครื่องอัด High-Pressure ที่ใช้กำลังอัดถึง 500 ตัน เพื่อให้เนื้ออิฐแน่นเรียบ จากนั้น ลำเลียงอิฐเข้าเตาอบไอน้ำ (Statured Stream) ที่อุณหภูมิ 160-220 องศาเซลเซียส นานถึง 10 ชั่วโมง เพื่อให้โมเลกุลของทรายเชื่อมติดกัน โดยอิฐสามารถรับน้ำหนักได้สูงถึง 180 กิโลกรัม ต่อ 1 ตารางเซนติเมตร (K.S. Contrade Co., 2013)

# บทที่ 2
# วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

## 1 วัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change material หรือ PCMs

วัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change material (PCMs) เป็นวัสดุที่ผ่านการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยเรียกลักษณะการเปลี่ยนจากของแข็งเป็นของเหลว และของเหลวกลับเป็นของแข็งนี้ว่า “วัฏจักรการละลายและการแข็งตัว”(melting-solidification cycle) โดยวัสดุจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ด้วยการดูดซับพลังงานความร้อนจากรอบๆ วัสดุในขณะที่อุณหภูมิของวัสดุคงที่หรือเกือบคงที่ และในทางกลับกัน เมื่อวัสดุถ่ายเทพลังงานความร้อนออกตัววัสดุเองก็จะกลับคืนสู่สภาวะของแข็ง วัสดุเปลี่ยนสถานะแต่ละประเภท จะมีจุดเปลี่ยนสถานะที่แตกต่างกัน พลังงานที่ดูดซับมาและคายออกในวัฏจักรการละลายและการแข็งตัวรู้จักในชื่อ “ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว” (latent heat of fusion) ความร้อนแฝงเป็นลักษณะเฉพาะของกระบวนการนี้ โดยพลังงานความร้อนของวัสดุจะเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันอุณหภูมิของวัสดุก็จะไม่ถูกเพิ่มขึ้นไปด้วย ในทางกลับกันความร้อนสัมผัส (sensible heat) คือความร้อนที่ส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุ ในกระบวนการทางความร้อนตามมาตรฐานอาจเริ่มด้วยวัตถุที่มีความเย็น แล้วจึงและได้รับความร้อนจนถึงจุดหลอมเหลวผ่านความร้อนที่เหมาะสม เป็นกระบวนการความ




ภาพที่ 1 Standard heating curve

เรียบเรียงจาก: Fleischer, A. S. (2015). Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials: Fundamentals and Applications

ที่มารูปภาพ: https://figures.boundless-cdn.com/10656/full/ating-20curve-20of-20water.jpeg

ร้อนที่เปลี่ยนจากของแข็งเป็นของเหลวผ่านความร้อนแฝง และความร้อนสัมผัสก็จะเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงจุดเดือด เมื่อถึงจุดเดือดของเหลวก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำผ่านความร้อนแฝงของการระเหย (latent heat of vaporization) เป็นการเปลี่ยนสถานะแบบเสร็จสมบูรณ์ (ภาพที่1)

ทั้งนี้ปริมาณของการดูดหรือคายพลังงานความร้อนในระหว่างวัฏจักรการละลายและการแข็งตัวจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนแฝงการหลอมเหลวของวัสดุ ความร้อนแฝงการหลองเหลวจะมีหน่วยเป็น J/g หรือ kJ/kg.

**2 คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change material (PCMs)**

คุณสมบัติโดยพื้นฐานของ PCMs มีดังต่อไปนี้

**2.1) คุณสมบัติทางความร้อน (thermal properties)**

PCMs จะทำการเก็บสะสมพลังงานความร้อนในรูปแบบของความร้อนแฝง โดยขณะที่กำลังเก็บสะสมพลังงานความร้อน PCMs จะมีการเปลี่ยนสถานะ และอุณหภูมิของ PCMs จะคงที่จนปฏิกิริยาการเปลี่ยนสถานะเสร็จสมบูรณ์ คุณสมบัติทางความร้อนที่ PCMs ควรจะมี ดังนี้

- อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (melting Point) ควรเหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ หมายถึง เมื่อวัสดุได้รับความร้อน PCMs จะทำการดูดความร้อนและเพิ่มอุณหภูมิ เมื่อ PCMs เพิ่มอุณหภูมิ จนถึงช่วงอุณหภูมิที่ PCMs เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว PCMs จะกักเก็บพลังงานความร้อนโดยที่อุณหภูมิของ PCMs จะคงที่ เราเรียกช่วงขณะที่ อุณหภูมิคงที่และ PCMs เปลี่ยนสถานะนี้ว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (melting Point) ความเหมาะสมในการใช้งานของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคือจะต้องเท่ากันอุณหภูมิเฉลี่ย ตลอดทั้งวันของตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง PCMs

- ค่าความร้อนแฝงที่เลือกในการพิจารณาถ้าค่าความร้อนแฝงสูงจะสามารถสะสมพลังงานความร้อนได้มาก

- มีความสามารถในการนำความร้อนสูง เนื่องจากจะสามารถดูดและคายพลังงานความร้อนได้อย่างสมบูรณ์

- มีค่าความจุความร้อนสูง PCMs สามารถกักเก็บพลังงานความร้อน ได้มากถึง 10 เท่าของวัสดุทั่วๆไป เช่น อิฐ น้ำ หรือหิน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ เมื่อเทียบกับ PCMs

| Property | Rock | Water | Organic PCMs | Inorganic PCMs | unit |
|---|---|---|---|---|---|
| Density | 2,240 | 1,000 | 800 | 1,600 | $kg/m^3$ |
| Specific Heat | 1.0 | 4.2 | 2.0 | 2.0 | kJ/kg |
| Latent Heat | - | - | 190 | 230 | kJ/kg |
| Latent Heat | - | - | 152 | 368 | $kJ/m^3$ |

เรียบเรียงจาก (กำพล ล้อเลิศสกุล, 2551),(สิริธัช อัศวโกสีย์, 2551)

**2.2) คุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties)**

PCMs จะเกิดการเปลี่ยนสถานะเมื่อมีการสะสม หรือคายพลังงานความร้อน เช่น การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว หรือการเปลี่ยนจากของเหลวเป็นก๊าซ แต่โดยปกติแล้ว PCMs จะใช้การเปลี่ยนสถานะแบบ ของแข็งเป็นของเหลว และเปลี่ยนสถานะกลับคือ จากของเหลวเป็นของแข็ง อีกครั้งคุณสมบัติทางกายภาพที่ PCMs ควรจะมี ดังนี้

- มีความเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นช่วงการเปลี่ยนสถานะที่ต่ำ ในกรณีที่ PCMs ถูกบรรจุในภาชนะหรือแคปซูล เนื่องจากจะมีผลต่อปริมาตร โดยปริมาตรจะขยายใหญ่ขึ้น
- ไม่เกิด supercooling หรือ undercooling ที่ส่งผลให้ PCMs ไม่สามารถเปลี่ยนสถานะกลับได้ เนื่องจากการเกิดปัญหาดังกล่าว จะทำให้ PCMs ไม่สามารถนำความร้อนที่กักเก็บไว้มาใช้งานได้

**2.3) คุณสมบัติทางเคมี (chemical Properties)**

ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ PCMs ชนิด paraffin wax จึงขอทำการอธิบายในส่วนของ paraffin waxเท่านั้น พาราฟิน เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่กลั่นแยกจากน้ำมันดิบ โดยมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 48 - 68 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในน้ำ

Paraffin wax เป็นชื่อสามัญของแว็กซ์มีไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประกอบ และเป็นแว็กซ์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Petroleum wax โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $C_nH_{2n+2}$ จำนวนคาร์บอนในห่วงโซ่โมเลกุล 19-36 อะตอม มีลักษณะเป็นของแข็ง มีสีเหลืองอ่อน และขาว

พาราฟิน แว็กซ์ ได้มาจากกากส่วนที่เหลือของการกลั่นแบบหอกลั่นลำดับส่วน ซึ่งกากแว็กซ์ที่ที่ได้เรียกว่า Slack wax โดยจะมีน้ำมันในแว็กซ์ที่สูง จึงนำ Slack wax ที่ได้มาสกัดน้ำมันออกจากแว็กซ์ จึงได้ปริมาณน้ำมันในพาราฟิน แว็กซ์ ตามค่าเกณฑ์มาตรฐาน

คุณสมบัติทางเคมีที่ ชนิด paraffin wax มี ดังนี้

- ค่าพีเฮช ความเป็นกรด/เบส 5.8 - 6.3
- ปริมาณน้ำมันในแว็กซ์ (ร้อยละของน้ำหนักแว็กซ์) ร้อยละ 0.1 – 5
- จุดวาบไฟ 204-271 องศาเซลเซียส
- จุดเริ่มติดไฟ 238-263 องศาเซลเซียส
- จุดเดือด 350-430 องศาเซลเซียส
- จำนวนคาร์บอนในห่วงโซ่โมเลกุล -9-36

คุณสมบัติทางเคมีที่ PCMs ควรจะมี ดังนี้

- มีความเสถียรภาพ
- ไม่เกิด phase separation
- ไม่เกิดฤทธิ์กัดกร่อน (corrosiveness)
- ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ ไม่ระเบิด

มหาวิทยาลัยศิลปากร

**3 ประเภทของวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change material (PCMs)**

วัสดุเปลี่ยนสถานะ แบ่งออกได้2ประเภท ประเภทสารอินทรีย์ (Organic) และ สารอนินทรีย์ (Inorganic)

**3.1) Organic PCMs (สารอินทรีย์)**

สารอินทรีย์ มีชนิดที่นิยมมากที่สุดในการนำมาใช้เป็นPCMs ประกอบด้วย แอลเคน (alkane) ($C_nH_{2n+2}$) แอลเคนมีอีกชื่อหนึ่งว่าพาราฟิน (paraffin) หรือเรียกรวม ๆ ว่า พาราฟินซีรีส์ (paraffin series)และ กรดไขมัน ($CH_3$ ($CH_2$) $_{2n}$COOH) สารอินทรีย์อยู่ในสถานะพร้อมใช้งานและมีราคาที่ถูก อีกทั้งยังนำมาใช้งานได้ง่าย พาราฟิน (paraffin)ได้รับความนิยมมากในวงการการศึกษาทางด้านการจัดการความร้อน โดยจุดเปลี่ยนสถานะหรือหลอมเหลวของพาราฟินสามารถพบได้ตั้งแต่ 35 -70องศาเซลเซียส ทั้งนี้จุดหลอมเหลวจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนที่เฉพาะเจาะจง การเลือกใช้จะเหลอมเหลวจึงเป็นไปตามการใช้งานนั้นๆ ส่วนกรดไขมันมีคุณสมบัติที่มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าพาราฟิน ถูกพัฒนามาใช้ในเส้นใยโพลิอะคลิโลไนไทรล์ (polyacrylonitrile) ในการใช้ PCMs ในกลุ่มนี้ถูกนิยมใช้เป็นวัสดุเก็บสะสมพลังงานในวัสดุอาคารเนื่องจากช่วยในการลดต้นทุนในการใช้เครื่องปรับอากาศ อีกทั้งสารอินทรีย์ยังมีค่าความร้อนแฝงที่สูงทำให้สามารถจัดเก็บพลังงานในมวลขนาดเล็ก แต่ด้วยช่วงการหลอมละลายของกรดไขมันมีน้อยกว่าพาราฟิน โดยความสามารถในการกักเก็บพลังงานความร้อนของพาราฟินโดยทั่วไปอยู่ที่ 200-300 kJ/kg ในขณะที่กรดไขมันสามารถกักเก็บได้ 100-200 kJ/kg ในเชิงพาณิชย์จึงนิยมใช้พาราฟินมากกว่า และมีการจำหน่ายในวงกว้างในท้องตลาดปัจจุบัน

คุณสมบัติของ PCMs ชนิดสารอินทรีย์จะมีลักษณะตาม ตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการสืบค้นจากหลายๆบทความที่ได้ทำการวิจัยไว้แล้ว อีกทั้งสารอินทรีย์มีการศึกษาว่าการผสมผสานกันของสารอินทรีย์กันเองว่าสามารถช่วยให้กำหนดช่วงอุณหภูมิการหลอมละลายและปรับแต่งความสามารถในคุณสมบัติทางความร้อนให้เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะอย่างได้ (Fleischer, 2015)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางความร้อนของ PCMs สารอินทรีย์ทั่วไป

| Name | Type | $T_m$ (°C) | Latent heat (kJ/kg) | ρ (kg/m$^3$) | $C_p$ (kJ/kg) | K (W/m K) | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Octadecane | Paraffin | 29 | 244 | 814 (sol)<br>724 (liq) | 2150(sol)<br>2180(liq) | 0.358(sol)<br>0.152(liq) | [1] |
| Heneicosane | Paraffin | 41 | 294.9 | 773(liq) | 2386(liq) | 0.145(liq) | [2],[3] |
| Tricosane | Paraffin | 48.4 | 302.5 | 777.6(liq) | 2181(liq) | 0.124(liq) | [2],[3] |
| Tetracosane | Paraffin | 51.5 | 207.7 | 773.6(liq) | 2924(liq) | 0.137(liq) | [2],[3] |
| IGI | Blended Paraffin | 54.2 | 278.2 | 880(sol)<br>770(liq) | 2800(liq) | 0.25(sol)<br>0.135(liq) | [4],[5] |
| Oleic acid | Fatty acid | 13 | 75.5 | 871(liq) | 1744(liq) | 0.103(liq) | [2], [7], [8] |
| Capric acid | Fatty acid | 32 | 153 | 1004(sol)<br>878(liq) | 1950(sol)<br>1720(liq) | 0.153(liq) | [6],[7] |
| Lauric acid | Fatty acid | 44 | 178 | 1007(sol)<br>965(liq) | 1760(sol)<br>2270(liq) | 0.147(liq) | [6],[7] |
| Palmitic acid | Fatty acid | 64 | 185 | 989(sol)<br>850(liq) | 2200(sol)<br>2480(liq) | 0.162(liq) | [6],[7] |
| Stearic acid | Fatty acid | 69 | 202 | 965(sol)<br>848(liq) | 2830(sol)<br>2380(liq) | 0.172(liq) | [6],[7] |

เรียบเรียงจาก: [1] Javani N, Dincer I, Naterer GF, Yilbas BS (2014), [2] O'Connor W, Warzoha R, Weigand R, Fleischer AS, Wemhoff AP (2014), [3] Grodzka PG (1970), [4] Warzoha R, Weigand R, Fleischer AS (2015), [5] Warzoha R, Fleischer AS (2014), [6] Zalba B, Marin JM, Caberza LF, Mehling H (2003), [7] Kenisarin M, Mahkamov M (2007), [8] Sharma SD, Sagara K (2005)

**3.2) Inorganic (สารอนินทรีย์)**

เป็น PCMs ชนิดสารอนินทรีย์ จำพวกเกลือ (salts) และเกลือไฮเดรต (salt hydrates) ทั้งสองมีลักษณะที่คล้ายกัน จุดเปลี่ยนสถานะหรือจุดหลอมเหลวมีช่วงที่กว้างมาก ตั้งแต่ 10-900 องศาเซลเซียส ช่วงจุดเปลี่ยนสถานะที่การทับซ้อนกันบางช่วงของพาราฟินและกรดไขมัน แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ เกลือและเกลือไฮเดรต เป็นที่นิยมมากกว่าในจุดเปลี่ยนสถานะที่สูง โดยการเลือกใช้ PCMs ชนิดสารอนินทรีย์ จะถูกนำมาใช้ในลักษณะงานที่มีจุดเปลี่ยนสถานะที่สูงมาก เช่น งานเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น สารอนินทรีย์มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่จุดเปลี่ยนสถานะที่รวดเร็ว แทนที่จะค่อยๆเปลี่ยนสถานะ สารอนินทรีย์มีความร้อนแฝงใกล้เคียงกับสารอินทรีย์ แต่มีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่า สารอนินทรีย์มีความหนาแน่นที่สูงกว่าสารอินทรีย์ซึ่งจะเป็นผลดีหรือผลเสียก็แล้วแต่การใช้งาน โดยความหนาแน่นที่สูงขึ้นทำให้มวลมากขึ้นไปด้วย ซึ่งนั่นหมายถึงความหนาแน่นของพลังงานก็จะมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากพลังงานถูกเก็บไว้บนพื้นฐานของ มวล/หน่วย ซึ่ง

เป็นข้อดีของสารชนิดนี้ แต่ถึงกระนั้นการเพิ่มขึ้นของมวลก็จะส่งผลถึงน้ำหนักที่ตามมาซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมแก่งานที่ให้ความสำคัญต่อเรื่องน้ำหนักมวลสาร แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีข้อดีเหล่านั้นการเลือกใช้สารอนินทรีย์ก็ถูกจำกัดด้วยช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงมาก จึงเป็นข้อจำกัดของสารชนิดนี้

ปัญหาที่สำคัญของสารชนิดนี้คือความไม่เสถียรของเกลือไฮเดรต เนื่องด้วยมีสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ด้วย จึงมีแนวโน้มที่จะมีการคายน้ำออกมาในระหว่างการน้ำความร้อนนำไปสู่การสลายของตัวสารอนินทรีย์เองและอาจส่งผลให้เกลือมีการแตกตัวออกจากกัน การเลือกใช้สารอนินทรีย์จำเป็นที่ต้องระมัดระวังผลกระทบจากตัวสารอนินทรีย์เองที่ส่งผลเสียต่อวัสดุที่จะมาใช้ร่วมกัน เนื่องจากตัวสารมีฤทธิ์กัดกร่อน แต่ไม่ไวไฟ ส่วนสารอนินทรีย์มีแนวโน้มสูงที่จะเกิดสภาวะ Super cooling นั่นหมายถึงตัวสารไม่ได้เป็นของแข็งแต่เริ่มต้น แต่อาจจะต้องใช้กรรมวิธีให้ตัวสารนั้นแข็งก่อนอาจจะด้วยการแช่แข็ง อันเนื่องมาจากความไม่เสถียรของสารและอาจจะส่งผลต่อวัฏจักรการหลอมละลายของ PCMs ในครั้งต่อๆไป (Fleischer, 2015) สมบัติของ PCMs อนินทรีย์ทั่วไปสามารถพบได้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางความร้อนของ PCMs สารอนินทรีย์ทั่วไป

| Chemical formula | Name | Peak melt point (°C) | Latent heat (kJ/kg) | ρ ($kg/m^3$) | K (W/m K) | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $MgCl_2$-$6H_2O$ | Magnesium chloride hexahydrate | 117 | 168.6 | 1450 (liq)<br>1569 (solid) | 0.579 (liq)<br>0.694 (solid) | [6] |
| $CaCl_2.6H_2O$ | Calcium chloride hexahydrate | 29 | 170-192 | 1562 (liq)<br>1802 (solid) | 0.561 (liq)<br>1.008 (solid) | [8] |
| $NaS0_4$-$10H_2O$ | Glauber's salts | 32 | 251 | 1485 (solid) | 0.544 | [8] |
| $NaNO_3$ | Sodium nitrate | 307 | 172 | 2260 (solid) | 0.5 | [6] |
| $KNO_3$ | Potassium nitrate | 333 | 266 | 2110 (solid) | 0.5 | [6] |
| $MgCl_2$ | Magnesium chloride | 714 | 452 | 2140 (solid) | NA | [6] |
| $NaCl_2$ | Table salt (sodium chloride) | 804 | 492 | 2160 (solid) | 5.0 | [6] |
| KF | Potassium fluoride | 857 | 452 | 2370 (solid) | NA | [6] |

เรียบเรียงจาก: [6] Zalba B, Marin JM, Caberza LF, Mehling H (2003), [8] Sharma SD, Sagara K (2005)

เนื่องจาก PCMs มี2ประเภทหลักคือ ประเภทสารอินทรีย์ (organic) และ สารอนินทรีย์ (inorganic) โดยแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามแต่องค์ประกอบทางเคมีในสารนั้นๆในการเลือกใช้จึงจำเป็นที่ต้องศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดตามแต่ละชนิดงาน จึงได้รวบรวมคุณสมบัติของ PCMs แต่ละชนิดไว้ในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 จำแนกคุณสมบัติของ PCMs แต่ละชนิด

| Classification | inorganic | organic |
|---|---|---|
| Advantages | High volumetric latent heat storage capacity<br>Availability and low cost<br>Non-flammable<br>High thermal conductivity<br>High heat of fusion | High heat of fusion<br>Availability in a large temperature range<br>Safe and non-reactive<br>Non-Corrosion<br>Carbohydrate and lipid based PCMs can be produced from renewable sources<br>Stability<br>Compatibility with conventional material of construction<br>Non- Supercooling Non- Undercooling |
| Disadvantages | Change of volume is very high<br>Super cooling is major problem in solid–liquid transition<br>Corrosion | Flammable. This can be partially alleviated by specialist containment<br>Volumetric latent heat storage capacity can be low<br>Low thermal conductivity in their solid state |

เรียบเรียงจาก : (Fleischer, 2015), (Zhou, ZhaoและTian, 2012), (wikipedia, 2017), (Akeiberและคณะ, 2016), (Rodriguez-Ubinas, Ruiz-Valero, Vegaและ Neila, 2012), (ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล, 2549)

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่า การเลือกใช้ PCMs แบบสารอินทรีย์ (organic) จะมีผลดีมากกว่า แต่ในขณะเดียวกันก็จะมีข้อเสียบางประการ เช่นในเรื่อง ไวไฟ ก็ต้องเลือก ชนิดที่เหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งนี้สารที่จะนำมาทำการใช้งานอาจจะมีการปรับปรุงทางเคมีเพื่อให้เหมาะสมแล้วแต่ชนิดงานตามผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะ แต่โดยรวมแล้วการเลือกใช้ PCMs แบบสารอินทรีย์ (organic) จะเหมาะสมในการนำมาใช้งานต่อไป

**4 การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในอาคาร**

การเก็บรักษาพลังงานความร้อนในวัสดุก่อสร้าง ในลักษณะการเพิ่มความจุความร้อนนั้น ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบที่อยู่อาศัยมาเป็นเวลานานแล้ว โดยการเก็บรักษาพลังงานความร้อนนี้จะถูกนำมาใช้ในอาคารในรูปแบบนำความร้อนจากการกับเก็บในช่วงเวลากลางวันมาใช้ในช่วงเวลากลางคืน ตัวอย่างเช่น ที่อยู่อาศัยบริเวณทะเลทราย ที่ช่วงกลางวันร้อนมาก และช่วงกลางคือเย็นมาก ส่งผลให้การออกแบบอาคารมีผนังที่หนามาก เพื่อช่วยในการกักเก็บความร้อนในผนังในช่วงเวลากลางวัน เมื่ออุณหภูมิรอบๆผนังเย็นลงความร้อนจากผนังที่กักเก็บไว้ก็จะถูกถ่ายเทออกมาในช่วงเวลากลางคืนและช่วยให้อุณหภูมิในที่พักอาศัยช่วงเวลากลางคืนของบ้านแถบทะเลทรายไม่หนาวจนเกินไป ตัวอย่างเช่น บ้านแบบ “Adobe” เป็นที่อยู่อาศัยที่สร้างขึ้นจากวัสดุอินทรีย์ (organic materials) ส่วนใหญ่ทำจากดินและเศษพืช เป็นสถาปัตยกรรมที่ถูกสร้างขึ้นในแถบทะเลทราย (Fleischer, 2015)

ภาพที่ 2 ที่อยู่อาศัยที่สร้างขึ้นจากวัสดุอินทรีย์ (organic materials.) หรือ Adobe

ภาพที่ 3 ที่อยู่อาศัยที่สร้างขึ้นจากวัสดุอินทรีย์ (organic materials.) หรือ Adobe (2)

PCMs ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในเทคโนโลยีอุสาหกรรมเครื่องจักรกล และได้พัฒนาต่อเนื่องจนมาถึงการนำมาใช้ในแผงควบคุมโซล่าเซลล์ ที่ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์ไม่ให้ร้อนมากจนเกินไป และยังสามารถช่วยให้เพิ่มปริมาณการกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มได้มากขึ้น และได้พัฒนาต่อเนื่องจนมาสู่การใช้ PCMs ในอาคารที่อยู่อาศัย ประโยชน์ที่เมื่อนำ PCMs มาใช้ในอาคารมีทั้งในส่วนของผนัง ฝ้า พื้น หรือกระจก เป็นต้น ก็ไม่ได้แตกต่างจากการใช้ในด้านอุสาหกรรมเครื่องจักรมากเท่าใด นั่นคือช่วยกักเก็บความร้อนได้มากขึ้นในปริมาณที่คงที่ส่งผลให้ลักษณะทางโครงสร้างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย หมายถึงน้ำหนักโครงสร้างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และง่ายต่อการออกแบบ

การนำ PCMs มาใช้ในงานสถาปัตยกรรมในปัจจุบัน มีการวิจัยไว้จำนวนหนึ่งโดยส่วนใหญ่ของงานวิจัยจะถูกวิจัยขึ้นในต่างประเทศ PCMs ที่ถูกนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมนั้นมาหลายรูปแบบ อาทิ พื้น ผนัง ฝ้า เป็นต้น เป้าหมายในการนำมาใช้คือเพื่อเพิ่มการกักเก็บความร้อนของวัสดุที่ใช้ร่วมกับ PCMs โดยที่มวลรวมของวัสดุเมื่อใช้ร่วมกับ PCMs แล้วเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังเช่นการทบทวนบทความดังนี้

**4.1) งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ PCMs ในอาคารจากต่างประเทศ**

Akeiber et al. (2016) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ PCMs ในการลดอุณหภูมิในอาคาร รวมไปถึงความแตกต่างของ Organic, Inorganic และ eutectic PCMs ในทั้งทางการทดลองและทางทฤษฎีที่นำ PCMsไปใช้กับอาคารที่อยู่อาศัย จากการศึกษาพบว่า PCMs เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงในการกักเก็บความร้อนในรูปแบบความร้อนแฝง และยังเป็น Smart Material ในการควบคุมสภาพแวดล้อมในอาคาร โดยจุดเด่นของ PCMs จะปรากฏชัดเจนเมื่อใช้ร่วมกันโครงสร้างน้ำหนักเบา เนื่องจาก PCMs มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานได้ดีทำให้สามารถช่วยลดการผันผวนของอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวัน และช่วยทำให้อุณหภูมิคงที่ในช่วงภาวะสบาย ชนิดของ PCMs สามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้แก่ organic, inorganic และ eutectic PCMs ในการศึกษานี้พบว่า organic (โดยเฉพาะพาราฟิน)ได้รับความสนใจจากนักวิชาการมากที่สุดเนื่องจากมีลักษณะที่เหมาะสมทั้งในเรื่องราคา ความเสถียรภาพ ไม่กัดกร่อน และจุดหลอมเหลวสูง ถึงแม้ว่า PCMs ชนิดอื่นๆ เช่น เกลือ ที่มีคุณสมบัติแต่การนำไปใช้ของเกลือยังมีข้อจำกัดอยู่ โดยทั่วไปมี 2 เทคนิคในการนำ PCMs มาใช้ในอาคาร คือแบบ active และ แบบ passive. ชนิดของทาง PCMs ในงานวิจัยนี้แนะนำว่า encapsulation of PCMs เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากการใช้งานส่วนใหญ่ของ PCMs จะถูกนำไปใช้กับผนังอาคาร

Bouguerra E.H. and Retiel N.(2014). ได้ทำการศึกษาความสามารถของ PCMs ในการลดภาระความร้อนในอาคารจริง และวิธีลดความผันผวนของอุณหภูมิภายในอาคารที่จะนำไปสู่ภาวะน่าสบายในช่วงฤดูร้อน การทดสอบอยู่บนพื้นฐานการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยกรณีศึกษาเป็นบ้านพักอาศัยขนาด104 ตารางเมตร 2ห้องนอน 1ห้องนั่งเล่น 1ห้องครัว 1ห้องน้ำและ 1ห้องเก็บของ ระยะเวลาในการทดลองคือ เดือนมิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน จากการทดลองพบว่าการทำงานของ PCMs สามารถลดภาระความร้อนได้ประมาณร้อยละ 20 ควรใช้ PCMs บนเพดานจะเหมาะสมมากที่สุดทั้งเรื่องค่าใช้จ่ายและการใช้งาน

Madessa, H. B.(2014). ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมจากการศึกษาสมรรถนะด้านความร้อนของ PCMs ประเภทต่างๆและการใช้ PCMs ร่วมกับอาคารในสภาพภูมิอากาศของยุโรป พบว่า PCMs มีความสามารถในการลดอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคาร และช่วยยืดเวลาในการเกิดอุณหภูมิสูงสูด ช่วยลดอุณหภูมิส่วนเกินจากภาวะน่าสบาย อีกทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง off-peak และ PCMs สามารถเพิ่มการต้านทานความร้อน ได้เหมือนกับการใช้ฉนวนกันความร้อน จากการทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นชัดเจนว่า PCMs มีศักยภาพที่สามารถใช้งานหลากหลาย ใช้ได้ทั้งในรูปแบบอาคารที่พักอาศัย และในรูปแบบที่ไม่ใช่ที่พักอาศัยแบบ passive house หรือจะถูกใช้ในกลไกของเครื่องทำความเย็น รวมไปถึงการใช้ PCMs ที่เปลือกอาคารหรือผนังภายในอาคาร และ PCMs ยังยังถูกรวมเข้ากับกระจกหน้าต่าง หรือระแนงกันแดด ผลการศึกษาของวงจรชีวิตของ PCMs พบว่า PCMs ที่ใช้ร่วมกับอาคารสามารถช่วยลดการปล่อยของเสียของอาคาร (energy footprint) ถึงแม้ PCMs บางตัวจะมีงานในการผลิต (embodied energy) ที่สูง อย่างเช่นในประเทศนอร์เวย์ มีการผลิต PCMs ในพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานทดแทน พบว่าอาคารที่ใช้ PCMs สามารถช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยรวมของได้

Mushtaq T. H, Ahmed Q. M and Hasanain M.H. (2013). ในบทความนี้เป็นการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับความสามารถทางความร้อนของ PCMs โดยอาศัยการกักเก็บมวลความร้อนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ในการทดลองประกอบด้วย ชุดห้องทดลอง 2 ห้อง ขนาด1.80 เมตร 1.80 เมตร x 2.44 เมตร ที่มี PCMs อยู่บนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มี PCMs บนหลังคา PCMs ในการทดลองมีจุดเปลี่ยนสถานะอยู่ที่ 37 องศาเซลเซียส ผลจากการทดลองพบว่า ห้องที่มี PCMs อยู่บนหลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ ร้อยละ 46.71 เมื่อเทียบกับห้องที่ไม่มี PCMs บนหลังคา

Rodriguez-Ubinas, E., L. Ruiz-Valero, S. Vega and J. Neila.(2012) บทความนี้ได้ทำการศึกษาการใช้งานของPCMs ในรูปแบบต่างๆของบ้านโครงสร้างเบาที่ถูกเข้าร่วมการแข่งขัน “American Solar Decathlon” เป็นการแข่งขันระดับนานาชาติ จัดโดยกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา ในการศึกษาเริ่มต้นด้วยการจำแนกประเภทและการใช้งานของ PCMs รวมไปถึงจุดปลี่ยนสถานะ และข้อจำกัดต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า การประยุกต์ใช้ PCMs ในรูปแบบ การกักเก็บความร้อนด้วยความร้อนแฝง สามารถช่วยให้บ้านโครงสร้างเบาเพิ่มประสิทธิภาพในการในการใช้พลังงาน และการใช้พลังงานทดแทนได้ดีขึ้น ตั้งแต่ปี 2548 ได้มีการนำ PCMs มาทดลอง และพัฒนาเป็นนวัตกรรมใหม่ๆ ใช้ในอาคารบ้านพักอาศัยเพิ่มมากขึ้น และ PCMs ถูกนำมาใช้ในแบบ passive and active โดยความเป็นไปได้ในการนำไปใช้พบว่าการห่อหุ้ม PCMs จะช่วยให้ PCMs กักเก็บมวลความร้อนด้วยความร้อนแฝงได้ดีขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับอาคารโครงสร้างเบา การทดลองของการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นว่า PCMs มีความสามารถในการช่วยลดการผันผวนของอุณหภูมิ และสามารถช่วยลดความร้อนสูงสุดได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของ PCMs อีกทั้งการเลือกวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมและอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะที่ถูกต้องจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงสภาพอากาศในท้องถิ่น ลักษณะการวางแนวอาคาร การใช้งานของอาคาร ตลอดจนวัตถุประสงค์ของการเลือกใช้ PCMs ในอาคารอีกด้วย โดยอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการเลือกใช้ PCMs หากจุดเปลี่ยนสถานะไม่เหมาะสมอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ PCMs ได้

Sunil. R. Gound, S. S., Aakash Gawande, Krushna Jayale, Sagar Naikwad.(2015) ทำการศึกษาการใช้ PCMs ในคอนกรีตบล็อก โดยเปรียบเทียบกับ ขี้ผึ้ง ในคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีบรรจุสารใด เพื่อศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิของทั้งสามตัวอย่าง โดย PCMs ชนิด พาราฟิน ที่ใช้มีจุดเปลี่ยนสถานะอยู่ที่ 37 องศาเซลเซียส และคอนกรีตบล็อกขนาด 0.40x0.20x0.10 เมตร ขี้ผึ้ง จุดเปลี่ยนสถานะอยู่ที่ 62 – 64 องศาเซลเซียส กล่องทดลองทำจากไม้อัด ทั้งสามด้าน ในการทดลองได้ทำการบรรจุสาร PCMs ลงในบล็อกคอนกรีตที่รูตรงกลาง และในอีกกล่องทดลองได้เดิมขี้ผึ้งลงในบล็อกคอนกรีตที่รูตรงกลาง เช่นเดียวกัน ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของ บล็อกคอนกรีตไม่บรรจุสาร บล็อกคอนกรีตบรรจุ PCMs ชนิด พาราฟิน และ บล็อกคอนกรีตบรรจุขี้ผึ้ง มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 39.78 37.01 และ 38.33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะเห็นว่า PCMs มีความสามารถในการช่วยลดอุณหภูมิสูงสุดภายในกล่องทดลองได้ดีกว่า จากการทดลองยังพบอีกว่า เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวบล็อกคอนกรีตกับอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง ของทั้งสามกล่องเป็นดังนี้ 2.9 5.98 และ 4.93 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะเห็นว่า PCMs มีความต่างของอุณหภูมิผิวบล็อกคอนกรีตกับอุณหภูมิภายในกล่องทดลองมากที่สุด

ในการทดลองนี้ บล็อกคอนกรีตบรรจุ PCMs สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้ อีกทั้งยังสามารถพัฒนาไปใช้กับการลดพลังงานสำหรับการระบายความร้อนหรือระบายความเย็น รวมไปถึงการระบายอากาศภายในอาคารอีกด้วย

Zhou, D., C. Y. Zhao and Y. Tian. (2012) ได้ทำงานสรุปผลงานการวิจัยเกี่ยวกับ PCMs ที่ใช้ในอาคาร ทั้งวิธีการใช้งาน วิเคราะห์ความสามารถของ PCMs ตลอดจนการจำลองเชิงตัวเลขของอาคารที่ใช้ PCMs จากการทบทวนงานวิจัยพบว่า การใช้งาน PCMs ควรเป็นไปตามเกณฑ์ ภาวะน่าสบาย หมายความว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCMs ควรอยู่ระหว่าง 18-30 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความเสถียรทางเคมี การเผาไหม้ของสาร และการเข้ากันได้ของวัสดุก่อสร้าง การกักเก็บมวลความร้อนด้วยความร้อนแฝงของ PCMs ได้ถูกนำมาใช้ที่ ผนังอาคาร ฝ้าเพดาน และพื้น ซึ่งมีผลต่อความผันผวนของอุณหภูมิโดยการกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดช่วงเวลาแสงแดด เพื่อเอาความร้อนนั้นมาใช้ในรูปแบบ passive solar heating และยังเป็นประโยชน์สำหรับการกักเก็บพลังงานความร้อนมาใช้ในช่วง off-peak อีกด้วย อย่างไรก็ตามต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ PCMs ร่วมกับอาคาร เพื่อดูปัญหาที่จะเกิดขึ้นในระยะยาว ที่อาจส่งผลถึงความปลอดภัย ความเหมาะสม สมเหตุสมผลต่อการใช้ PCMs ร่วมกับอาคาร

**4.2) งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ PCMs ในอาคารในประเทศไทย**

กำพล ล้อเลิศสกุล. (2551) งานวิจัยนี้เป็นการทดลองใช้ PCMs ร่วมกับวัสดุก่อสร้าง โดย PCMs ที่ใช้เป็น พาราฟิน โดยทำการแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน คือ

1. เป็นการผสม PCMs กับเถ้าลอยผสมกันด้วยการแช่แบบธรรมดา. และ การผสม PCMs กับเถ้าลอยผสมกันด้วยการแช่แบบระบบสุญญากาศ แล้วจึงนำไปทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน ผลจากการทดสองพบว่า การผสม PCMs กับเถ้าลอยผสมกันด้วยการแช่แบบระบบสุญญากาศสามารถดูดซับได้ดีกว่าแบบแช่ธรรมดา

2. เป็นการทดสอบวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ผลิตในข้อ1 มาผสมร่วมกับปูนซีเมนต์โดยการสร้างกล่องจำลองขนาด 0.15x0.15x0.15 เมตร โดยด้านบนของกล่องจำลองอันหนึ่งเป็น มอร์ตาร์เพลท และอีกกล่องจำลองเป็นมอร์ต้าร์ PCMs เพลท ด้านบนของกล่องใช้หลอดไฟขนาด 100 วัตต์ ให้ความร้อน

ผลการทดลองพบว่ามอร์ต้าร์ PCMS เพลท สามารถกันความร้อนได้ดีกว่า มอร์ตาร์เพลท แต่ในทางกลับกัน มอร์ตาร์เพลทสามารถคายความร้อนได้เร็วกว่า มอร์ต้าร์ PCMs เพลท การทดสอบ

ปริมาณ PCMs ที่ผสมพบว่า ปริมาณ ร้อยละ10 , 30 และ 50 มีความสามรถในการป้องกันความร้อนได้ใกล้เคียงกันมาก PCMs ปริมาณ ร้อยละ10 ก็เพียงพอต่อการดูดซับพลังงานความร้อนจากหลอดไฟ อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่า มอร์ต้าร์ PCMs เพลท มีการรั่วไหลของ PCMs เกิดขึ้นเล็กน้อย เป็นลักษณะเหมือนรอยเปียก แต่เมื่อสัมผัสที่รอยดังกล่าว ไม่มีรอยเปียกติดมือแต่อย่างใด ปัญหานี้สามารถแก้ได้ด้วยการทาสีทับเพื่อปกปิดรอย

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล. (2549) ได้ทำการศึกษาและการออกแบบการใช้ PCMs เพื่อจัดการการถ่ายเทความร้อนของโครงสร้างผนังอาคารรวมไปถึงการใช้ PCMs สำหรับงานทางวิศวกรรมอื่นๆการดำเนินงานวิจัยอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์ จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยวิธีเชิงตัวเลข ได้วิเคราะห์เปรียบเทียบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิ และการดูดซับความร้อนของผนังโครงสร้างที่มี PCMs และไม่มี PCMs รูปแบบการจำลองผนังถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็น composited wall ผลจากการทดลองพบว่า หากอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่ถูกเลือกใช้มีค่าเหมาะสมเป็นผลทำให้ความร้อนแฝงของ PCMs ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเพิ่มมวลความร้อนให้แก่ผนังได้เป็นอย่างมากส่งผลให้ค่าอุณหภูมิ สูงสุดของผนังมีค่าลดลง ช่วยชะลอการถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังภายนอกสู่ผิวหนังภายใน อีกทั้งผลจากการคำนวณยังพบอีกว่า PCMs ในโครงสร้างผนังสามารถช่วยให้ผนังมีมวลความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนสถานะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังในรอบวันที่ทำการทดลอง

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล และ วิทยา ยงเจริญ. (2550) ศึกษาถึงศักยภาพของการใช้ PCMs เป็นส่วนประกอบผนังโครงสร้างอาคาร ภายใต้สภาพอากาศกรุงเทพมหานครโดยวิเคราะห์ถึง พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิของผนังคอนกรีต ที่มี PCMs และไม่มี PCMs อยู่ในผนังที่ตอบสนองต่อค่าเฉลี่ยทั้งปีของรังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงในรอบวัฏจักรหนึ่งรอบวัน)24 ชั่วโมงโดยมีจุดประสงค์หลัก เพื่อ (ประเมินศักยภาพเบื้องต้นของการใช้ PCMs ต่อพฤติกรรมทางความร้อน ของผนังอาคารในกรุงเทพมหานคร เพื่อลดอุณหภูมิสูงสุดของผนังอาคาร และเพื่อวิเคราะห์วิธีการกำหนดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมของ PCMs ต่อการใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในการทดลองเป็นการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนแบบ มิติ1PCMที่ใช้เป็นชนิดพาราฟิน โดยให้ปริมาณผสมของสาร PCMs อยู่ที่ร้อยละ20 ของมวลรวมผสมกันอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ PCMs ที่ใช้ทดลองมีจุดเปลี่ยนสถานะที่อยู่ที่ 25 40 และ 50 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า PCM ที่อุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะ 25 องศาเซลเซียส PCMs มีสถานะเป็นของเหลวตลอดเวลา และอุณหภูมิผิวผนังไม่มีความแตกต่างระหว่างผนังที่มี PCMs กับผนังที่ไม่มี PCMs เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะเป็น 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่

กึ่งกลางระหว่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดพบว่า อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลากลางวันมีค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดลดลง 8-10 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกันช่วงเวลากลางคืนก็เพิ่มขึ้นมากกว่าผนังที่ไม่มี PCMs ในช่วงเวลา 19.00-09.00 น. และเมื่อลองเปลี่ยนมาใช้ PCMs อุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิของผนังตลอดเวลาส่วนใหญ่ พบว่า PCMs ไม่ได้ถูกใช้ความร้อนแฝงอยากเต็มประสิทธิภาพส่งผลให้อุณหภูมิไม่มีค่าแตกต่างจากผนังที่ไม่มี PCMs จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า PCMs มีศักยภาพในการเพิ่มมวลความร้อนให้แก่วัสดุในรูปแบบความร้อนแฝง อันเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะระหว่างของแข็งกับของเหลวของ PCMs ซึ่งช่วยลดค่าอุณหภูมิผิวผนังสูงสุดได้ และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สาร PCMs ต้องมีค่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมควรมีค่าเท่ากับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยวัสดุผนังในรอบวันที่พิจารณาที่ตำแหน่งนั้นๆ

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล. (2553) งานวิจัยนี้แสดงถึงผลการคำนวณข้อมูลพฤติกรรมทางความร้อนของผนังตามสภาวะการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิอากาศและความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงผนัง ในแต่ละชั่วโมง ในแต่ละวันโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศเดือนเมษายน ของกรุงเทพมหานครด้วยการคำนวณแบบ transient heat transfer แทนการใช้วิธีประมาณแบบ quasi-steady PCMs ที่ใช้เป็นชนิดพาราฟิน อุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะ 36.7 องศาเซลเซียส ซึ่งเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยรวมตลอดความหนาของผนัง ผลการคำนวณพบว่า ผนังที่มี PCMs มีอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละวันเฉลี่ยลดลงประมาณเกือบ 10 องศาเซลเซียส และสามารถชะลอการเกิดอุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ยประมาณ 3-4 ชั่วโมง และค่าความจุความร้อนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 42 (1,956.43 kJ/$m^2$) ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังสู่พื้นที่ภายใน รวมเฉลี่ยในหนึ่งวัน ช่วงเวลากลางวันลดลงร้อยละ 42 (2,529.67 kJ/$m^2$) แต่ในช่วงเวลากลางคืนความร้อนถูกถ่ายเท เพิ่มขึ้น 1,332.59 kJ/$m^2$ ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนสู่พื้นที่ภายในอาคารเฉลี่ยต่อวัน มีค่าสุทธิลดลง ร้อยละ 17 (1,197.05 kJ/$m^2$) จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า ค่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิผลของการใช้สาร PCM ควรมีค่าเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของผนัง ณ ตำแหน่งที่ PCMs ผสมอยู่

ชัยวัฒน์ เอี่ยมละออ, ศจี สูนกลาง และ วรพันธุ์ แก้วประจบ. (2550) การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ PCMs เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างผนังเพื่อปรับปรุงพฤติกรรมทางความร้อนของผนังและทำชุดผนังจำลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมทางความร้อนของผนัง การดำเนินงานของการทดลองได้สร้างชุดทดลองจำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนแบบ 1 มิติ โดยใช้หลอดไฟเพื่อจำลอง heat flux solar ที่เข้าสู่ผนังที่มีการแปรผันคล้ายสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยในแต่ละวันของกรุงเทพมหานคร โดยการควบคุมอัตราการจ่ายไฟจาก programmable power supply

controller เพื่อควบคุมการจ่ายไฟฟ้า จากการทดลองพบว่า PCMs มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังจำลองและสามารถช่วยลดอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นประมาณ 3 องศาเซลเซียส รวมถึงช่วยชะลอเวลาของการเกิดอุณหภูมิสูงสุดให้ช้าลงได้ ส่งผลให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารในช่วงเวลากลางวันมีค่าลดลง

ณัฐกานต์ เกษประทุม. (2543) งานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการหน่วงความร้อน การทดลองถูกแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การทดลองจากกล่องทดลอง และการทดลอง ณ สถานที่จริง ผนังในการทดลองเป็นผนังคอนกรีต หนา 10 20 และ 30 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่าผนังคอนกรีตที่จะมีค่าความจุความร้อนมาก ทำให้หน่วงความร้อนมากเช่นกัน ผนังคอนกรีตหนา 30เซนติเมตร จะหน่วงความร้อนได้นานที่สุด มากกว่าผนังคอนกรีตหนา 20 เซนติเมตร 1 ชั่วโมง และมากกว่าผนังคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร 2.5 ชั่วโมง และผนังที่ผิวภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่ำกว่าผนังที่ได้รับรังสีโดยตรง 0.6-0.8 องศาเซลเซียส และผนังที่ทาสีขาวจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต่ำกว่าผนังที่ทาสีดำ 3-4 องศาเซลเซียส ผนังที่มีมวลสารมากเหมาะกับการใช้งานในช่วงเวลากลางวัน ผนังภายนอกที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง หรือทาสีขาวจะมีอุณหภูมิภายในช่วงเวลากลางวันเท่ากับ 30-32 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 0.5-2.7 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกันในช่วงเวลากลางคืนผนังมวลสารมากจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 3.7-8.3 องศาเซลเซียส อาคารที่ไม่ปรับอากาศและใช้งานในช่วงเวลากลางวันเหมาะกับการใช้ผนังที่มีมวลสารมาก แม้ว่าอุณหภูมิจะไม่ได้อยู่ในสภาวะน่าสบายแต่สามารถใช้การพาของอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิได้ แต่ผนังที่มีมวลสารมากไม่เหมาะกับอาคารที่ไม่ปรับอากาศที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางคืนเนื่องจากอุณหภูมิภายในมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก และรวมไปถึงอาคารที่ปรับอากาศไม่ตลอด 24 ชั่วโมง ที่ไม่เหมากับผนังที่มีมวลสารมาก เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะใช้พลังงานในการลดความร้อนสะสมในผนังเป็นปริมาณที่มากเพื่อการควบคุมอุณหภูมิ

ศรัณยู ไตรสาร, กฤดิ เทพเกลี้ยง เชิดชัย สิทธิ. (2552) การทดลองเป็นการขยายผลการศึกษาจากงานวิจัยเดิม ชัยวัฒน์ เอี่ยมละออ, ศจี สูนกลาง และ วรพันธุ์ แก้วประจบ. (2550) มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเปลี่ยนสถานะ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนัง ในการทดลองได้สร้างชุดจำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังเบาแบบ 1 มิติ โดยใช้หลอดไฟเพื่อจำลอง heat flux solar ที่เข้าสู่ผนังที่มีการแปรผันคล้ายสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยในแต่ละวันของกรุงเทพมหานคร โดยการควบคุมอัตราการจ่ายไฟจาก programmable power supply controller เพื่อควบคุมการจ่ายไฟฟ้า ในการศึกษาได้จำลองผนังแบบ sheet metal มี PCMs และ

ผนังที่ไม่มี PCMs จากการทดลองพบว่า ผนังแบบ sheet metal มีอุณหภูมิสูงกว่า ผนังแบบ sheet metal+ PCMs ประมาณ 5 องศาเซลเซียส และหากมีปริมาณ PCMs ที่น้อยเกินไปผลที่เกิดขึ้นจะไม่เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิเท่าที่ควร การใช้ PCMs ที่มีปริมาณที่พอเพียงกับปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาจะช่วยลดอุณหภูมิและความร้อนที่จะเข้ามาได้และสามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิในรอบวันได้

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับ วัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change material (PCMs) มีการนำ PCMs มาใช้ในรูปแบบต่างๆ ทั้งในส่วนของงานเครื่องจักรกล งานอากาศยาน และงานอาคาร เป็นต้น โดยส่วนใหญ่เป็นการใช้การในรูปแบบ การกักเก็บพลังงานความร้อน เนื่องจากคุณสมบัติของ PCMs จะเป็นการกักเก็บความร้อนในรูปแบบความร้อนแฝง ด้วยการเปลี่ยนสถานะส่งผลให้ความร้อนที่ถูกถ่ายเทมาที่ PCMs จะถูกกักเก็บไว้ที่ตัวสาร PCMs โดยตัว PCMs จะสามารถกักเก็บมวลความร้อนได้มากถึง 10 เท่า ของค่าความจุความร้อนคอนกรีตที่มีขนาดน้ำหนักเท่ากัน จากการศึกษายังพบอีกว่า ชนิดของ PCMs ที่ถูกนำมาใช้จะถูกจำแนกตามความเหมาะสมของงาน หากเป็นงานอาคาร ชนิดของ PCMs ที่เหมาะสมพบว่าจะเป็น พาราฟิน เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะที่อยู่ในการใช้งานจริง คือช่วง 0 – 100 องศาเซลเซียสโดยประมาณ และมีความเสถียรของสารเคมี ไม่เกิดปัญหาการเปลี่ยนถานะกลับคือไม่ได้ ไม่เป็นพิษ ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน ทั้งนี้หากต้องการจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสม ตามงานที่จะนำไปใช้สามารถทำด้วยกระบวนการทางเคมีในการปรับเปลี่ยนจุดเปลี่ยนสถานะของ PCMs ได้ จากการศึกษาการใช้ PCMs ในวัสดุอาคาร พบว่า การเลือกใช้ PCMs นั้นจะต้องมีจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสม หมายถึง จุดเปลี่ยนสถานะที่จะนำมาใช้นั้นจะต้องมีค่าเท่ากับ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันของ ณ ตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง PCMs จะช่วยทำให้ การทำงานของ PCMs มีประสิทธิภาพดีที่สุด หากค่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะของ PCMs ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันของ ณ ตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง PCMs จะส่งผลให้ อุณหภูมิตำแหน่งที่ทำการติดตั้ง PCMs สูงขึ้น หรือหากค่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะของ PCMs มากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันของ ณ ตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง PCMs จะส่งผลให้ อุณหภูมิตำแหน่งที่ทำการติดตั้ง PCMs ทำให้ PCMs ไม่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ เนื่องจาก PCMs ไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพได้อย่างเต็มที่ ในการนำ PCMs มาใช้ทั้งในประเทศไทย และ ต่างประเทศพบว่าสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้ ทั้งนี้ต้องอยู่บนพื้นฐานการเลือกใช้จุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมตามงานต่างๆ

จากการศึกษาจะพบว่าการนำ PCMs มาใช้นอกจากการเลือกชนิดของ PCMs แล้วสิ่งสำคัญที่สุดของการนำ PCMs มาใช้นั้นคือ การหาจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสม จึงเป็นขั้นตอนต่อไปของการวิจัยในการศึกษาหาจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทดลองนี้

# บทที่ 3
# วิธีการศึกษา

การศึกษาอยู่บนพื้นฐานของการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs) และศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวที่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs โดยทำการศึกษาผลจากการทดลองสภาพภูมิอากาศจริง ในช่วง ฤดูร้อนเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในรอบปี เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในหุ่นจำลอง เมื่อทำการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ(PCMs) ร่วมกับอิฐขาว (calcium silicate brick) ด้วยวิธี composite และศึกษาความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนในกล่องทดลอง และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1.การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ PCMs ร่วมกับอิฐขาว เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของ PCMs เบื้องต้นของการนำ PCMs ร่วมกับอิฐขาวให้เกิดประสิทธิภาพ ได้ทำการศึกษาดังนี้

1.1 วัตถุประสงค์

- ศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติ ของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) ที่หาได้จากภายในประเทศไทย
- ศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติ ของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) ที่จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรม

1.2 วิธีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ PCMs ร่วมกับอิฐขาว

- ศึกษาการนำ PCMs มาใช้ ในการทดลอง
- ศึกษาการหาจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) เมื่อใช้ร่วมกับอิฐขาว
- การจัดหาวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) จุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมอยู่ที่ 34 องศาเซลเซียส ชนิดของ PCMs คือ paraffin wax
- การจัดหาอิฐขาว (calcium silicate brick) จากบริษัท K.S. CONTRADE CO.LTD ใช้อิฐขาว KSP 7 ขนาด กว้าง 7 x ยาว 24 x สูง 11 ซม.
- การผลิตอิฐขาวใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) เลือกวิธีการผลิตแบบ composite
- ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนในการทดลอง
- ทำการทดลองด้วยหุ่นจำลองทำจากโฟม โพลีสไตรีน (Polystyrene) ขนาด 0.60 x 0.60 x 0.50 เมตร

2 การศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) เพื่อศึกษาความสามารถของ PCMs ทั้งทางกายภาพ และความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ได้ทำการศึกษาดังนี้

2.1 วัตถุประสงค์

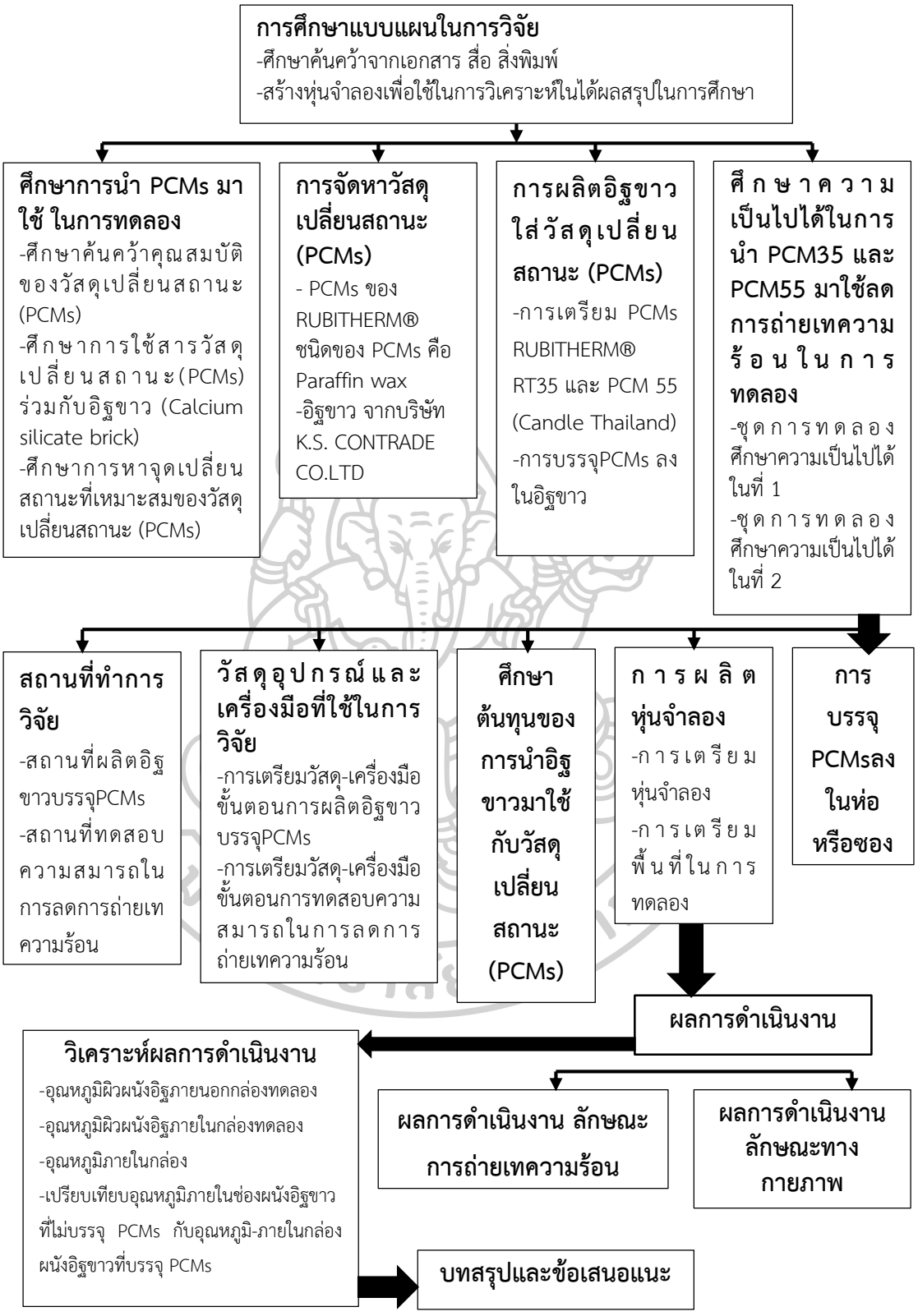
- ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวที่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

2.2 วิธีการศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)

- ทำการทดลองด้วยหุ่นจำลองทำจากโฟม โพลีสไตรีน (Polystyrene) ขนาด 0.60 x 0.60 x 0.50 เมตร
- ทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง
- ทำการทดลองในช่วง ฤดูร้อน
- ก่อผนังอิฐขาว 1 ด้านของกล่องทดลอง หันไปทางด้านทิศใต้
- ทำการเก็บข้อมูล ทุกๆ 10นาที

2.3 วิธีการประเมินผล

- ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ
    - อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง
    - อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง
    - อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง
    - อุณหภูมิภายในช่องอากาศของผนังอิฐขาว
- ประเภทของกล่องที่ทำการทดสอบ
    - กล่องผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35
    - กล่องผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55
    - กล่องผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs
- ข้อมูลที่นำมาแสดงผลการทดลอง
    - อุณหภูมิอากาศ
    - อุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องทดลอง
    - อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของกล่องทดลอง
    - อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของกล่องทดลอง

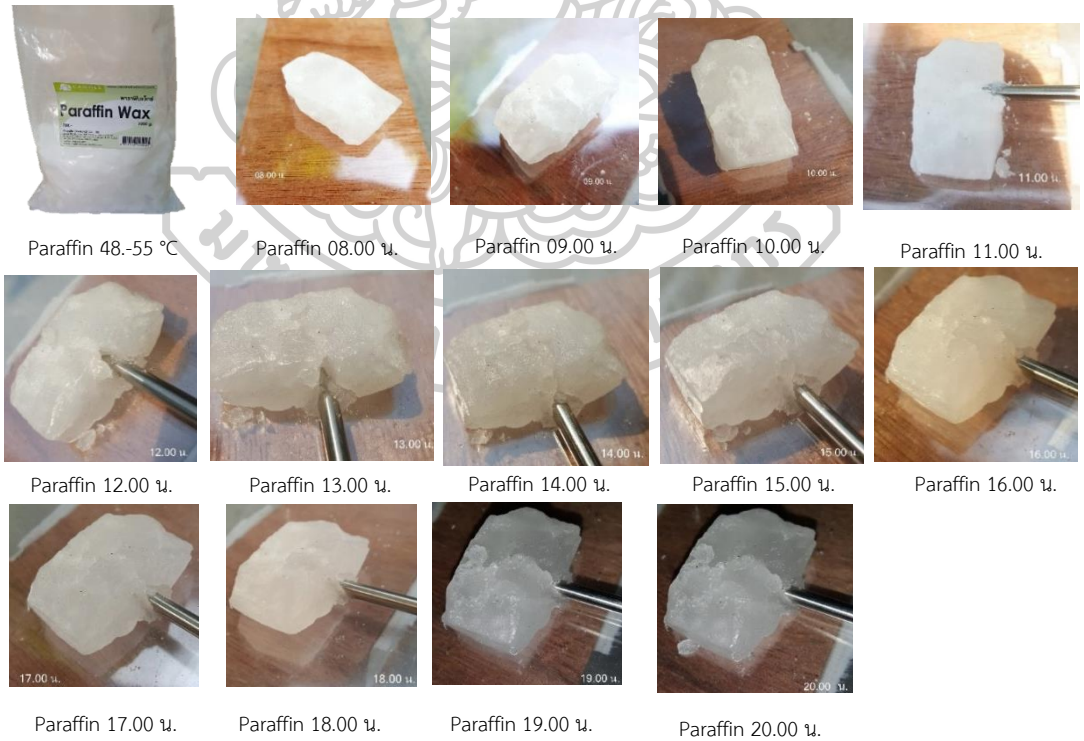



ภาพที่ 4 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการศึกษา

**1.การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ PCMs ร่วมกับอิฐขาว เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของ PCMs เบื้องต้นของการนำ PCMs ร่วมกับอิฐขาว**

**1.1 ศึกษาการนำ PCMs มาใช้ ในการทดลอง**

การดำเนินงานที่ผ่านมาของการวิจัยนี้ได้ลองทำการทดสอบ paraffin wax เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนการทดลองจริง โดยเลือกใช้ paraffin wax ที่มีขายในประเทศไทยในการนำมาทดสอบ พบว่าเป็น paraffin wax มีจุดเปลี่ยนสถานะที่ 48-55 องศาเซลเซียส นำไปวางกลางแสงแดดเป็นเวลา 24 ชม. จากการสังเกตการณ์ พบว่า Paraffin wax มีการเปลี่ยนรูปร่าง มีลักษณะที่นุ่ม มีความยืดหยุ่น และตัว paraffin wax เองมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยรูปร่าง paraffin wax จะหลอมละลายมากที่สุดช่วงเวลา 13.00 น. และจะกลับสภาพสู่ของแข็งขึ้นมาเล็กน้อยอีกครั้งตอน 17.00 น. และกลับสู่สภาพของแข็งอย่างสมบูรณ์ ที่เวลา 20.00 เป็นต้นไป (ภาพที่3) และได้ทำการทดสอบใส่ paraffin wax จุดเปลี่ยนสถานะที่ 48-55 องศาเซลเซียส ลงในอิฐขาวและตั้งสังเกตการณ์เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงว่าจะมีผลกระทบกับอิฐขาวเช่นไร จากการสังเกตการณ์ พบว่า paraffin wax ไม่มีการซึมออกมาจากอิฐขาวแต่อย่างใด โดยตัว paraffin wax มีการขยายตัวเองเล็กน้อย (ภาพที่4)




Paraffin 48.-55 °C | Paraffin 08.00 น. | Paraffin 09.00 น. | Paraffin 10.00 น. | Paraffin 11.00 น.

Paraffin 12.00 น. | Paraffin 13.00 น. | Paraffin 14.00 น. | Paraffin 15.00 น. | Paraffin 16.00 น.

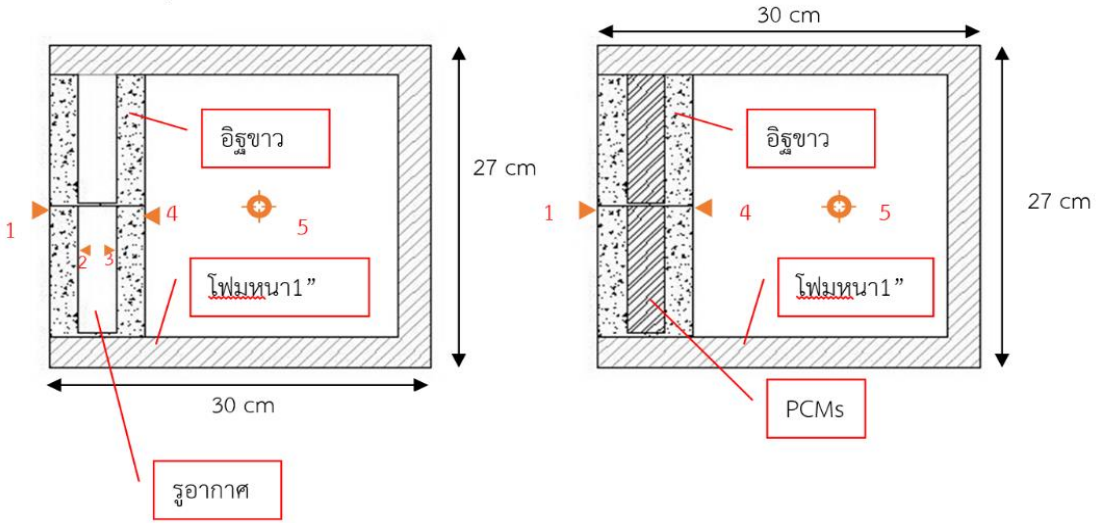
Paraffin 17.00 น. | Paraffin 18.00 น. | Paraffin 19.00 น. | Paraffin 20.00 น.

ภาพที่ 5 ลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงของ PCM ใน 1วัน

ภาพที่ 6 แสดงการบรรจุสาร PCMs ลงในอิฐขาว

**1.2 ศึกษาการใช้สารวัสดุเปลี่ยนสถานะ(PCMs) ร่วมกับอิฐขาว (Calcium silicate brick)**

ทำการทดสอบคุณสมบัติของ paraffin wax ที่จุดเปลี่ยนสถานะอยู่ที่ 48.-55 องศาเซลเซียส ที่หาซื้อในประเทศไทย เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นกับลักษณะของอิฐขาวว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร ด้วยการสร้างกล่องในสภาวะปิด และทำการวัดอุณหภูมิภายในช่องอากาศอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs เพื่อศึกษาหาจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมในการเลือกซื้อ PCMs มาใช้ในการทดลองจริง (ภาพที่ 7และ8) และทำการติดตั้งติดเครื่องวัดอุณหภูมิผิวอิฐภายในช่องอากาศ ช่วงเวลาวัน 3 วัน คือ 25-27 มีนาคม




ภาพที่ 7 รูปตัดทางตั้งกล่องทดลอง แสดงตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ data logger

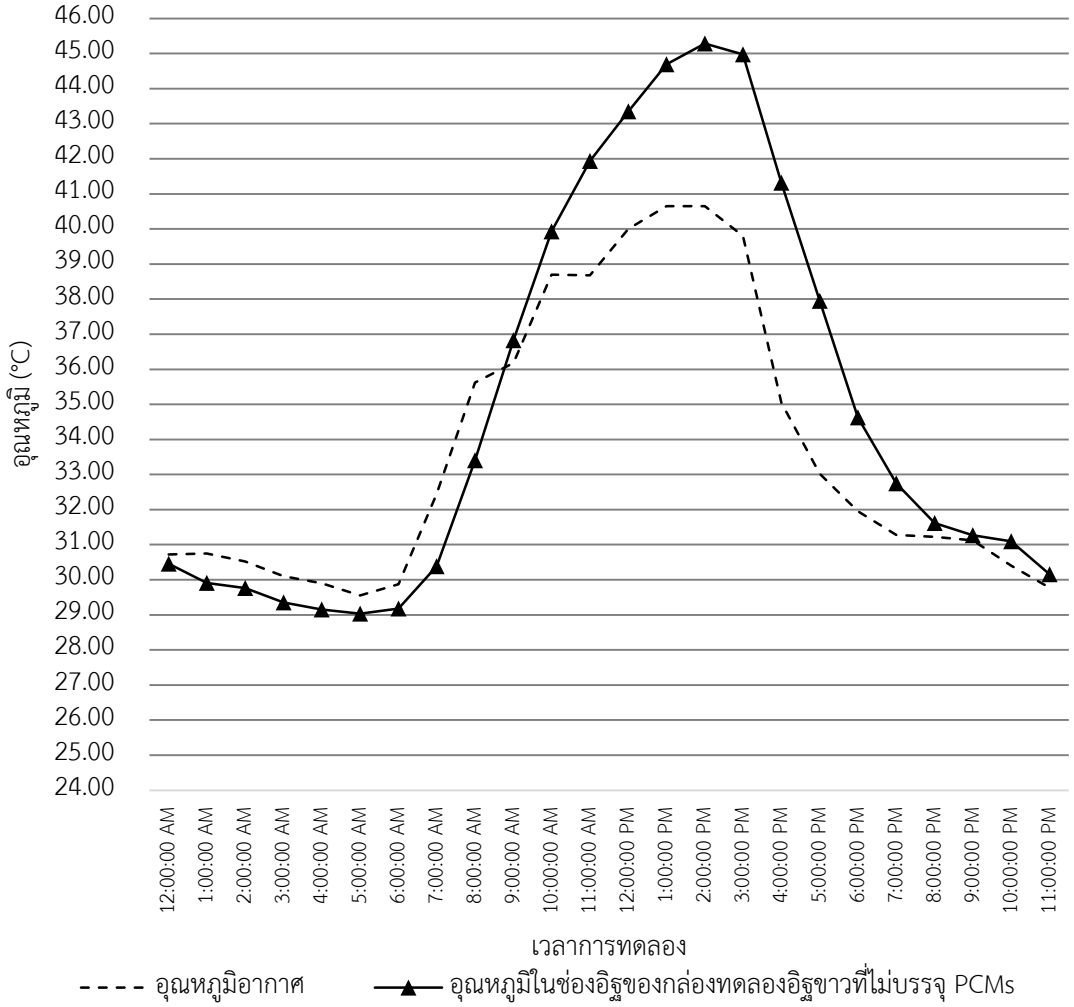
1.พื้นที่ผิวอิฐขาว ภายนอกกล่องทดลอง
2-3.พื้นที่ผิว ในช่องอากาศของอิฐขาว
4 พื้นที่ผิวอิฐขาว ภายในกล่องทดลอง
5. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

ภาพที่ 8 กล่องทดลองในสภาวะแบบปิด

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการนำ PCMs มาใช้พบว่า PCMs ณ จุดเปลี่ยนสถานะ จุดเปลี่ยนสถานะอยู่ที่ 48.-55 องศาเซลเซียส สามารถที่จะนำ PCMs มาใส่ในอิฐขาวก็ไม่เกิดการรั่วซึมของอิฐแต่อย่างใด หากได้ PCMs จุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมจะช่วยให้ PCMs แสดงประสิทธิภาพได้ยิ่งขึ้นและช่วยลดอุณหภูมิในอาคารได้มากขึ้น จากการวิจัยก่อน (Rodriguez-Ubinasและคณะ, 2012), (Zhouและคณะ, 2012), (Madessa, 2014), (Fleischer, 2015), (Akeiberและคณะ, 2016), (ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล, 2549) จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาหาอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมที่จะนำ PCMs มาใช้ร่วมกับอิฐขาว

**1.3 ศึกษาการหาจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)**

การหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ณ ตำแหน่งที่จะใส่ PCMs ในอิฐขาว สามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมของ PCMs ได้ ตำแหน่งการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต้องเป็นตำแหน่งที่ใส่PCMs ลงไปตามดัง ภาพที่ 8 โดยติดตั้งในสองด้านภายในช่องอิฐ คือด้านหมายเลข 2 และ 3 ตามภาพที่ 7 และได้ทำการสร้างแบบกล่องทดลองในสภาวะแบบปิด ป้องกันปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผนังตลอดวัน (ในที่นี้คืออุณหภูมิภายในของช่องอากาศอิฐขาว) พบว่าอยู่ที่ 34 องศาเซลเซียส ซึ่งการได้ค่าเฉลี่ยมานั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการทำการทดลองต่อไป

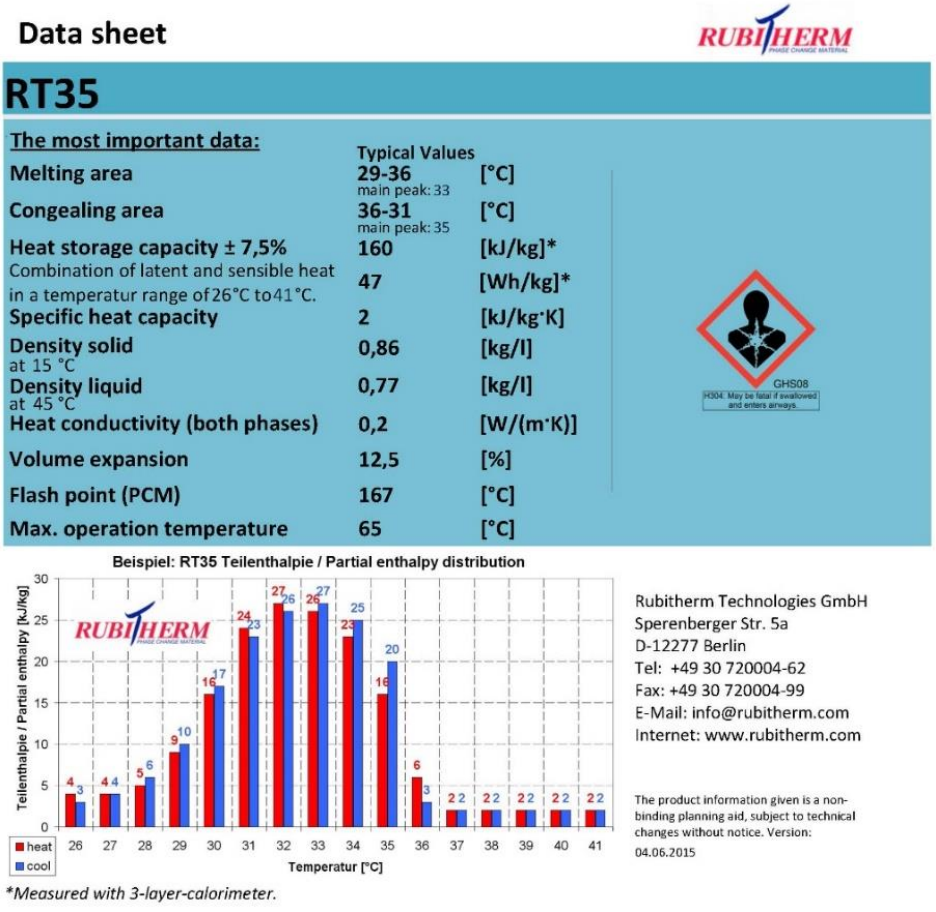



ภาพที่ 9 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันของ ช่องอากาศอิฐขาวไม่บรรจุPCMs

**1.4 การจัดหาวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)**

จากการศึกษาพบว่าการเลือกใช้ PCMs จะต้องให้ PCMs มีจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสม ศักยภาพของ PCMs ก็จะทำงานได้อย่างเต็มที่ และจากที่ได้มีการศึกษาหาจุดเปลี่ยนสถานะที่เหาะสมไปแล้วนั้น พบว่าจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมอยู่ที่ 34 องศาเซลเซียส จึงได้ PCMs ของ RUBITHERM® ชนิดของ PCMs คือ paraffin wax จุดเปลี่ยนสถานะที่มีจำหน่ายอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส

อิฐขาวที่นำมาทำกล่องทดลองเป็นอิฐที่ผ่าน มาตรฐาน มอก. 167-2528 อิฐประดับคัลเซียมซิลิเกตหรืออิฐปูนขาวทราย จากบริษัท K.S. CONTRADE CO.LTD ที่จัดจำหน่ายและผลิต อิฐขาวในประเทศไทย กระบวนการผลิตเกิดจากการนำทรายมาผสมกับปูนขาว และหมักทิ้งไว้ 8 ชม. เพื่อให้ส่วนประกอบทั้งสองเกิดปฏิกิริยาเคมีกัน แล้วจึงนำส่วนผสมที่หมักไว้มาอัดเข้าแม่พิมพ์ ด้วยเครื่องอัดแรงดันสูง ที่ใช้กำลังอัด 500 ตัน จากนั้นทำการอบด้วยเตาอบไอน้ำ (satured Stream) ที่อุณหภูมิ 160 -220 องศาเซลเซียส นาน 10 ชม. โดยอิฐสามารถรับน้ำหนักได้ 180 กก./ตร.ซม.




ภาพที่ 10 data sheet RUBITHERM RT35

ภาพที่ 11 อิฐขาว (calcium silicate brick) จากบริษัท K.S. CONTRADE CO.LTD

ผลิตภัณฑ์ของ K.S. CONTRADE CO.LTD ขนาดของอิฐขาวที่ใช้มีขนาด 0.07 x 0.24 x 0.11 เมตร น้ำหนักต่อก้อนเท่ากับ 2.7 กิโลกรัม โดยเลือกใช้ KSP 7 มาทำการทดลองเนื่องจากเป็นขนาดที่ได้รับการนิยมมากที่สุด

ตารางที่ 6 คุณสมบัติ อิฐขาว calcium silicate brick

| Properties | Values | Unit |
|---|---|---|
| Density | 1600 | Kg/m3 |
| (K-value) | 0.75 | W/(m•K) |
| Specific Heat | 0.84 -1.00 | kJ/kg |
| (R-value) | 0.093 | K-m2/W |
| (C-value) | 10.0 | W/m2K |

**1.5 การผลิตอิฐขาวใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)**

ในการผลิตอิฐขาวใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ ได้เลือกวิธีการผลิตแบบ composite เพราะเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อนมากจนเกินไป อีกทั้งยังทำให้ paraffin wax (PCMs) สัมผัสกับวัสดุก่อได้อย่างเต็มที่ โดยกรรมวิธีในการบรรจุ PCMs ลงในอิฐขาวมีดังต่อไปนี้

**1.5.1) การเตรียม PCMs RUBITHERM® RT35 และ PCM 55 (Candle Thailand)**

PCMs ประเภท Paraffin wax เป็นสารอินทรีย์ (organic PCMs) ลักษณะที่เห็นจากกายภาพถ้ามีจุดเปลี่ยนสถานะที่สูง ลักษณะทางกายภาพก็จะมีความแข็ง แต่หากมีจุดเปลี่ยนสถานะที่ต่ำ ลักษณะทางกายภาพก็จะมีความหลอมเหลว อันเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนแฝงของตัว PCMs เอง จาก PCMsที่เลือกใช้มีจุดเปลี่ยนสถานะที่ 35 องศาเซลเซียส (RUBITHERM®) และ 55 องศาเซลเซียส (candle Thailand) ลักษณะทางกายภาพจะมีทั้งส่วนหลอมเหลวและส่วนที่เป็นก้อนก่อนการใช้งานจึงจำเป็นที่ต้องละลาย PCMs ก่อนแล้วจึงเทบรรจุลงในช่องอิฐขาว

ภาพที่ 12 PCMs ประเภท paraffin wax ของ candle Thailand ขนาด 1 กก.

ภาพที่ 15 ละลาย PCMs candle Thailand ด้วยความร้อน

ภาพที่ 13 PCMs ประเภท paraffin wax ของ RUBITHERM® ขนาด 4 ลิตร

ภาพที่ 14 ละลาย PCMs RUBITHERM® ด้วยความร้อน

**1.5.2) การบรรจุPCMs ลงในอิฐขาว**

หลังจากที่ได้มีการทำให้PCMs มีลักษณะเหลวแล้วจึงเท PCMs ลงในช่องอากาศอิฐขาวให้เหลือพื้นที่ก่อนถึงขอบช่องอิฐประมาณ 0.50 cm เพื่อกันการขยายตัวเมื่อPCMs แข็งตัว เพราะหากเท PCMs จนเต็มช่อง เมื่อมีการแข็งตัวอาจจะทำให้ PCMs ขยายตัวได้ในขณะทำการทดลอง หลังจากเทจนครบแล้วจึงทิ้งไว้รอให้ PCMs แข็งตัวเป็นเวลา 1 วัน

ภาพที่ 19 ละลาย PCMs ด้วยความร้อน

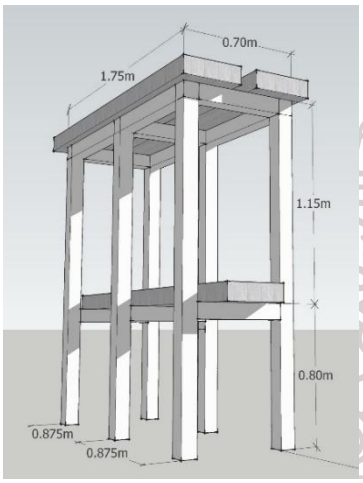
ภาพที่ 18 ใส่ PCMs ลงในช่องแล้วทิ้งไว้รอ PCMs แข็งตัว

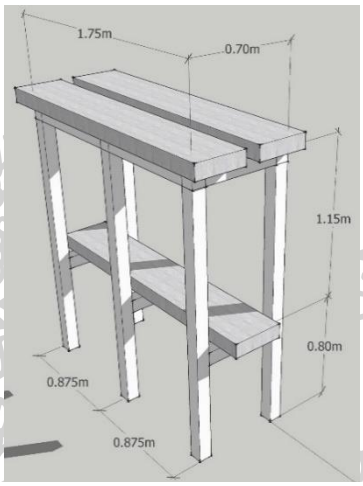
ภาพที่ 17 พัก PCMs รอให้ PCMs แข็งตัว

ภาพที่ 16 ปิดผนึกPCMs ช่วงรอแข็งตัวเพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอม

**1.6 การเตรียมพื้นที่ในการทดลอง**

พื้นที่ที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่กรุงเทพมหานคร ในการเลือกพื้นที่การทดลองจำเป็นต้องให้ความสำคัญต่อกล่องทดลอง เนื่องจากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างมีผลต่อการทดลอง เช่น แสงและเงาที่มากระทบลงกล่องทดลอง จึงจำเป็นที่จะต้องให้กล่องทดลองหลีกเลี่ยงจากเงาของบริบทรอบข้างให้มากที่สุด จึงได้สร้างที่วางกล่องทดลองขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงจากปัจจัยดังกล่าว โดยให้ชั้นวางมีความสูง 2.00 เมตร

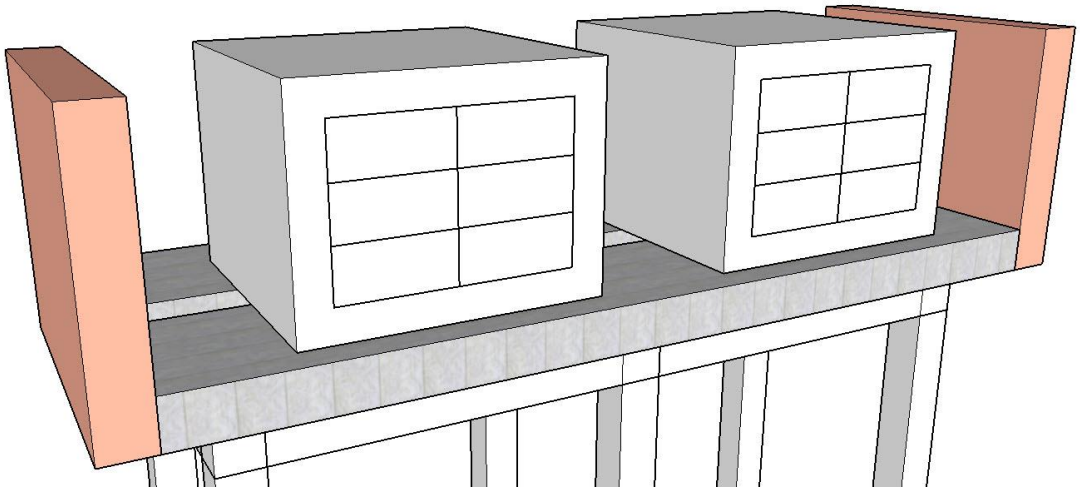



ภาพที่ 21 แบบการสร้างฐานวางกล่องทดลอง

ภาพที่ 20 ฐานวางกล่องทดลอง

เนื่องจากพื้นที่วางบนฐานวางจำกัดของกล่องทดลองทั้งสาม เพื่อให้แต่ละกล่องมีผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่เหมือนกัน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการติดตั้งแผงบังด้านข้างของฐานวางในระยะที่สูงและกว้าง เท่ากับกล่องทดลองทั้งสาม (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 แบบการสร้างแผงบังกล่องทดลอง

**1.7 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา**

งานศึกษานี้เป็นการทำงานในแบบการทดลองที่ต้องใช้วัสดุและเครื่องมือเพื่อศึกษาความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวที่บรรจุ PCMs ในการปฏิบัติงานมี 2 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนการผลิตอิฐขาวบรรจุ PCMs และขั้นตอนการทดสอบความสมารถในการลดการถ่ายเทความร้อน

**1.7.1).วัสดุ-เครื่องมือ ขั้นตอนการผลิตอิฐขาวบรรจุPCMs**

- อิฐขาว KSP 7 ขนาด กว้าง 7 x ยาว 24 x สูง 11 ซม.
- paraffin wax ของ RUBITHERM® RT 35
- paraffin wax ของ candle Thailand
- ภาชนะหลอม PCMs
- เตาหลอม PCMs
- เทปปิดผนึกอาหาร
- ที่ชั่งน้ำหนัก

**1.7.2) วัสดุ-เครื่องมือ ขั้นตอนการทดสอบความสมารถในการลดการถ่ายเทความร้อน**

- โฟมโพลีสไตรีน (polystyrene) ความหนาแน่น ปอนด์/ลบฟุต หนา 10 Cm
- กาวโฟม
- ซิลิโคน
- เทปกาวสีขาว
- เครื่องบันทึกข้อมูล datalogger testo 177
- สายthermocouple type K

**1.8. สถานที่ทำการวิจัย**

**1.8.1) สถานที่ผลิตอิฐขาวบรรจุPCMs**

1. บ้านเลขที่ 15 ซอยเจริญนคร 9 ถ.เจริญนคร แขวงคลองต้นไทร เขตคลองสาน กทม.

**1.8.2). สถานที่ทดสอบความสมารถในการลดการถ่ายเทความร้อน**

1. บ้านเลขที่ 15 ซอยเจริญนคร 9 ถ.เจริญนคร แขวงคลองต้นไทร เขตคลองสาน กทม.

**1.9. ระยะเวลาในการทำการทดลอง**

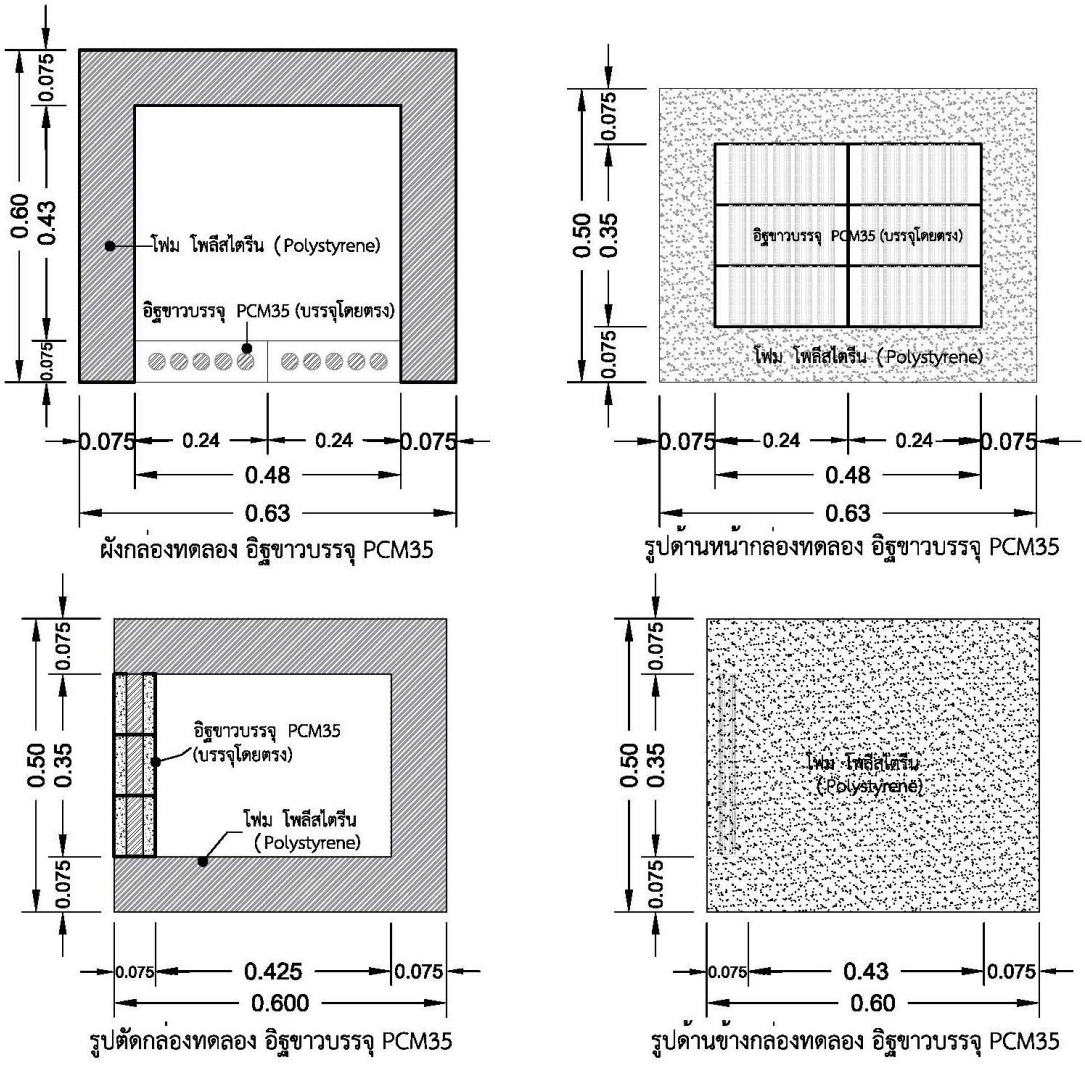
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| เวลาที่ใช้ในการวิจัยประมาณ | 1 | ปี | - | เดือน |
| คิดว่าจะเริ่มงานวิจัย ตั้งแต่เดือน | สิงหาคม | พ.ศ. | | 2560 |
| และเสนอวิทยานิพนธ์ ภายในเดือน | กรกฎาคม | พ.ศ. | | 2561 |

**1.10 การผลิตหุ่นจำลอง**

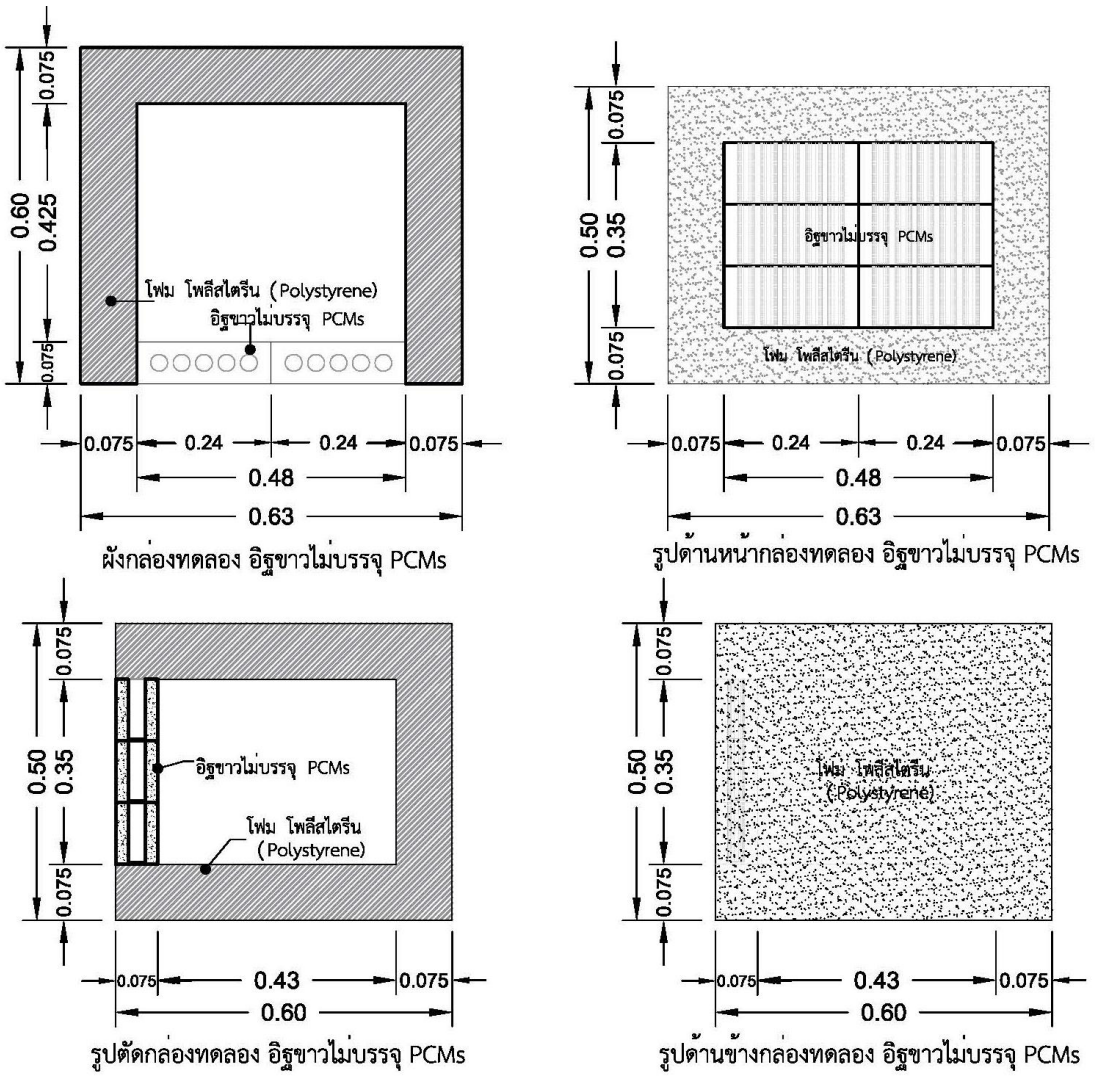
การทดสอบคุณสมบัติในการลดความร้อนของอิฐขาวบรรจุ PCMs เปรียบเทียบกับ อิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และอิฐมวลเบา โดยการทดสอบด้วยหุ่นจำลองที่มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

**1.10.1) การเตรียมหุ่นจำลอง**

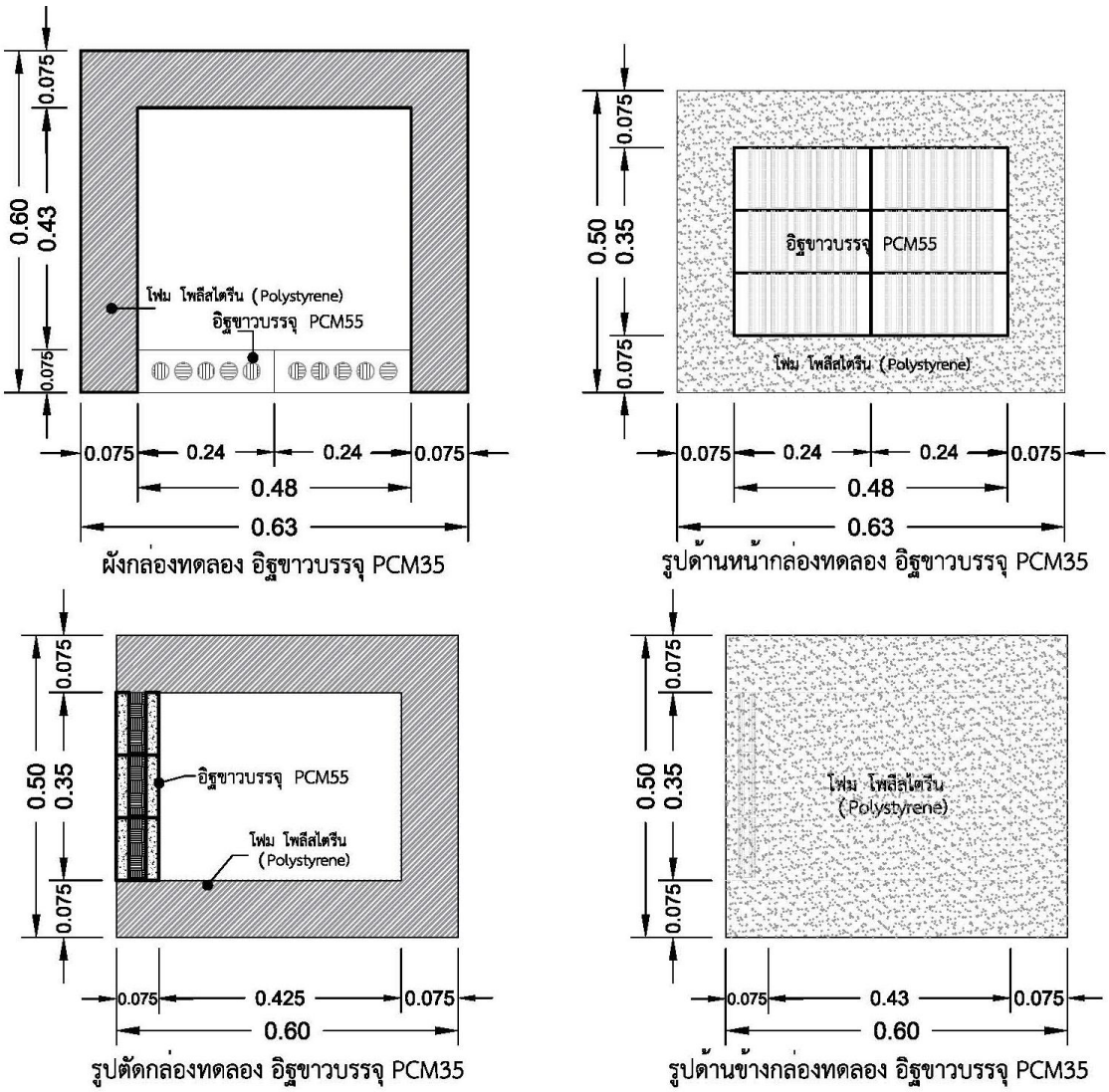
กล่องทดลองที่ผนังทั้ง 5 ด้านทำจากโฟม โพลีสไตรีน (polystyrene) ความหนาแน่น ปอนด์/ลบฟุต หนา 7.5 เซนติเมตร. ยึดติดด้วยกาวโฟม อุดลอยต่อด้วย ซิลิโคนแล้วจึงปิดลอยต่อด้วย เทปกาวสีขาว



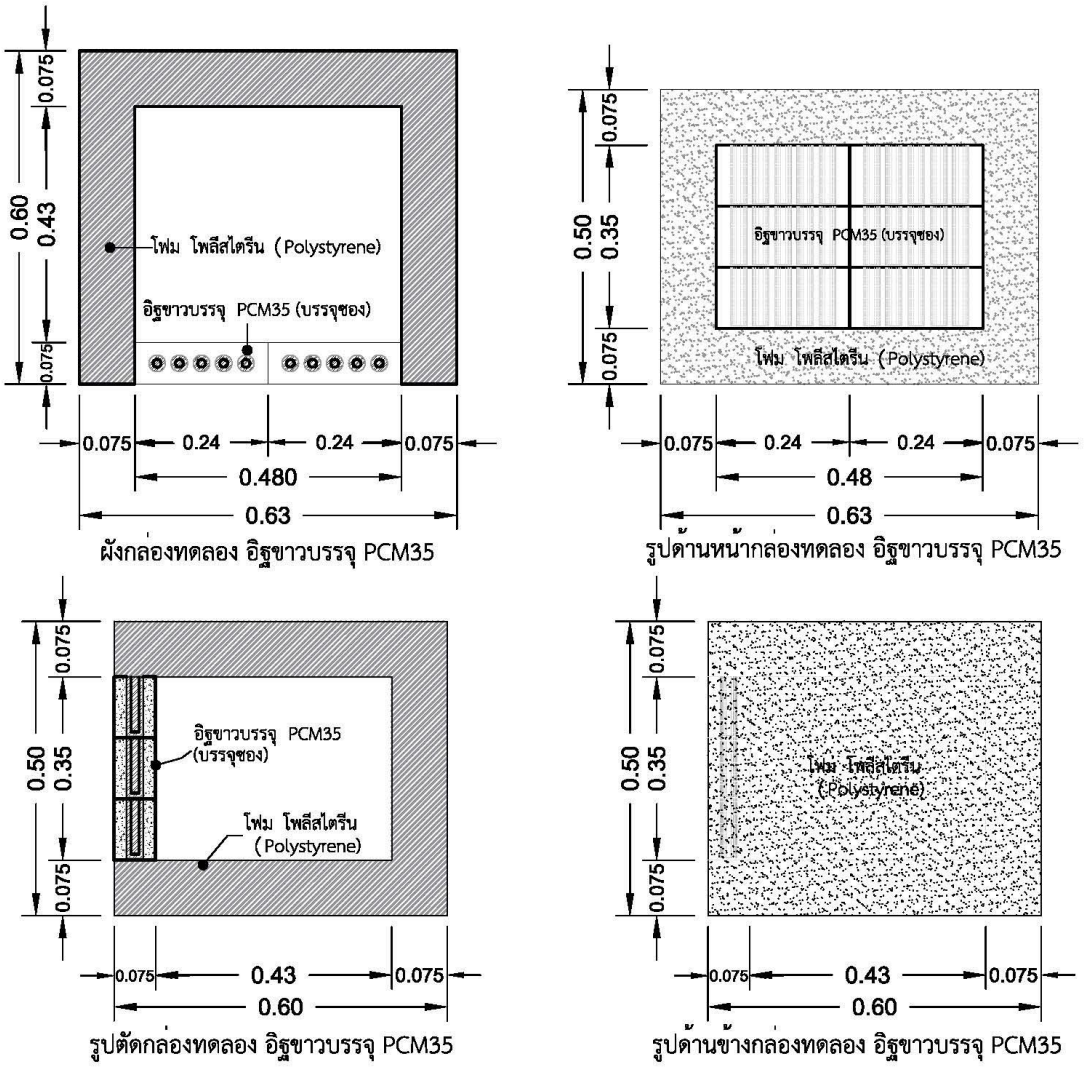

ภาพที่ 23 แสดงลักษณะกล่องและวัสดุของกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM35 (บรรจุโดยตรง)




ภาพที่ 24 แสดงลักษณะกล่องและวัสดุของกล่องทดลองอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs




ภาพที่ 25 แสดงลักษณะกล่องและวัสดุของกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM55




ภาพที่ 26 แสดงลักษณะกล่องและวัสดุของกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM55

**อุปกรณ์การสร้างกล่องทดลอง**

1.โฟมโพลีสไตรีน (polystyrene)หนา 3 นิ้ว

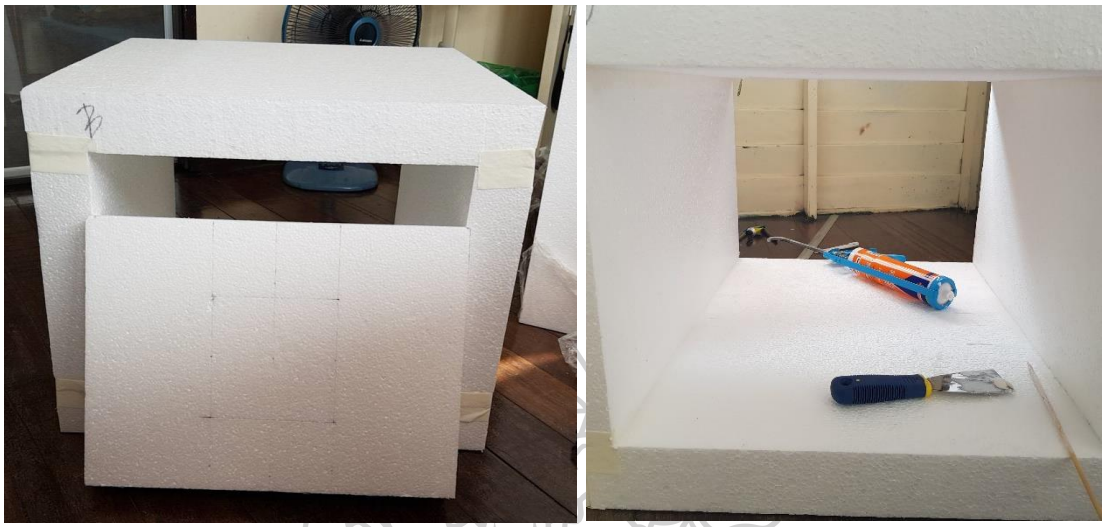
2.กาว

3.ซิลิโคนยาแนวสีขาว

4.เทปกาว

**วิธีการสร้างกล่องทดลอง**

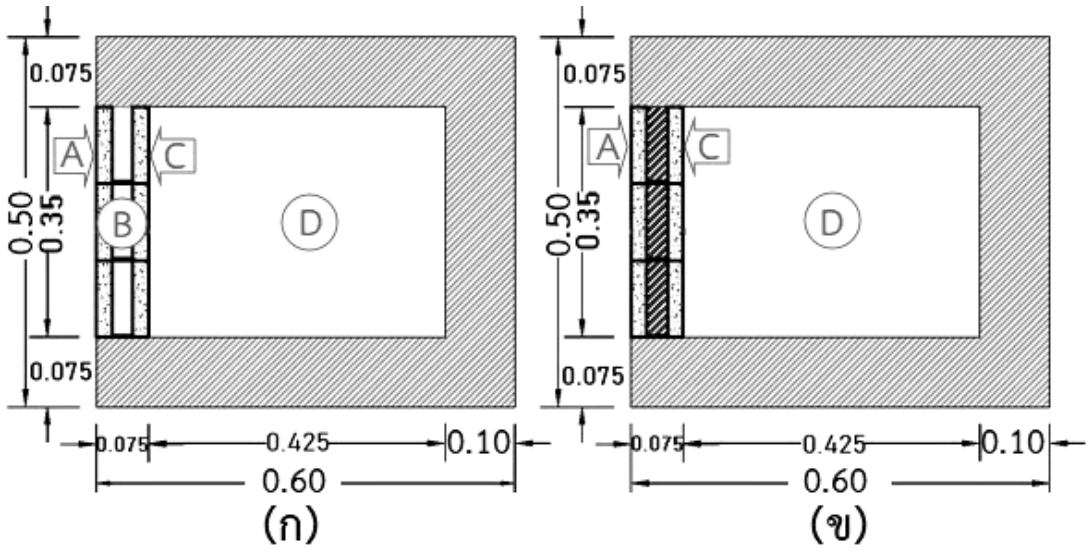
1.ตัดแผ่นโฟม และประกอบเป็นกล่องตามขนาดที่ต้องการ เมื่อประกอบแล้วจึงปิดรอยต่อด้วยซิลิโคนยาแนวสีขาวตลอดแนวรอยต่อ แล้วจึงปิดทับด้วยเทปสีขาว



ภาพที่ 27 การประกอบกล่องทดลอง

2.เจาะด้านหลังกล่องทดลองให้สามารถเปิดปิดได้

ภาพที่ 28 กล่องทดลองเจาะหลังกล่อง




ภาพที่ 29 รูปตัดแสดงขนาดกล่องทดลอง และตำแหน่งการติดตั้งวัดอุณหภูมิ

(ก)รูปตัดกล่องทดลองอิฐขาวไม่บรรจุPCM ; (ข)รูปตัดกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุPCM

**ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ**

ภายในติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ) thermocouple

A = อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง

B = อุณหภูมิภายในช่องอากาศอิฐขาว

C = อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง

D = อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

**1.11 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนในการทดลอง**

มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs)โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดดังนี้

**ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 1** ประกอบด้วย ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs , ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 โดยที่การผสม PCMs ลงในอิฐขาวเป็นแบบผสมตรง คือการเท PCMs ลงในช่องอากาศโดยตรง (ภาพที่ 16 ถึง 18) วัตถุประสงค์ของการจับชุดทดลอง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองว่า อิฐขาวไม่บรรจุPCMs และอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเช่นไร

**ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 2** ประกอบด้วย ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs , ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 โดยที่การผสม PCMs ลงในอิฐขาวเป็นแบบผสมตรง คือการเท PCMs ลงในช่องอากาศโดยตรง (ภาพที่ 16 ถึง 18) วัตถุประสงค์ของการจับชุดทดลอง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองว่า อิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCM กับ อิฐขาวที่บรรจุPCM ที่มีจุดเปลี่ยนสถานะที่ไม่ตรงตามข้อ 1.4 แต่สามารถหาซื้อได้ในประเทศไทยขณะเดียวกันจุดเปลี่ยนสถานะไม่เหมาะสมจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเช่นไร

**1.11.1) ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 1**

ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองชอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 วันที่ทำการทดลอง 30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560

ภาพที่ 30 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุPCM 35 วันที่ทำการทดลอง 30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560

**1.11.2) ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 2**

ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองชอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุPCMs และผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55
วันที่ทำการทดลอง 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560

ภาพที่ 31 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุPCM 55
วันที่ทำการทดลอง 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560

มหาวิทยาลัยศิลปากร

**1.12 การบรรจุPCMsลงในห่อหรือซอง**

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้วยการหาวัสดุที่จะนำมาทำเป็นซองบรรจุ PCMs โดยจะต้องมีความทนทานของสารละลาย ไม่มีปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ทำให้เกิดการรั่วซึมของสารละลาย อีกทั้งยังต้องมีรูปทรงที่ง่ายต่อการบรรจุใส่ลงในช่องอิฐขาว เพื่อลดระยะเวลาในการทำทดลอง ในการทดลองนี้ได้คัดเลือกการบรรจุเป็นพลาสติกใส ที่สามารถหาได้จากร้านขายของทั่วไปและมีลักษณะที่ใสเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตการณ์และเปลี่ยนแปลงของสารละลายภายในห่อที่มีผลต่อการรั่วซึมได้ โดยหีบห่อที่ได้กล่าวมามีดังต่อไปนี้

ภาพที่ 32 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการบรรจุสารPCMs

ก. ถุงร้อน (ถุงใส่แกง)

ข. ถุงซิปล็อคอเนกประสงค์ ยี่ห้อ Daiso

ค. ถุงบีบครีมแต่งหน้าเค้ก ยี่ห้อ Daiso

จ. ผ้าใบพลาสติกใส หนา 0.1 มม.

ง. ถุงซิปล็อคสำหรับทำอาหาร ยี่ห้อ Kitchen Neat รุ่น Sandwich (ซิปล็อค2ชั้น , พลาสติกแข็งแรง , ไม่รั่วซึม (คุณสมบัติผลิตภัณฑ์)

นำวัสดุทั้ง 5 ตัวอย่างมาทดสอบความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของสารละลาย ด้วยการนำ PCMs ใส่ลงในถุงทั้ง 5 แล้วจึงนำกระดาษซับมัน แปะทับตำแหน่งที่ใส่สารละลายแล้วนำไปตากแดด 1-2 วัน แล้วสังเกตการณ์

ภาพที่ 33 การทอสอบความคงทนในการรั่วซึมของถุง

ผลการสังเกตการณ์พบว่าวัสดุ ก,ข,ค,ง ไม่สามารถทนสารละลายได้ วัสดุมีการรั่วซึม ดูได้จากแผ่นซับที่มีสีเข้มเป็นจุดๆ อันเกิดจากความมันของสารที่ซึมออกมาจากถุงพลาสติก ในขณะที่ถุงแบบ จ. ทำการทดสอบแล้วไม่มีการรั่วซึมแต่อย่างใด จึงได้นำวัสดุชิ้น จ. นำไปทำห่อสำหรับบรรจุสาร PCMs ในการทดลองต่อไป

ทำการตัดผ้าใบพลาสติกให้เป็นรูปทรงของช่องอากาศอิฐขาว แล้วทำการปิดผนึกให้เป็นรูปทรงที่ต้องการ โดยจะต้องตรวจสอบความแน่นสนิทของการปิดผนึกเพื่อป้องกันการรั่วซึมออกตามรอยต่อของการปิดผนึก ควรบรรจุให้ไม่เต็มถุงมากจนเกินไป เนื่องจากเวลามีการเปลี่ยนสถานะของสาร PCMs จะมีการขยายตัวอาจจะส่งผลให้ถุงแตกหรือรั่วได้

ภาพที่ 34 ขั้นตอนการทำห่อบรรจุสาร PCM

นำถุงที่ขึ้นรูปและบรรจุ PCMs เสร็จแล้วมาทดสอบการรั่วซึมครั้งที่สอง โดยการนำมาวางบนกระดาษ และตากแดดเพื่อดูผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะหลังจากการบรรจุสารลงในห่อพลาสติกแล้ว หากมีการรั่วซึมเกิดขึ้น ให้ทำห่อบรรจุใหม่ทันทีหากทำการซ่อมแซมอาจจะทำให้ซองบรรจุ PCMs รั่วซึมในภายหลังได้

ภาพที่ 35 บรรจุสารPCMs ลงในห่อพลาสติก

เมื่อได้ห่อบรรจุ PCMs ที่สมบูรณ์ ไม่รั่วซึมแล้วให้นำมาใส่ในช่องอากาศอิฐขาว โดยต้องใส่อย่างระมัดระวังแล้วตั้งทิ้งไว้กลางแดดในระยะหนึ่ง แล้วจึงหยิบห่อ PCMs ออกมาจากช่องอากาศอีกครั้งเพื่อตรวจสอบการรั่วซึมครั้งสุดท้าย หากมีการรั่วซึมให้รีบนำออกแล้วเปลี่ยนถุงใหม่ใส่แทนไปในทันที

ภาพที่ 36 ทดสอบการรั่วซึมอีกครั้ง

ภาพที่ 37 ใส่ห่อบรรจุสารPCMs ลงในช่องอิฐขาว

**2.การศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)**

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถของ PCMs ทั้งทางกายภาพ และความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยทำการวัดอุณหภูมิตลอดระยะเวลา 3 วัน ในทุกๆ 10 นาที ด้วยเครื่องมือ Data Logger ของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs การบรรจุ PCM35 เข้าไปในช่องว่างอากาศของผนังอิฐขาว ทำโดยการบรรจุ PCM35 ลงในซองพลาสติกใสที่มีความหนา 0.1 มิลลิเมตร และมีรูปทรงใกล้เคียงกับช่องว่างอากาศของอิฐขาว ก่อนที่จะบรรจุ PCM35 ลงในซองพลาสติกจะต้องตรวจสอบซองเพื่อป้องกันการรั่วซึมก่อน ตามข้อ 1.12 ทำการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมของสภาพอากาศกรุงเทพมหานคร ช่วงวันที่ 14-16 มีนาคม 2561

การแสดงผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 4 ส่วนดังนี้

1) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง

2) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง

3) อุณหภูมิภายในกล่อง

4) เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในช่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs กับอุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs

ในการแสดงข้อมูลส่วนที่ 1 ถึง 4 เป็นการแสดงผลของอุณหภูมิเฉลี่ยและผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ของ 3 วันที่ทำการทดลอง โดยถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือ

- เวลากลางวัน ตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.50 น.
- เวลากลางคืน ตั้งแต่ 24.00 น. ถึง 06.50 น.และ 18.00 น. ถึง 23.50 น.

**2.1 ชุดทดลองศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)**

การแสดงผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ช่วงวันที่ 14-16 มีนาคม 2561

ภาพที่ 38 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs
วันที่ทำการทดลอง 14-16 มีนาคม 2561

**3. ราคาต้นทุนของการนำอิฐขาวมาใช้กับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)**

การคำนวณหาราคาต้นทุนของการนำอิฐขาวมาใช้กับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) มีส่วนผสม คือ PCMs ประเภท paraffin wax ของ RUBITHERM® RT 35 โดยคิดราคาต้นทุนจากการใช้ Paraffin wax ที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร โดยราคาจะคิดจากน้ำหนักของ PCMs ที่ใส่ลงไปในช่องอิฐขาว ต่อ 1 ก้อน

อิฐขาว 1 ก้อน มีรูอากาศ 5 รู โดยใน 1 รูอากาศ จะสามารถบรรจุห่อ PCMs น้ำหนัก 32 กรัม รายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7 คำนวณราคาต้นทุนในการผลิตผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs

| ลำดับ | วัสดุ | ราคา | หน่วย |
|---|---|---|---|
| <u>ราคาอิฐขาว</u> | | | |
| A | อิฐขาว CALCIUM SILICATE BRICKบริษัท K.S. Contrade Co.,Ltd. | 5.50 | บาท/ ก้อน |
| | | 165 | บาท / ตร.ม. |
| <u>ราคาPCMsRT35</u> | | | |
| B | PCMs จากบริษัท RUBITHERM โดยมีชื่อผลิตภัณฑ์ว่า RT35 | 2,730 | บาท / กก. |
| C | ใช้ PCMs 1 ห่อบรรจุ เท่ากับ 32 กรัม ต่อ 1 ช่องอากาศของอิฐขาว ( 32 x 2.73 ) | 87.38 | บาท / ช่องอากาศ |

ตารางที่ 8 คำนวณราคาต้นทุนในการผลิตผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs (ต่อ)

| ลำดับ | วัสดุ | ราคา | หน่วย |
|---|---|---|---|
| D | ใช้ PCMs 5 ห่อบรรจุ ต่อ อิฐขาว 1 ก้อน (87.38 x 5 ) | 436.90 | บาท / ก้อน |
| E | ใช้ PCMs 150 ห่อบรรจุ ต่อ อิฐขาว 1 ตร.ม. (87.38 x 150 ) | 13,107 | บาท / ตร.ม. |
| ราคาPCM55 | | | |
| F | PCMs จากบริษัท Candle Thailand | 100 | บาท / กก. |
| G | ใช้ PCMs 1 ห่อบรรจุ เท่ากับ 32 กรัม ต่อ 1 ช่องอากาศของอิฐขาว ( 32 x 0.1 ) | 3.2 | บาท / ช่องอากาศ |
| H | ใช้ PCMs 5 ห่อบรรจุ ต่อ อิฐขาว 1 ก้อน (3.2 x 5 ) | 16 | บาท / ก้อน |
| I | ใช้ PCMs 150 ห่อบรรจุ ต่อ อิฐขาว 1 ตร.ม. (3.2x 150 ) | 480 | บาท / ตร.ม. |
| **รวม ราคาอิฐขาว บรรจุPCMs RT35** | | | |
| J | อิฐขาว + PCMs 1 ก้อน (5.50 + 436.9) | 442.4 | บาท /ก้อน |
| K | อิฐขาว + PCMs 1 ตร.ม. (165 + 13,107) | 13,272 | บาท / ตร.ม. |
| รวม ราคาอิฐขาว บรรจุPCM55 | | | |
| L | อิฐขาว + PCMs 1 ก้อน (5.50 + 16) | 21.50 | บาท / ก้อน |
| M | อิฐขาว + PCMs 1 ตร.ม. (165 + 480) | 645 | บาท / ตร.ม. |

# บทที่ 4

## ผลการดำเนินงาน

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ PCMs ร่วมกับอิฐขาว และศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวที่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMsเพื่อศึกษาความสามารถของ PCMs ทั้งทางกายภาพ และความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยจะทำการแสดงผลดังนี้

1 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อน

2 ผลการศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)

จากการใช้กล่องทดลองเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิกับกล่องทดลองที่ไม่บรรจุ PCMs โดยทำการวัดอุณหภูมิตลอดระยะเวลา 3วัน ในทุกๆ 10 นาที ด้วยเครื่องมือ data logger ของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ภายใต้สภาพแวดล้อมของสภาพอากาศกรุงเทพมหานคร ช่วงวันที่ 14-16 มีนาคม 2561

การแสดงผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 4 ส่วนดังนี้

1) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง

2) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง

3) อุณหภูมิภายในกล่อง

4) เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs กับอุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs

ในการแสดงข้อมูลส่วนที่ 1 ถึง 4 เป็นการแสดงผลของอุณหภูมิเฉลี่ยและผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ของ 3 วันที่ทำการทดลอง โดยถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือ

- เวลากลางวัน ตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.50 น.
- เวลากลางคืน ตั้งแต่ 24.00 น. ถึง 06.50 น.และ 18.00 น. ถึง 23.50 น.

ผลการทดลองเป็นดังนี้

**1. ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนในการทดลอง**

มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs)โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดดังนี้

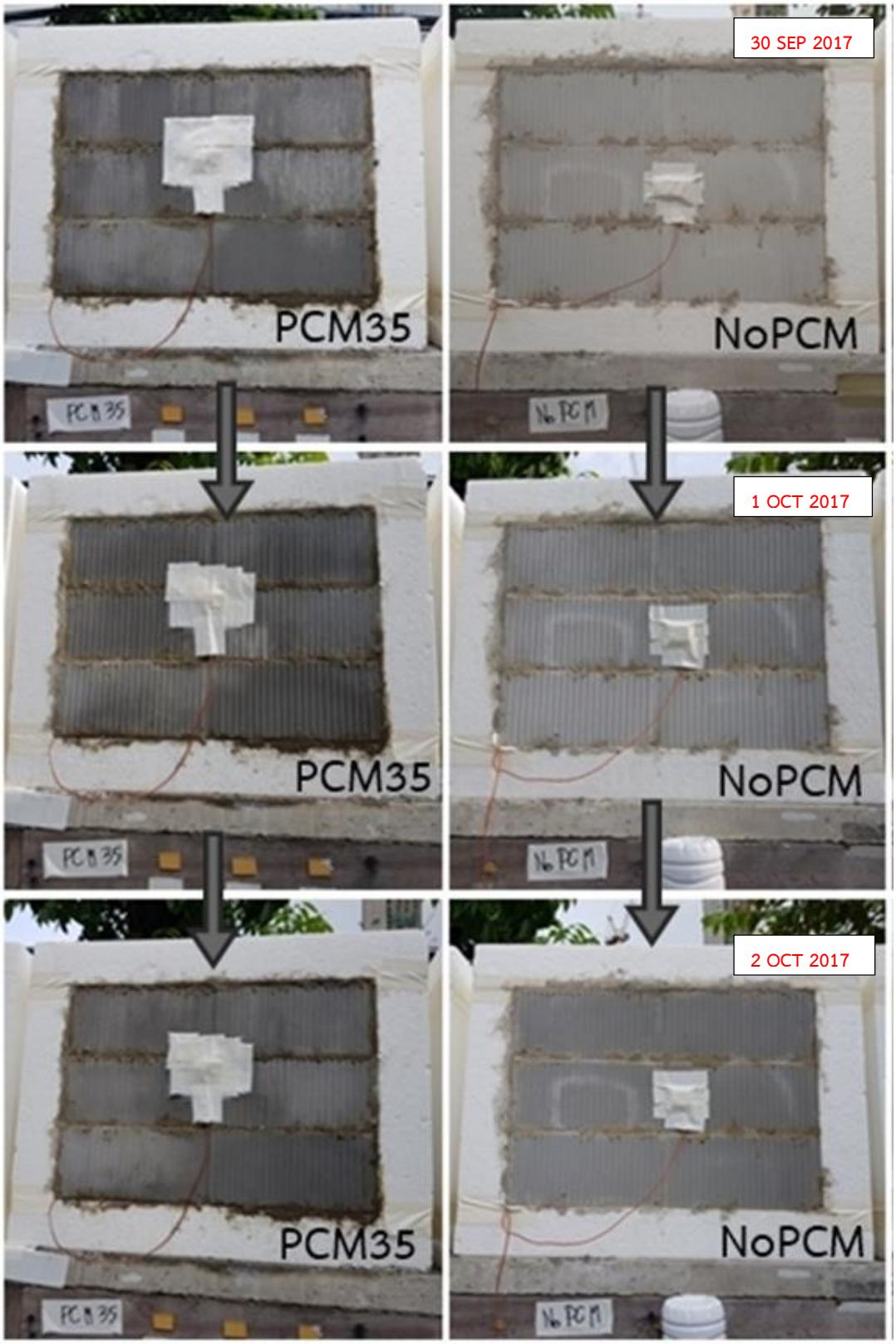
**ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 1** ประกอบด้วย ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs , ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 โดยที่การผสม PCMs ลงในอิฐขาวเป็นแบบผสมตรง คือการเท PCMs ลงในช่องอากาศโดยตรง วัตถุประสงค์ของการจับชุดทดลอง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองว่า อิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเช่นไร

**ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 2** ประกอบด้วย ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs , ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 โดยที่การผสม PCMs ลงในอิฐขาวเป็นแบบผสมตรง คือการเท PCMs ลงในช่องอากาศโดยตรง วัตถุประสงค์ของการจับชุดทดลอง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองว่า อิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCM กับ อิฐขาวที่บรรจุ PCM ที่มีจุดเปลี่ยนสถานะที่ไม่ตรงตามข้อ 1.12 แต่สามารถหาซื้อได้ในประเทศไทยขณะเดียวกันจุดเปลี่ยนสถานะไม่เหมาะสม จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเช่นไร

**1.1) ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 1**

ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองชอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35
วันที่ทำการทดลอง 30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560

ภาพที่ 39 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุPCM 35
วันที่ทำการทดลอง 30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560




ภาพที่ 40 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุPCM 35 วันที่ทำการทดลอง 30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

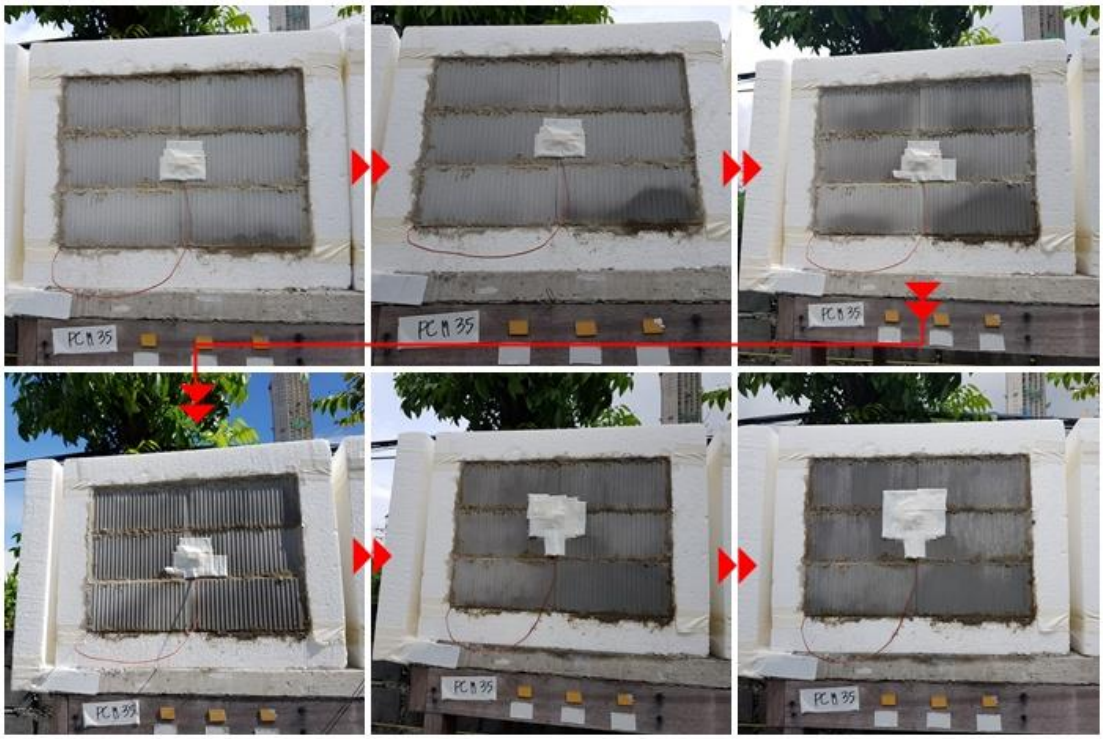
**1.1.1) ลักษณะทางกายภาพ**

**กล่องทดลองผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs**

ลักษณะของผนังอิฐขาว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมเมื่อทำการทดลองผ่านไปตลอดระยะเวลา 3 วัน ผนังอิฐขาวมีร่องลอยจากคราบฝนตกเพียงเล็กน้อย

**กล่องทดลองผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35**

ลักษณะของผนังอิฐขาวมีการเปลี่ยนแปลงอยากเห็นได้ชัด คือมีสีที่เปลี่ยนไปเป็นลักษณะคล้ายผนังอิฐขาวชุ่มน้ำ โดยเริ่มจากจุดเล็กๆก่อน แล้วจึงแพร่กระจายออกจนเต็มพื้นที่ของผนังอิฐ และเมื่อใช้นิ้วสัมผัสพบว่า ผิวผนังอิฐขาวเหมือนคราบมัน ภาพที่19 แต่เมื่อผ่านไปในระยะเวลาหนึ่ง พบว่า อิฐมีรอยร้าว มีรอยแตกแยก มีร่องรอยความเสียหาย



ภาพที่ 41 แสดงลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนไปของอิฐ PCMs 35

เมื่อนำกล่อง ผนังอิฐขาวบรรจุ PCMs 35 ลงมาเพื่อดูผลกระทบของอิฐที่แตกพบว่าในช่องอากาศของอิฐขาวไม่มีสาร PCMs เหลืออยู่ และในพื้นที่รอบๆของกล่องทดลองไม่มีสารตกหล่นหรือไหลออกนอกพื้นที่ทดลอง นั่นแสดงว่าตัวอิฐขาวได้ซึมซับสาร PCMs เข้าสู่ตัวอิฐจนสารไม่เหลือในช่องอากาศของอิฐขาว (ภาพที่ 20 และ 21)

ภาพที่ 44 แสดงลักษณะการแตกของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 หลังทำการแกะกล่องทดลอง

ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35

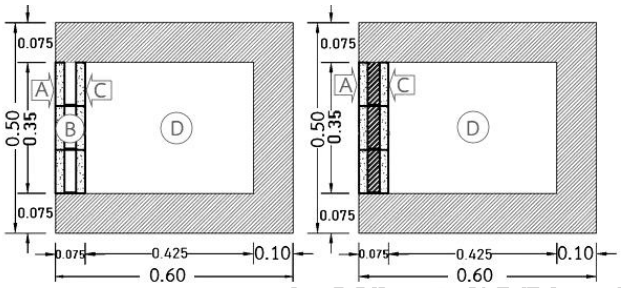
ภาพที่ 43 แสดงลักษณะรอยแตกของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35

ภาพที่ 42 ภาพขยายแสดงตำแหน่งลักษณะทางกายภาพของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 ที่เปลี่ยนไป

**1.1.2) ลักษณะการถ่ายเทความร้อน**

เป็นข้อมูลจากการทดลองในช่วงวันที่ 30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 โดยทำการเฉลี่ยให้เป็นชุดข้อมูลระยะเวลา 1 วัน แสดงผลเป็นรายชั่วโมง และในการแสดงผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของ ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs 3 ส่วนดังนี้

- อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง
- อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง
- อุณหภูมิภายในกล่อง




A= อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องจำลอง

B = อุณหภูมิภายในช่องอากาศอิฐขาว

C = อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องจำลอง

D = อุณหภูมิภายในกล่องจำลอง

ภาพที่ 45 รูปตัดแสดงขนาดกล่องทดลอง และตำแหน่งการติดตั้งวัดอุณหภูมิ data logger

**ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง**

ผลการเก็บข้อมูลผิวผนังภายนอกอิฐขาวบรรจุ PCM35 และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs ดังนี้

ตารางที่ 9 ผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกของกล่องทดลอง

| **อุณหภูมิ(°C)** | **อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง (°C)** | | |
|---|---|---|---|
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 |
| **$T^{MAX}$ (°C)** | 36.40 | 34.00 | 36.80 |
| **$T^{AVG}$. (°C)** | 32.27 | 31.42 | 33.28 |
| **$T^{MIN}$. (°C)** | 27.00 | 26.00 | 26.90 |

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

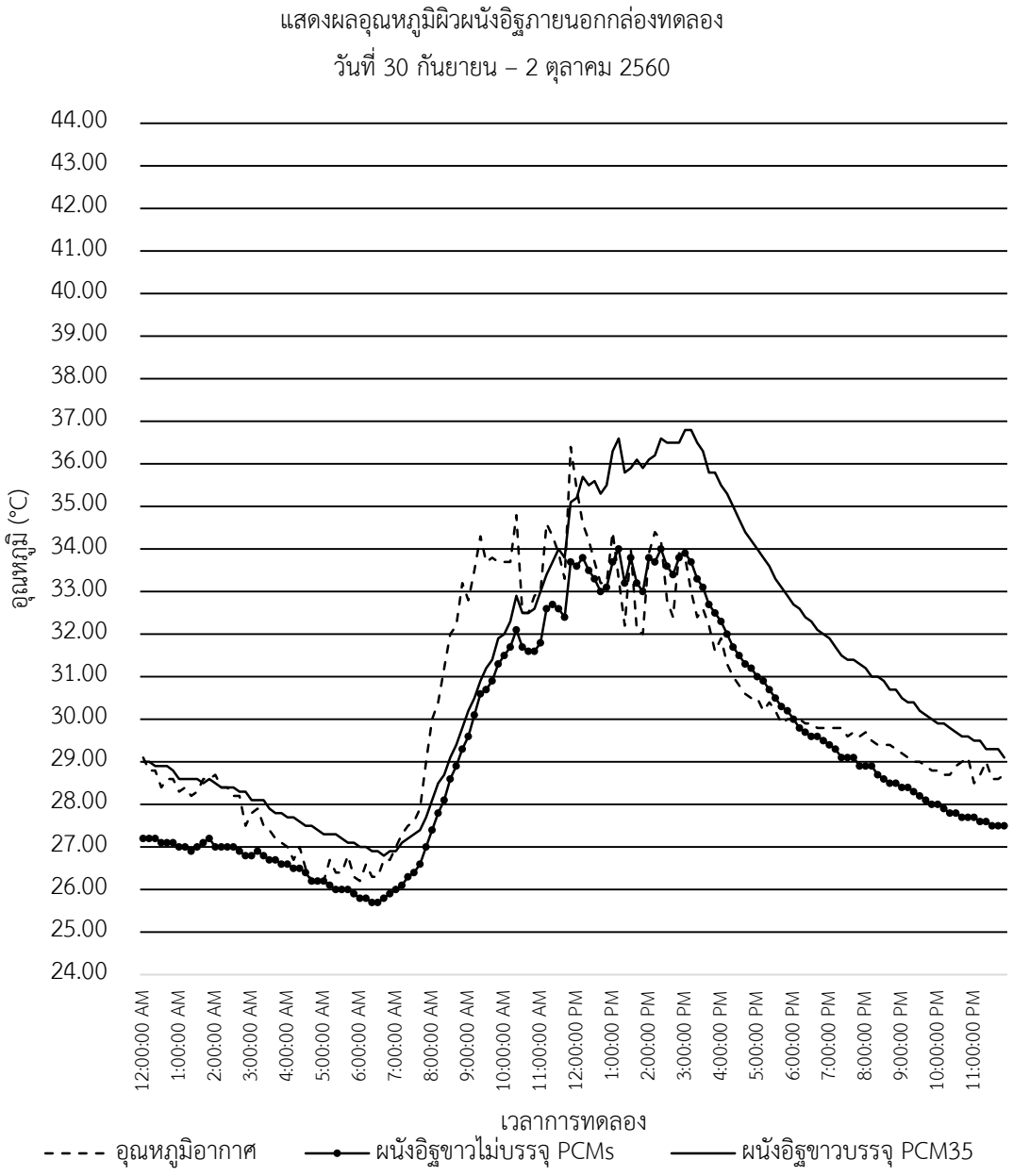
ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 31.42 องศาเซลเซียส

ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 33.28 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 34.00 องศาเซลเซียส

ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 36.80 องศาเซลเซียส




ภาพที่ 46 แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง

**ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลอง**

ผลการเก็บข้อมูลผิวผนังภายในอิฐขาวบรรจุ PCM35 และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs ดังนี้

ตารางที่ 10 ผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในของกล่องทดลอง

| **อุณหภูมิ(°C)** | **อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง (°C)** | | |
|---|---|---|---|
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 |
| **$T^{MAX}$ (°C)** | 36.40 | 33.30 | 37.30 |
| **$T^{AVG}$. (°C)** | 30.12 | 29.00 | 31.20 |
| **$T^{MIN}$. (°C)** | 26.10 | 25.70 | 26.90 |

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.00 องศาเซลเซียส

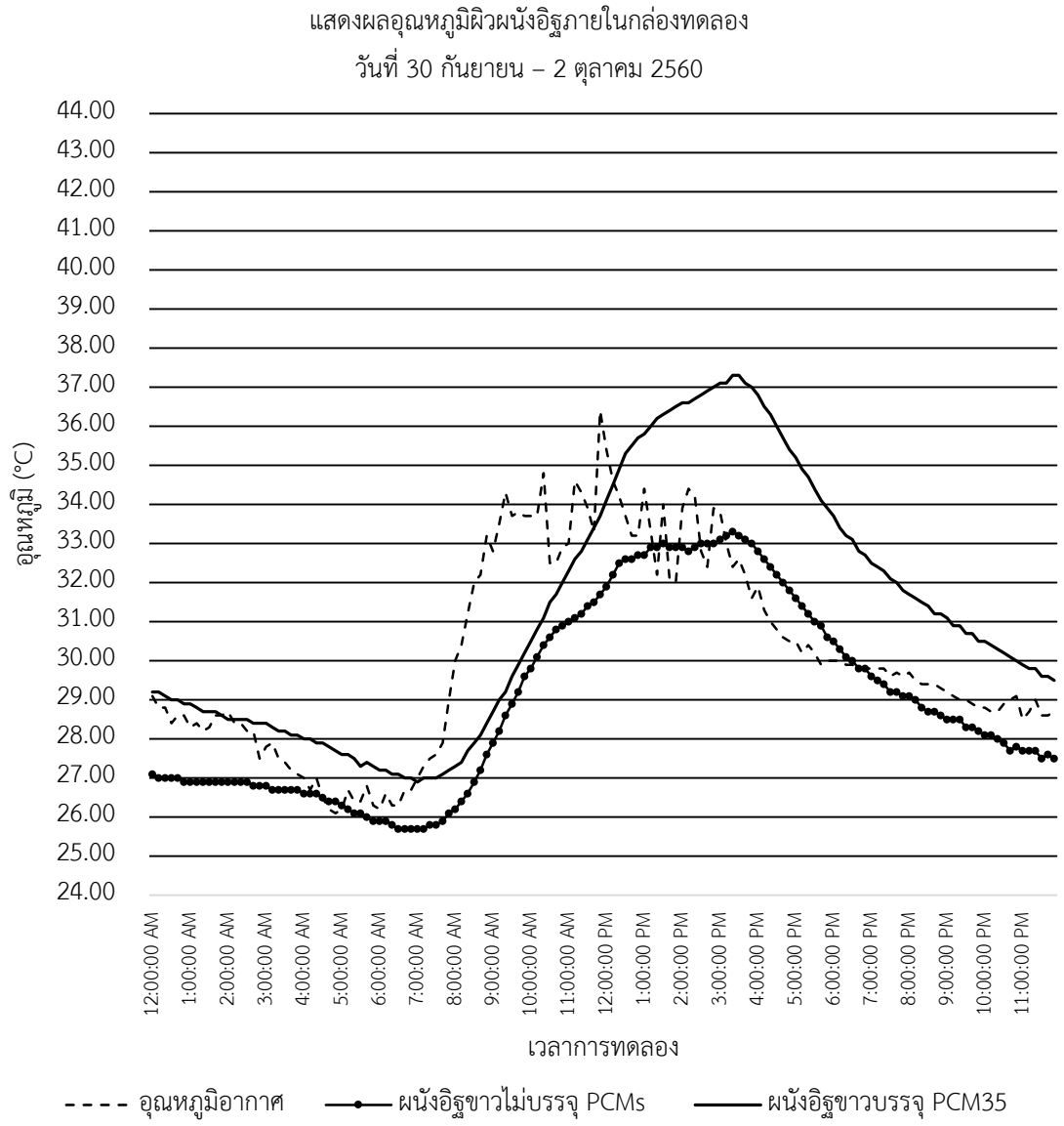
ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 31.20 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 33.30 องศาเซลเซียส

ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 37.30 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยศิลปากร




ภาพที่ 47แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง

**ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง**

ผลการเก็บข้อมูลภายในกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM35 และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs ดังนี้

ตารางที่ 11 ผลอุณหภูมิภายในของกล่องทดลอง

| อุณหภูมิ(°C) | อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง (°C) | | |
|---|---|---|---|
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 |
| $T^{MAX}$ (°C) | 36.40 | 33.90 | 36.40 |
| $T^{AVG}$. (°C) | 30.12 | 29.27 | 30.73 |
| $T^{MIN}$. (°C) | 26.10 | 25.70 | 26.50 |

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.27 องศาเซลเซียส

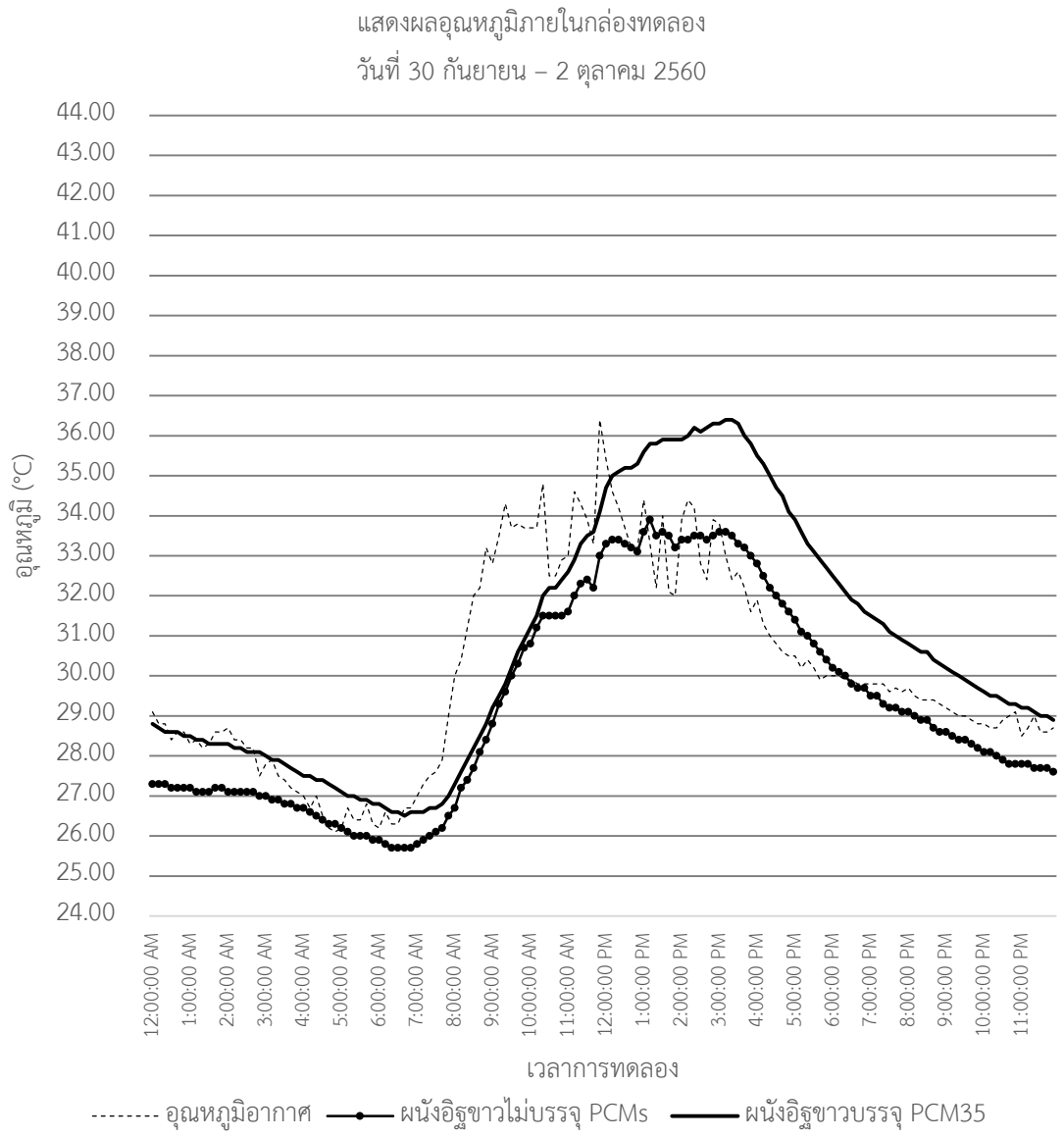
ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30.73 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 33.90 องศาเซลเซียส

ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 36.40 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยศิลปากร




ภาพที่ 48แสดงผลอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

**1.2) ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 2**

ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองชอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55

วันที่ทำการทดลอง 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560

ภาพที่ 49 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM 55 วันที่ทำการทดลอง 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560

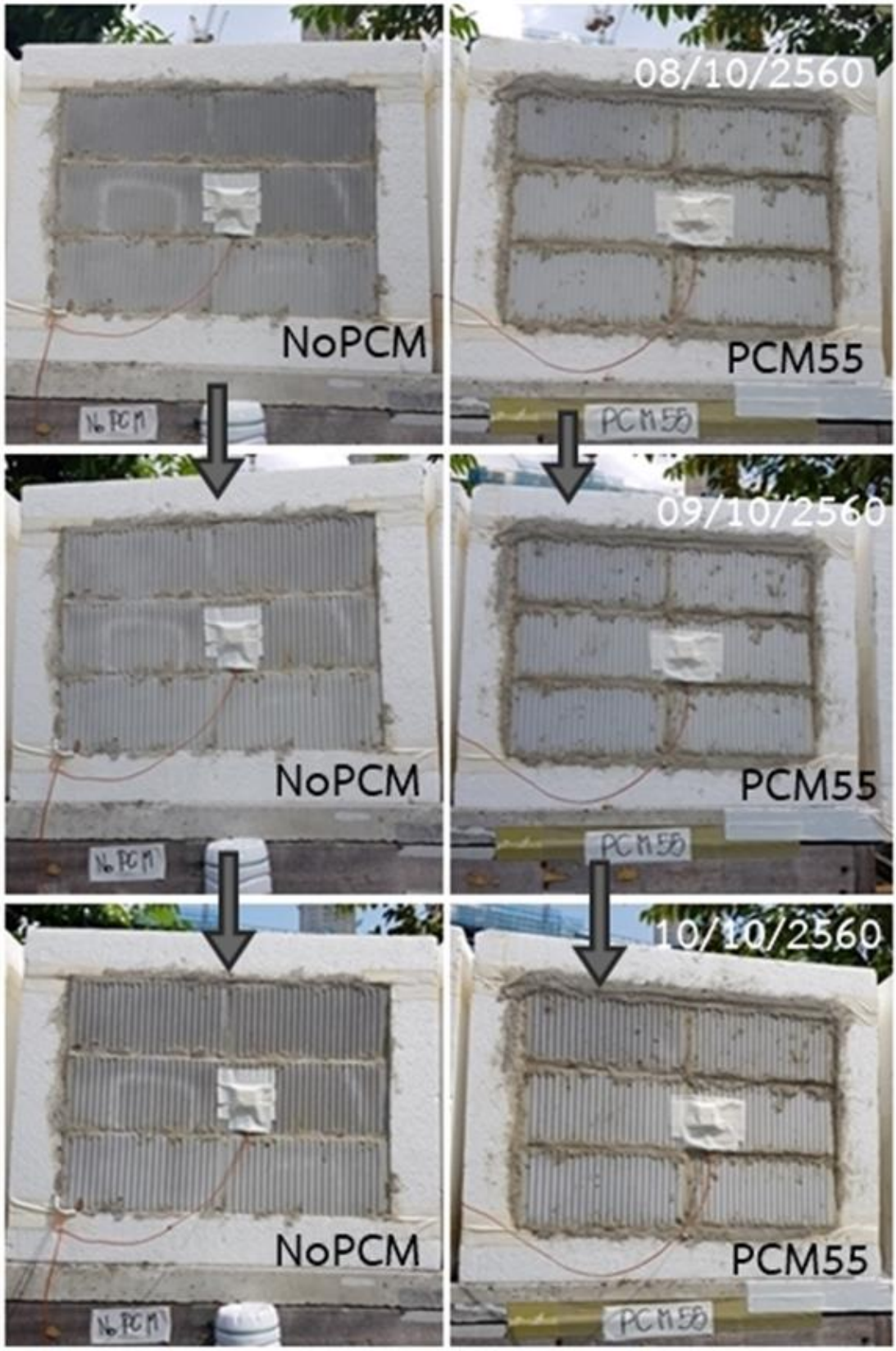
**1.2.1) ลักษณะทางกายภาพ**

**กล่องทดลองผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs**

ลักษณะของผนังอิฐขาว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมเมื่อทำการทดลองผ่านไปตลอดระยะเวลาวัน 3 ผนังอิฐขาวมีร่องลอยจากคราบฝนตกเพียงเล็กน้อย

**กล่องทดลองผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35**

ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ มีร่องลอยจากคราบฝนตกเพียงเล็กน้อย และเมื่อทำการแกะกล่องทดลองเพื่อดูลักษณะอิฐขาวหลังการทดลองพบว่า สาร PCM55 มีการขยายตัวแต่ไม่ส่งความเสียหายกับอิฐขาวแต่อย่างใด




ภาพที่ 50 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM 55
วันที่ทำการทดลอง 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

ภาพที่ 51แสดงลักษณะของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 หลังทำการแกะกล่องทดลอง

**1.2.2) ลักษณะการถ่ายเทความร้อน**

เป็นข้อมูลจากการทดลองในช่วง วันที่8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 โดยทำการเฉลี่ยให้เป็นชุดข้อมูลระยะเวลา 1 วัน และในการแสดงผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของ ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs 3 ส่วนดังนี้

- อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง
- อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง
- อุณหภูมิภายในกล่อง

**ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง**

ผลการเก็บข้อมูลผิวผนังภายนอกอิฐขาวบรรจุ PCM55 และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs ดังนี้

ตารางที่ 12 ผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกของกล่องทดลอง

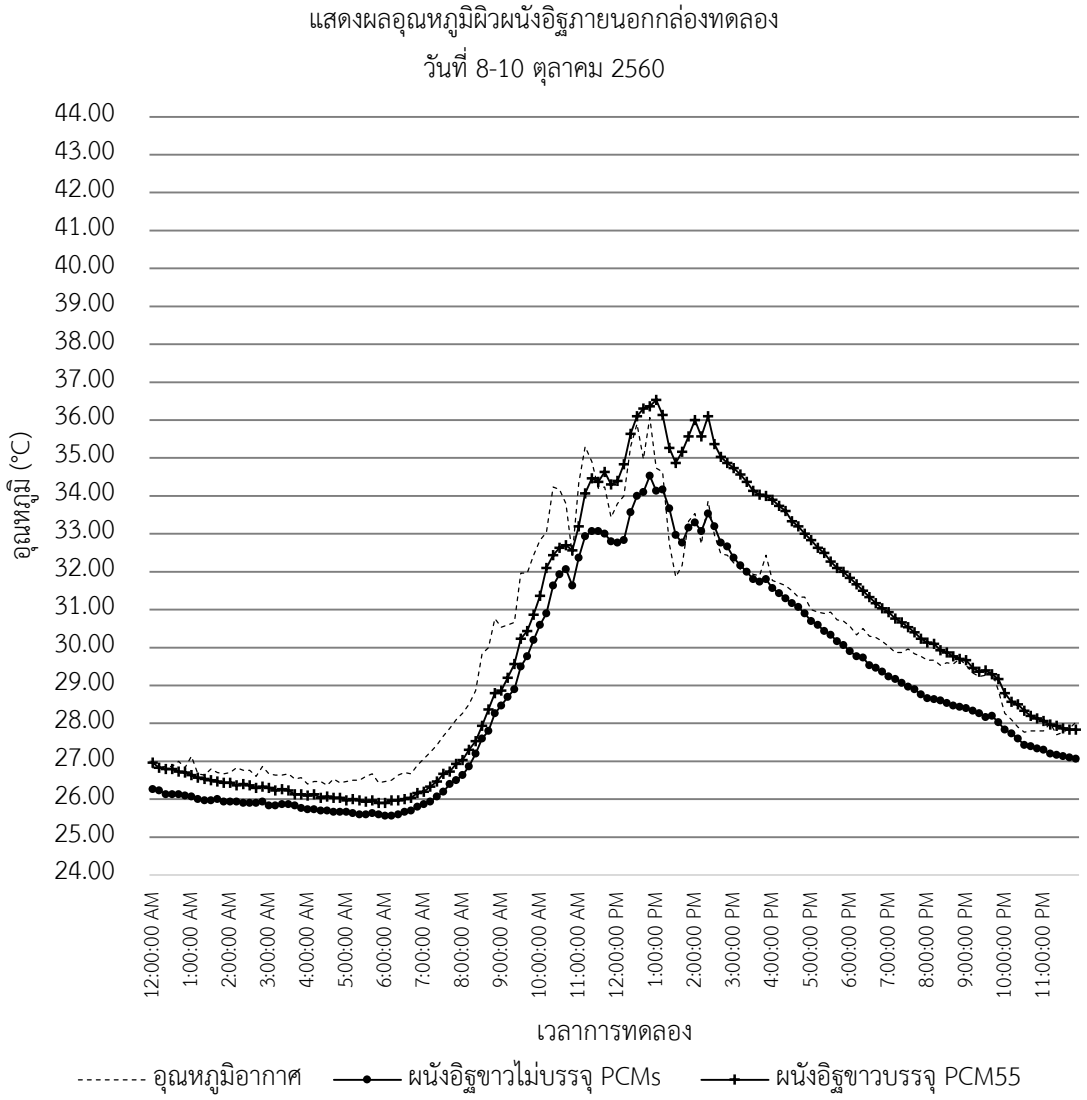
| **อุณหภูมิ(°C)** | **อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง (°C)** | | |
|---|---|---|---|
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 |
| **$T^{MAX}$ (°C)** | 36.07 | 34.53 | 36.53 |
| **$T^{AVG}$. (°C)** | 29.73 | 28.83 | 29.96 |
| **$T^{MIN}$. (°C)** | 26.37 | 25.57 | 25.90 |

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 28.83 | องศาเซลเซียส |
| ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 29.96 | องศาเซลเซียส |

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 34.53 | องศาเซลเซียส |
| ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 36.53 | องศาเซลเซียส |




ภาพที่ 52แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง

**ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลอง**

ผลการเก็บข้อมูลผิวผนังภายในอิฐขาวบรรจุ PCM55 และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs ดังนี้

ตารางที่ 13 ผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในของกล่องทดลอง

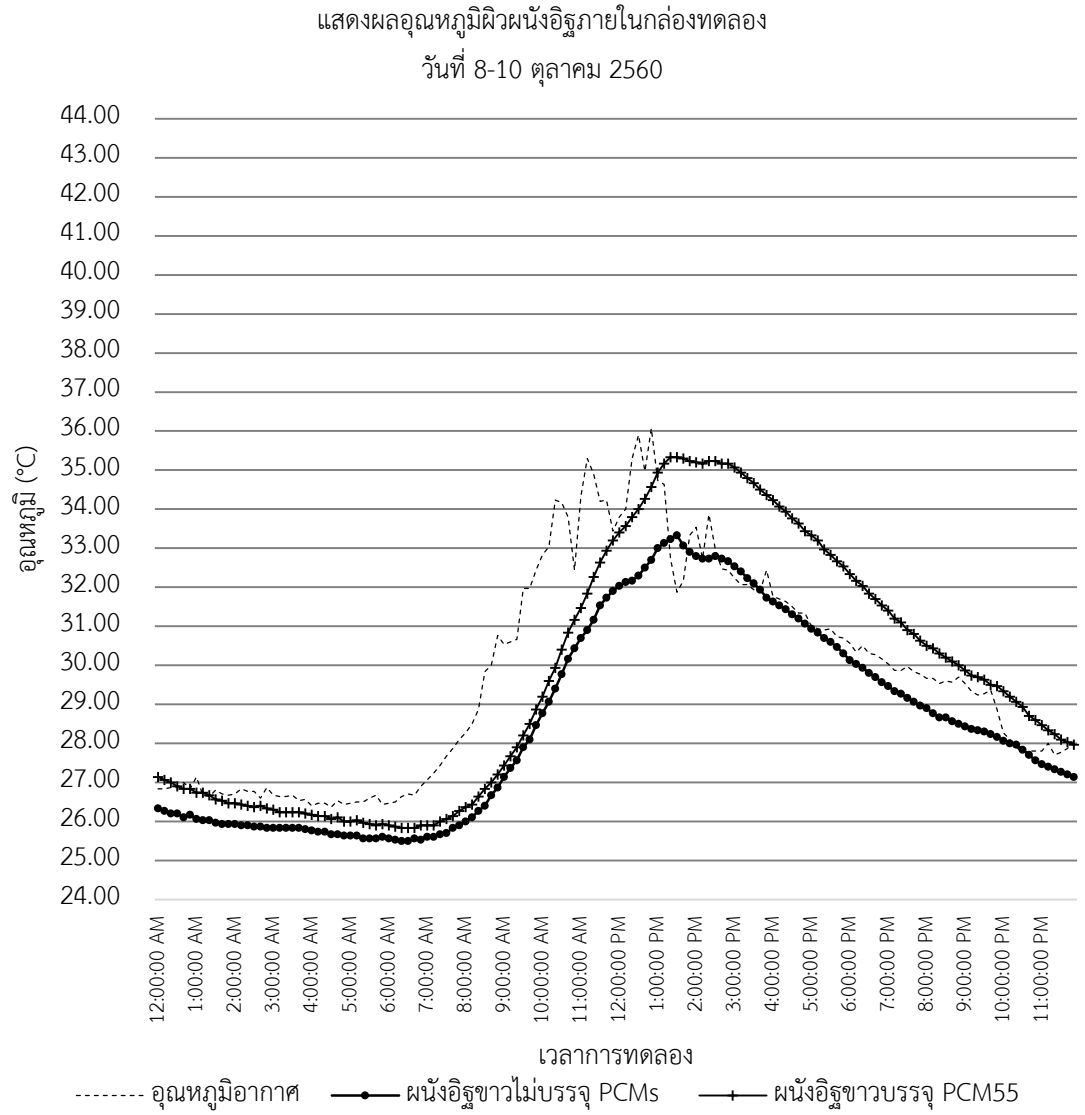
| **อุณหภูมิ(°C)** | **อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง (°C)** | | |
|---|---|---|---|
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 |
| **$T^{MAX}$ (°C)** | 36.07 | 33.33 | 35.33 |
| **$T^{AVG}$. (°C)** | 29.73 | 28.54 | 29.73 |
| **$T^{MIN}$. (°C)** | 26.37 | 25.50 | 25.83 |

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 28.54 | องศาเซลเซียส |
| ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 29.73 | องศาเซลเซียส |

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 33.33 | องศาเซลเซียส |
| ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 35.33 | องศาเซลเซียส |




ภาพที่ 53 แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง

**ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง**

ผลการเก็บข้อมูลภายในกล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM55 และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs ดังนี้

ตารางที่ 14 ผลอุณหภูมิภายในของกล่องทดลอง

| **อุณหภูมิ(°C)** | **อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง (°C)** | | |
|---|---|---|---|
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCM | PCM35 |
| **$T^{MAX}$ (°C)** | 36.07 | 33.43 | 35.07 |
| **$T^{AVG}$. (°C)** | 29.73 | 28.55 | 29.44 |
| **$T^{MIN}$. (°C)** | 26.37 | 25.47 | 25.70 |

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28.55 องศาเซลเซียส

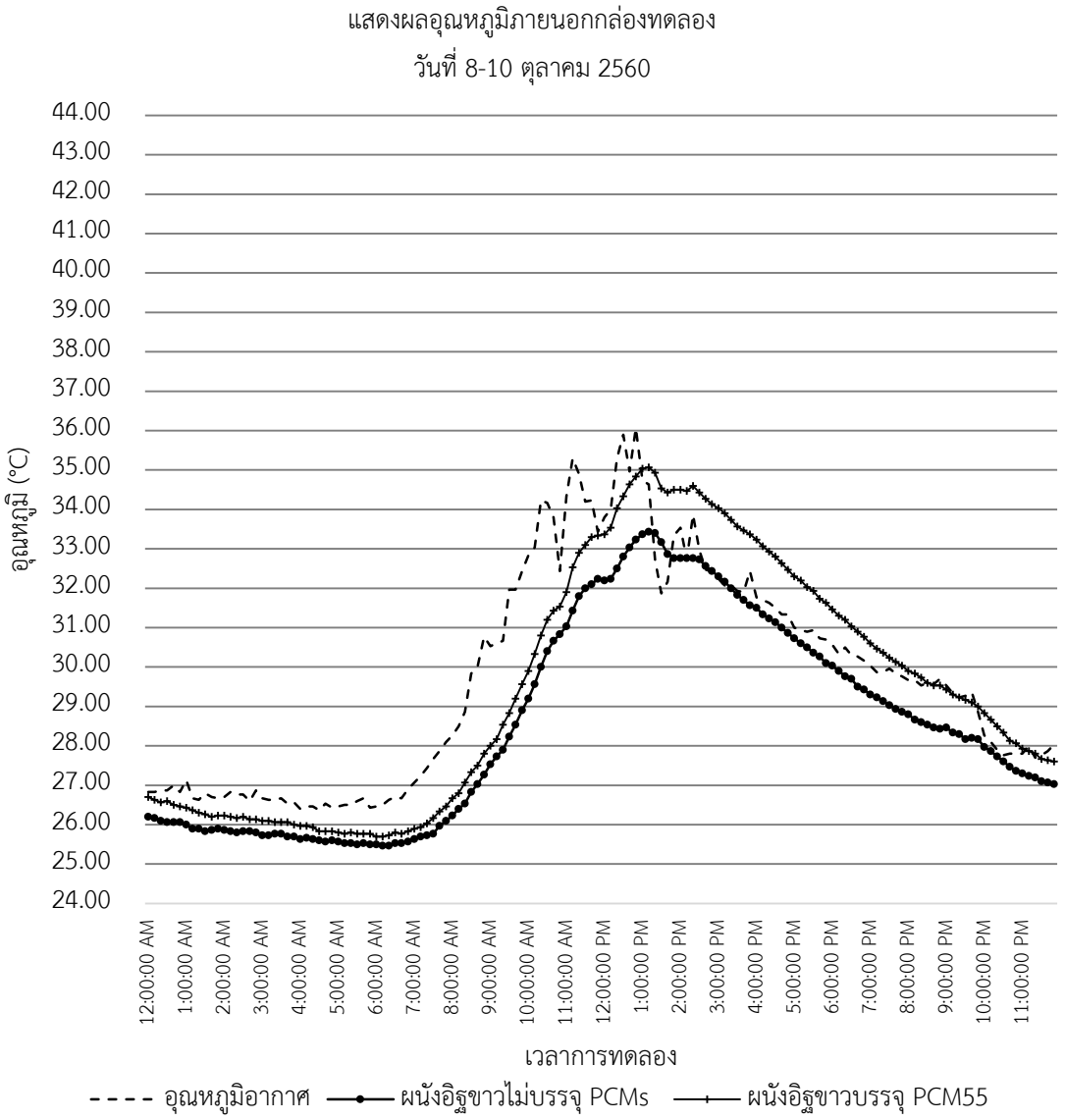
ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.44 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 33.43 องศาเซลเซียส

ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 35.07 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยศิลปากร




ภาพที่ 54 แสดงผลอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

**2.ผลการศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)**

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถของ PCMs ทั้งทางกายภาพ และความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยทำการวัดอุณหภูมิตลอดระยะเวลา 3 วัน ในทุกๆ 10 นาที ด้วยเครื่องมือ data logger ของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs การบรรจุ PCM35 เข้าไปในช่องว่างอากาศของผนังอิฐขาว ทำโดยการบรรจุ PCM35 ลงในซองพลาสติกใสที่มีความหนา 0.1 มิลลิเมตร และมีรูปทรงใกล้เคียงกับช่องว่างอากาศของอิฐขาว ก่อนที่จะบรรจุ PCM35 ลงในซองพลาสติกจะต้องตรวจสอบซองเพื่อป้องกันการรั่วซึมก่อน ตามข้อ 1.12 ทำการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมของสภาพอากาศกรุงเทพมหานคร ช่วงวันที่ 14-16 มีนาคม 2561

การแสดงผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 4 ส่วนดังนี้

1) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง

2) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง

3) อุณหภูมิภายในกล่อง

4) เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs กับอุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs

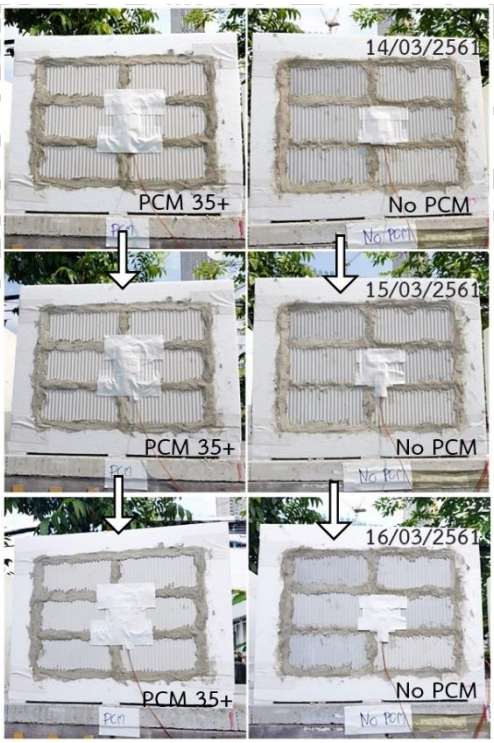
ในการแสดงข้อมูลส่วนที่ 1 ถึง 4 เป็นการแสดงผลของอุณหภูมิเฉลี่ยและผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ของ 3 วันที่ทำการทดลอง โดยถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือ

- เวลากลางวัน ตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.50 น.
- เวลากลางคืน ตั้งแต่ 24.00 น. ถึง 06.50 น.และ 18.00 น. ถึง 23.50 น.

**2.1 ผลการดำเนินงานลักษณะทางกายภาพ**

การแสดงผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ช่วงวันที่ 14-16 มีนาคม 2561

ภาพที่ 56 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs วันที่ทำการทดลอง 14-16 มีนาคม 2561




ภาพที่ 55 แสดงกล่องทดลอง ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs วันที่ทำการทดลอง 14-16 มีนาคม 2561 (ต่อ)

**กล่องทดลองอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs**

. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของผนังอิฐขาว

**กล่องทดลองอิฐขาวบรรจุ PCM35**

เมื่อผ่านการทดลองมา 3 วันลักษณะอิฐขาวไม่มีการเปลี่ยนแปลง ไม่มีการรั่วซึมของสารละลายที่บรรจุในห่อพลาสติก หลังการทดลองทำการแกะกล่องทดลองศึกษาผลกระทบของอิฐขาวกับซองบรรจุ PCM35 พบว่า ไม่มีผลกระทบใดๆ PCM35 ไม่รั่วซึมออกจากซองพลาสติก และอิฐขาวไม่เกิดความเสียหาย

ภาพที่ 57 อิฐขาวที่บรรจุ PCM35 แบบใส่ซองพลาสติกก่อนบรรจุลงช่องอากาศ

**2.2) ผลการดำเนินงาน ลักษณะการถ่ายเทความร้อน**

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น2ช่วงเวลาคือ

- เวลา กลางวัน ตั้งแต่ 07.00 น. - 17.50 น.
- เวลากลางคืน ตั้งแต่ 12.00 - 06.50 น. และ 18.00 – 23.50 น.

การแสดงผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 4 ส่วนดังนี้

- อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง
- อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง
- อุณหภูมิภายในกล่อง
- เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในช่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs กับอุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs

**2.2.1) ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง**

พิจารณาจากข้อมูลที่เก็บได้จากการทดลองในช่วงช่วงวันที่ 14 ถึง 16 มีนาคม 2561 ของกล่องทดลองอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 ผลการทดลองเป็นดังนี้

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

**ช่วงเวลากลางวัน**

| | | | |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิอากาศ | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 34.39 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 33.68 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 35.74 | องศาเซลเซียส |

**ช่วงเวลากลางคืน**

| | | | |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิอากาศ | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 28.72 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 29.52 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 28.84 | องศาเซลเซียส |

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

**ช่วงเวลากลางวัน**

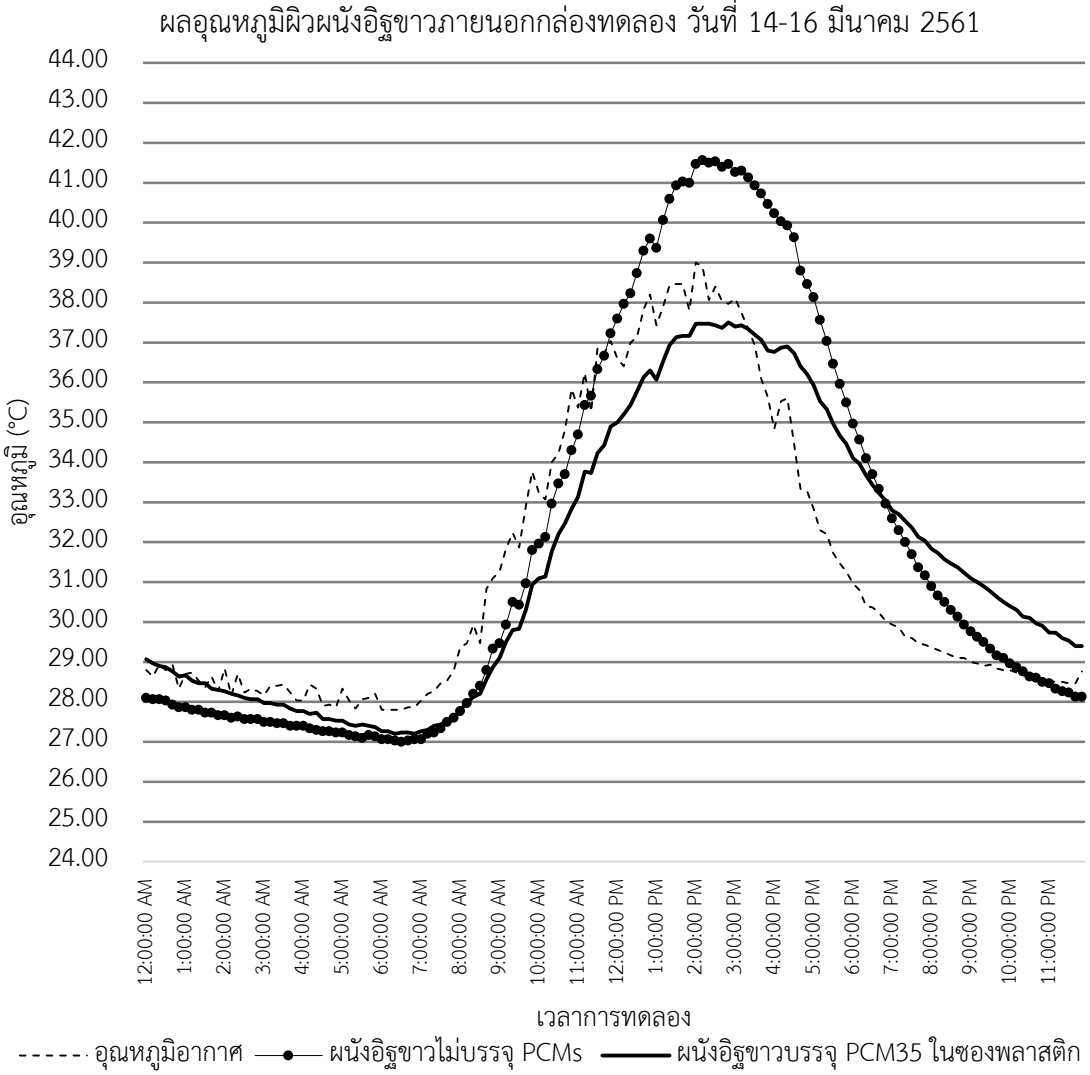
| | | | |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิอากาศ | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 39.00 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 37.50 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 41.57 | องศาเซลเซียส |

**ช่วงเวลากลางคืน**

| | | | |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิอากาศ | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 30.97 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 34.10 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 34.97 | องศาเซลเซียส |

ตารางที่ 15 ตารางสรุปผลอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง

| อุณหภูมิ (°C) | อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ช่วงเวลากลางวัน | | | ช่วงเวลากลางคืน | | |
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 |
| $T^{MAX}$ (°C) | 39.00 | 41.57 | 37.50 | 30.97 | 34.97 | 34.10 |
| $T^{AVG.}$ (°C) | 34.39 | 35.74 | 33.68 | 28.72 | 28.84 | 29.52 |
| $T^{MIN.}$ (°C) | 28.03 | 27.07 | 27.27 | 27.80 | 27.00 | 27.20 |




ภาพที่ 58 แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs วันที่ 14 – 16 มีนาคม 2561

**2.2.2) ผลการทดลองอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลอง**

พิจารณาจากข้อมูลที่เก็บได้จากการทดลองในช่วงช่วงวันที่ 14 ถึง 16 มีนาคม 2561 ของกล่องทดลองอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 ผลการทดลองเป็นดังนี้

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

**ช่วงเวลากลางวัน**

| | | | |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิอากาศ | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 34.39 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 33.22 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 35.53 | องศาเซลเซียส |

**ช่วงเวลากลางคืน**

| | | | |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิอากาศ | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 28.72 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 30.12 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 29.29 | องศาเซลเซียส |

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

**ช่วงเวลากลางวัน**

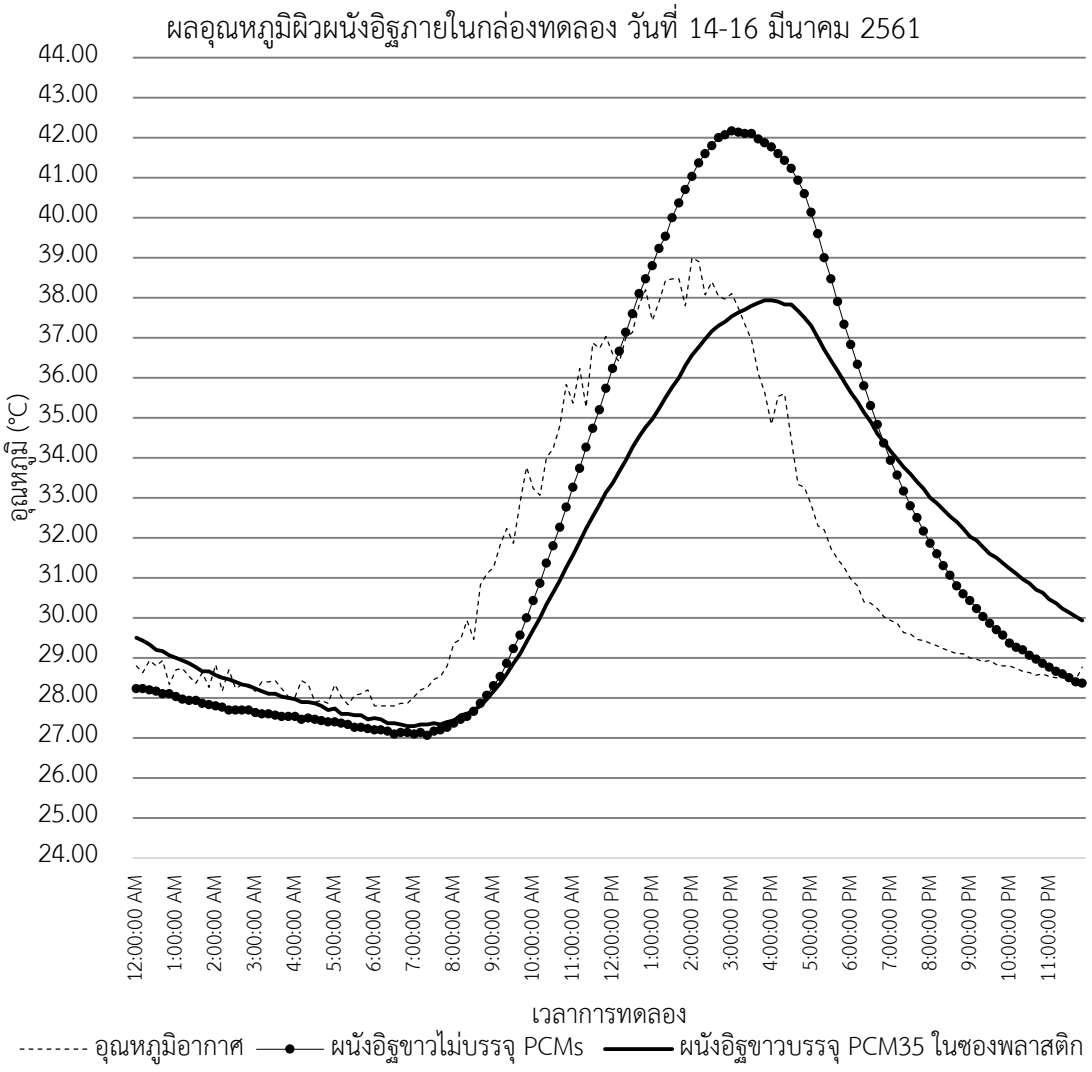
| | | | |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิอากาศ | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 39.00 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 37.93 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 42.17 | องศาเซลเซียส |

**ช่วงเวลากลางคืน**

| | | | |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิอากาศ | มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ | 30.97 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 35.63 | องศาเซลเซียส |
| ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs | มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ | 36.83 | องศาเซลเซียส |

ตารางที่ 16 ตารางสรุปผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในของกล่องทดลอง

| อุณหภูมิ (°C) | อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ช่วงเวลากลางวัน | | | ช่วงเวลากลางคืน | | |
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 |
| $T^{MAX}$ (°C) | 39.00 | 42.17 | 37.93 | 30.97 | 36.83 | 35.63 |
| $T^{AVG.}$ (°C) | 34.39 | 35.53 | 33.22 | 28.72 | 29.29 | 30.12 |
| $T^{MIN.}$ (°C) | 28.03 | 27.07 | 27.30 | 27.80 | 27.10 | 27.30 |




ภาพที่ 59 แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs วันที่ 14 – 16 มีนาคม 2561

**2.2.3) ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง**

พิจารณาจากข้อมูลที่เก็บได้จากการทดลองในช่วงช่วงวันที่ 14 ถึง 16 มีนาคม 2561 ของกล่องทดลองอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 ผลการทดลองเป็นดังนี้

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

**ช่วงเวลากลางวัน**

อุณหภูมิอากาศ มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 34.39 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35

มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 34.07 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 35.34 องศาเซลเซียส

**ช่วงเวลากลางคืน**

อุณหภูมิอากาศ มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28.72 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35

มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.28 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28.81 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

**ช่วงเวลากลางวัน**

อุณหภูมิอากาศ มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 39.00 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35

มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 38.67 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 41.40 องศาเซลเซียส

**ช่วงเวลากลางคืน**

อุณหภูมิอากาศ มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 30.97 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35

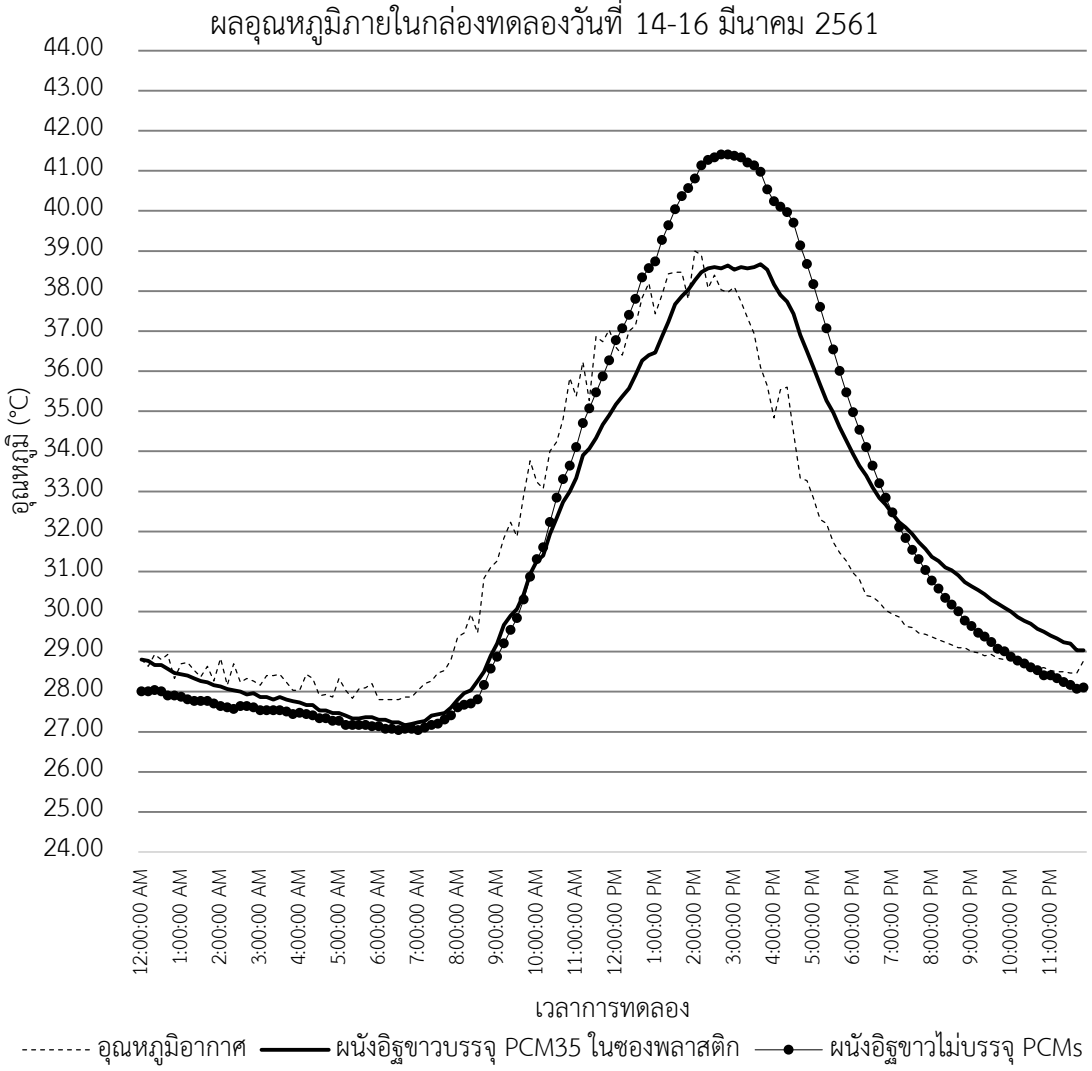
มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 33.93 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 34.97 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 17 ตารางสรุปผลอุณหภูมิภายในของกล่องทดลอง

| อุณหภูมิ (°C) | อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ช่วงเวลากลางวัน | | | ช่วงเวลากลางคืน | | |
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 |
| $T^{MAX}$ (°C) | 39.00 | 41.40 | 38.67 | 30.97 | 34.97 | 33.93 |
| $T^{AVG.}$ (°C) | 34.39 | 35.34 | 34.07 | 28.72 | 28.81 | 29.28 |
| $T^{MIN.}$ (°C) | 28.03 | 27.03 | 27.23 | 27.80 | 27.03 | 27.17 |




ภาพที่ 60 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs วันที่ 14 – 16 มีนาคม 2561

**2.2.4) ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลองและอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว**

พิจารณาจากชุดข้อมูลได้จากการทดลองในช่วงช่วงวันที่ 14 ถึง 16 มีนาคม 2561 ทำการเทียบกับข้อมูลของช่องอากาศผนังอิฐขาวกล่องทดลองอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs และอุณหภูมิภายในกล่องทดลองอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 (ชุดข้อมูลเดียวกับข้อ 2.2.3) ผลเป็นดังนี้

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

**ช่วงเวลากลางวัน**

อุณหภูมิอากาศ มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 34.39 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 34.07 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 35.34 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 36.41 องศาเซลเซียส

**ช่วงเวลากลางคืน**

อุณหภูมิอากาศ มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28.72 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.28 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกลองผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28.81 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.07 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

**ช่วงเวลากลางวัน**

อุณหภูมิอากาศ มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 39.00 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 38.67 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 41.40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 43.10 องศาเซลเซียส

**ช่วงเวลากลางคืน**

อุณหภูมิอากาศ มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 30.97 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35

มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 33.93 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

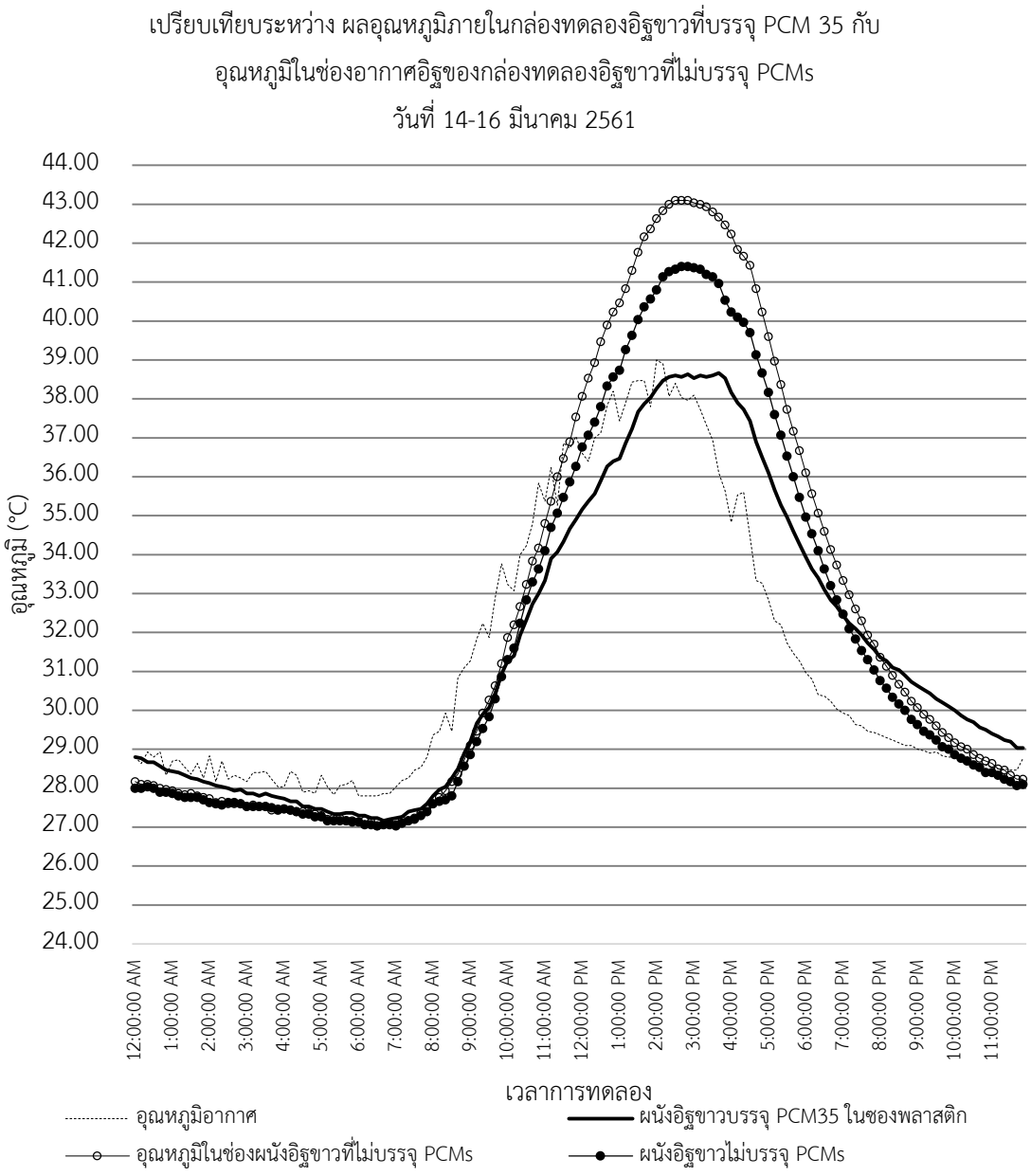
มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 34.97 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 36.10 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 18 ตารางสรุปผลอุณหภูมิภายในของกล่องทดลองและอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว

| **อุณหภูมิ (°C)** | **ผลการทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลองและอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ช่วงเวลากลางวัน | | | | ช่วงเวลากลางคืน | | | |
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | Air-Gap No PCMs | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | Air-Gap No PCMs |
| **$T^{MAX}$ (°C)** | 39.00 | 41.40 | 38.67 | 43.10 | 30.97 | 34.97 | 33.93 | 36.10 |
| **$T^{AVG.}$ (°C)** | 34.39 | 35.34 | 34.07 | 36.41 | 28.72 | 28.81 | 29.28 | 29.07 |
| **$T^{MIN.}$ (°C)** | 28.03 | 27.03 | 27.23 | 27.07 | 27.80 | 27.03 | 27.17 | 27.03 |




ภาพที่ 61แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองและอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว
วันที่ 14 – 16 มีนาคม 2561

ตารางที่ 19 รวมผลการดำเนินงาน อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอก อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายใน อุณหภูมิภายใน และ อุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว

| **อุณหภูมิ (°C)** | **อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลองของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ช่วงเวลากลางวัน | | | | ช่วงเวลากลางคืน | | | |
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | ผลลัพธ์ | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | ผลลัพธ์ |
| $T^{MAX}$ (°C) | 39 | 41.57 | 37.5 | **ลดลง 4.07** | 30.97 | 34.97 | 34.1 | **ลดลง 0.87** |
| $T^{AVG.}$ (°C) | 34.39 | 35.74 | 33.68 | **ลดลง 2.06** | 28.72 | 28.84 | 29.52 | เพิ่มขึ้น 0.68 |
| **อุณหภูมิ (°C)** | อุณหภูมิ**ผิวผนังอิฐภายใน**กล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs | | | | | | | |
| | ช่วงเวลากลางวัน | | | | ช่วงเวลากลางคืน | | | |
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | ผลลัพธ์ | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | ผลลัพธ์ |
| $T^{MAX}$ (°C) | 39 | 42.17 | 37.93 | **ลดลง 4.24** | 30.97 | 36.83 | 35.63 | **ลดลง 1.20** |
| $T^{AVG.}$ (°C) | 34.39 | 35.53 | 33.22 | **ลดลง 2.31** | 28.72 | 29.29 | 30.12 | เพิ่มขึ้น 0.83 |
| **อุณหภูมิ (°C)** | อุณหภูมิ**ภายใน**กล่องทดลองของ ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับ ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs | | | | | | | |
| | ช่วงเวลากลางวัน | | | | ช่วงเวลากลางคืน | | | |
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | ผลลัพธ์ | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | ผลลัพธ์ |
| $T^{MAX}$ (°C) | 39 | 41.4 | 38.67 | **ลดลง 2.73** | 30.97 | 34.97 | 33.93 | **ลดลง 1.04** |
| $T^{AVG.}$ (°C) | 34.39 | 35.34 | 34.07 | **ลดลง 1.27** | 28.72 | 28.81 | 29.28 | เพิ่มขึ้น 0.47 |
| **อุณหภูมิ (°C)** | อุณหภูมิ**ภายใน**กล่องทดลองและอุณหภูมิใน**ช่องอากาศ**ผนังอิฐขาว | | | | | | | |
| | ช่วงเวลากลางวัน | | | | ช่วงเวลากลางคืน | | | |
| | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | Air-Gap No PCMs | $T^{OUTSIDE}$ | No PCMs | PCM35 | Air-Gap No PCMs |
| $T^{MAX}$ (°C) | 39 | 41.4 | 38.67 | 43.1 | 30.97 | 34.97 | 33.93 | 36.1 |
| $T^{AVG.}$ (°C) | 34.39 | 35.34 | 34.07 | 36.41 | 28.72 | 28.81 | 29.28 | 29.07 |

# บทที่ 5
# วิเคราะห์ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ PCMs ร่วมกับอิฐขาว และศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวที่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs เพื่อศึกษาความสามารถของ PCMs ทั้งทางกายภาพ และความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยจะทำการการวิเคราะห์ผลการศึกษาดังนี้

1 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs)

1.1 วิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาวเพื่อลดความร้อน

2 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวเมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs) การวิเคราะห์ทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 4 ส่วนดังนี้

2.1) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง

2.2) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง

2.3) อุณหภูมิภายในกล่อง

2.4) เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs กับอุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs

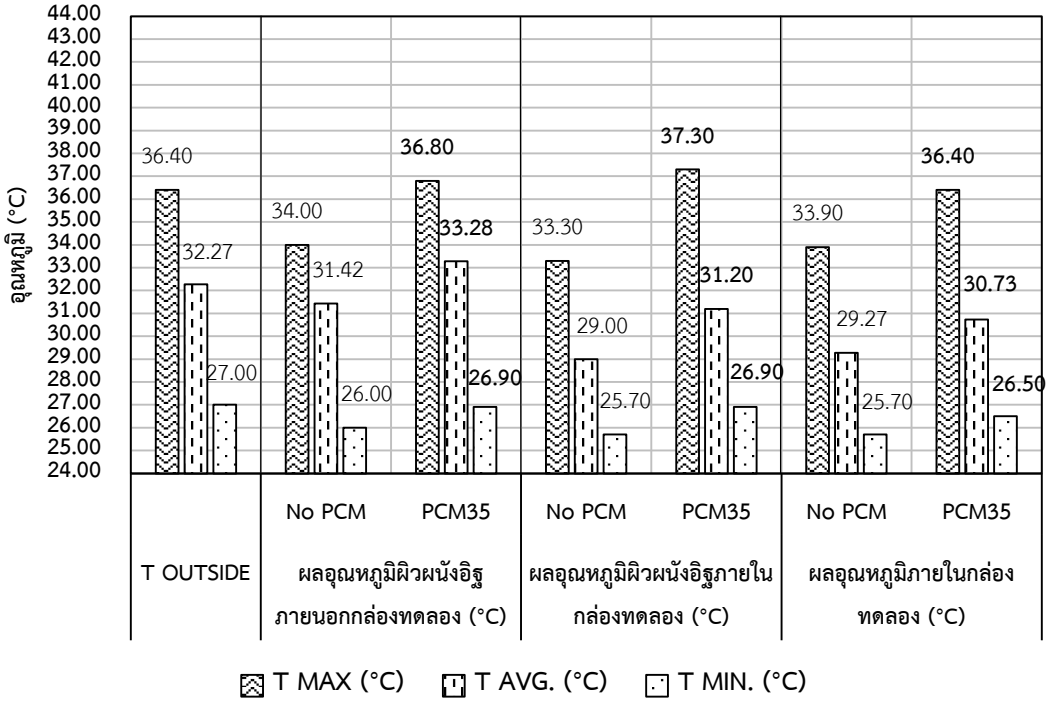
**1 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs)**

**1.1 วิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 1**

จากข้อมูลพบว่า ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ คือ อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง และ อุณหภูมิภายในกล่องจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย และ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด สูงกว่า ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs ตลอดทั้งวัน โดยอุณหภูมิของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 มากกว่าผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs เฉลี่ยประมาณ 3 องศาเซลเซียส และ ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ ที่พบว่า อุณหภูมิของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ “อุณหภูมิภายในกล่อง” เพิ่มขึ้น ประมาณ 5 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองอุณหภูมิลักษณะการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 1 ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 ไม่สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้ รวมถึงลักษณะทางกายภาพที่ทำการบรรจุ PCMs โดยตรงส่งผลให้ผนังอิฐขาวเกิดความเสียหาย ดังนั้นการบรรจุ PCM35 ลงในอิฐขาวด้วยวิธีบรรจุโดยตรงไม่เหมาะสมในการใช้งาน ทั้งงานก่อสร้างและ การลดการถ่ายเทความร้อน

แสดงสรุปผลอุณหภูมิ ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 1
วันที่ 30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560



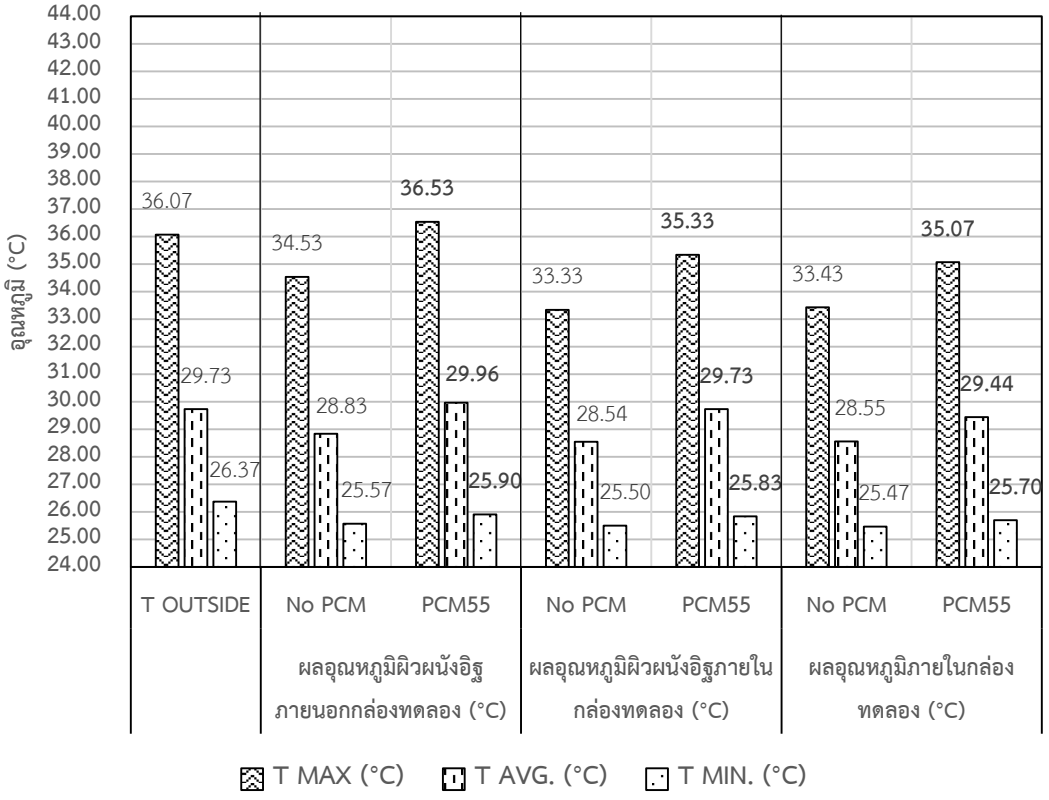

ภาพที่ 62 สรุปผลอุณหภูมิลักษณะการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 1

**1.2 วิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 2**

จากข้อมูลพบว่า ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM55 ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ คือ อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง และ อุณหภูมิภายในกล่องจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย และ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด สูงกว่า ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs ตลอดทั้งวัน โดยอุณหภูมิของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM55 มากกว่าผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs เฉลี่ยประมาณ 2 องศาเซลเซียส และ ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ ที่พบว่า อุณหภูมิของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM55 เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ “อุณหภูมิภายในกล่อง” เพิ่มขึ้น ประมาณ 4 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองอุณหภูมิลักษณะการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ที่ 2 ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM55 ไม่สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้ แต่ลักษณะทางกายภาพที่ การบรรจุ PCMs โดยตรงไม่ส่งผลให้ผนังอิฐขาวเกิดความเสียหาย ดังนั้นการบรรจุ PCM55 ลงในอิฐขาวด้วยวิธีบรรจุโดยตรงไม่เหมาะสมในการใช้งาน การลดการถ่ายเทความร้อน

แสดงสรุปผลอุณหภูมิ ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 2
วันที่8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560




ภาพที่ 63 สรุปผลอุณหภูมิลักษณะการถ่ายเทความร้อนชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 2

จากการวิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้การนำ PCM35 และ PCM55 ในผนังอิฐขาว เพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองพบว่า อิฐขาวไม่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเช่นไร และ อิฐขาวที่บรรจุ PCMs ที่มีจุดเปลี่ยนสถานะที่ไม่เท่ากับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันของตำแหน่งที่จะบรรจุ PCMs (PCM55) แต่สามารถหาซื้อได้ในประเทศไทย จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเช่นไร โดยทำการทดลอง วันที่ 30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 และ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 มาใช้ลดการถ่ายเทความร้อนพบว่า อิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และ อิฐขาวที่บรรจุ PCM55 แบบบรรจุโดยตรง ไม่สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้ โดยอุณหภูมิของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และ PCM55 มากกว่าผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs เฉลี่ย 2-3 องศาเซลเซียส และ ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ ที่พบว่า อุณหภูมิของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM55 เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ “อุณหภูมิภายในกล่อง” จะเพิ่มขึ้น 4-5 องศาเซลเซียส และ ลักษณะทางกายภาพ การบรรจุ PCM35 โดยตรงส่งผลให้ผนังอิฐขาวเกิดความเสียหาย อิฐขาวมีการซึมซับสาร PCMs และเกิดการแตกของผนังอิฐขาวในเวลาต่อมา แต่ลักษณะทางกายภาพที่ การบรรจุ PCM55 โดยตรงไม่ส่งผลให้ผนังอิฐขาวเกิดความเสียหาย แต่ถึงอย่างไรการนำ PCM55 มาใช้ยังไม่สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้

จากผลการทดลองการบรรจุ PCMs แบบโดยตรง พบว่า การรั่วซึมของสาร PCMs จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ซองบรรจุที่มีความทนต่อการรั่วซึม และสามารถยืดหยุ่นได้ระดับหนึ่งเพื่อตอบสนองการขยายตัวขณะเปลี่ยนสถานะของ PCMs

มหาวิทยาลัยศิลปากร

**2 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCMs)**

**2.1 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การทดลองอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง**

เป็นการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง ของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และ กล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs (บทที่4 ข้อ 2.2.1 : ตารางที่ 12 : ภาพที่58)

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

ในช่วงเวลากลางวัน ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 33.68 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 2.0 6 องศาเซลเซียส

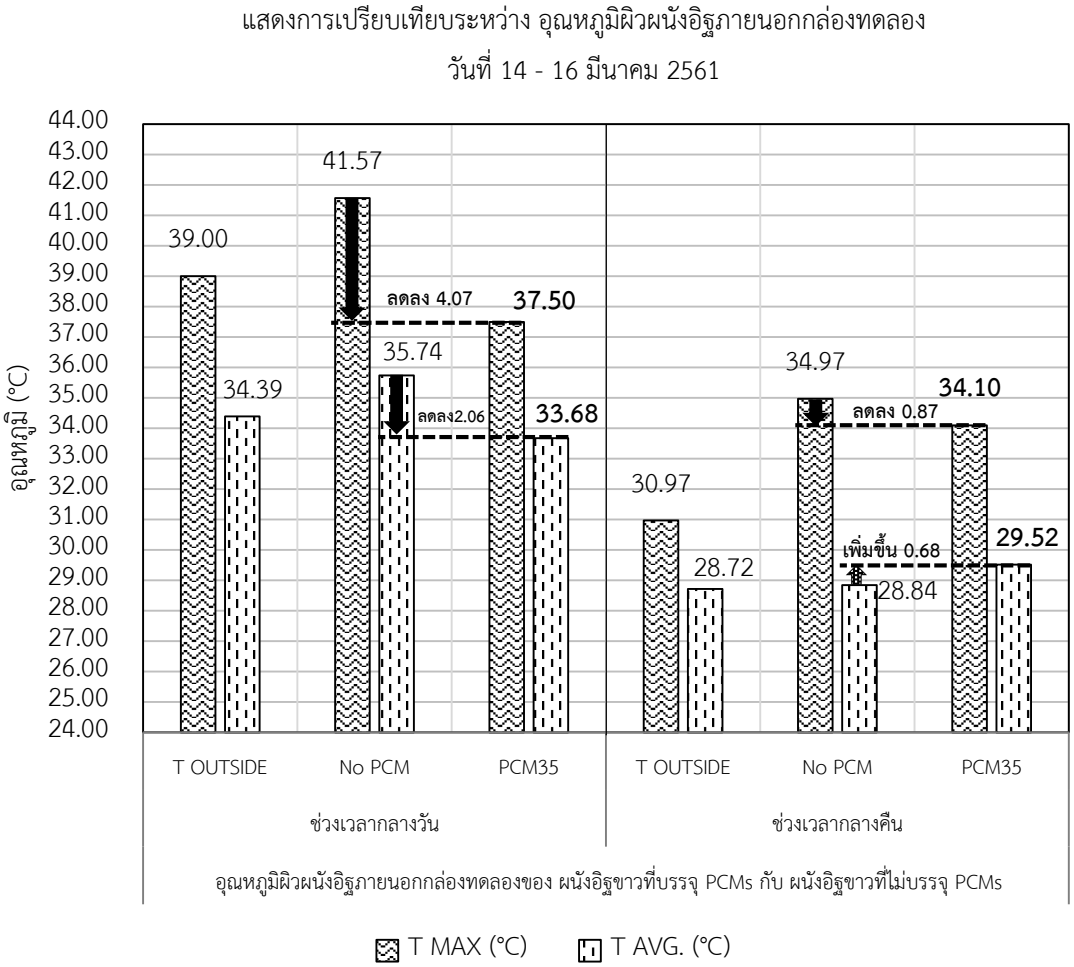
ในช่วงเวลากลางคืน ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.52 องศาเซลเซียส มากกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 0.68 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

ในช่วงเวลากลางวัน ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 37.50 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 4.07องศาเซลเซียส

ในช่วงเวลากลางคืน ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 34.10 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 0.87 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยศิลปากร




ภาพที่ 64 แสดงการเปรียบเทียบ อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายนอกกล่องทดลอง
วันที่ 14 - 16 มีนาคม 2561

จากภาพที่64 จะเห็นว่าผลอุณหภูมิเฉลี่ย และ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน โดย PCM35 สามารถลดการถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดช่วงเวลากลางวัน ได้มากถึง 4.07 องศาเซลเซียส แต่ผลอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืน ของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 จะมากกว่าผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 0.68 องศาเซลเซียส เนื่องจากผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีการคายความร้อนออกมาในตอนกลางคืนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น

**2.2 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การทดลองอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง**

เป็นการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง ของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และ กล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs (บทที่4 ข้อ 2.2.2 : ตารางที่ 13 : ภาพที่59)

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

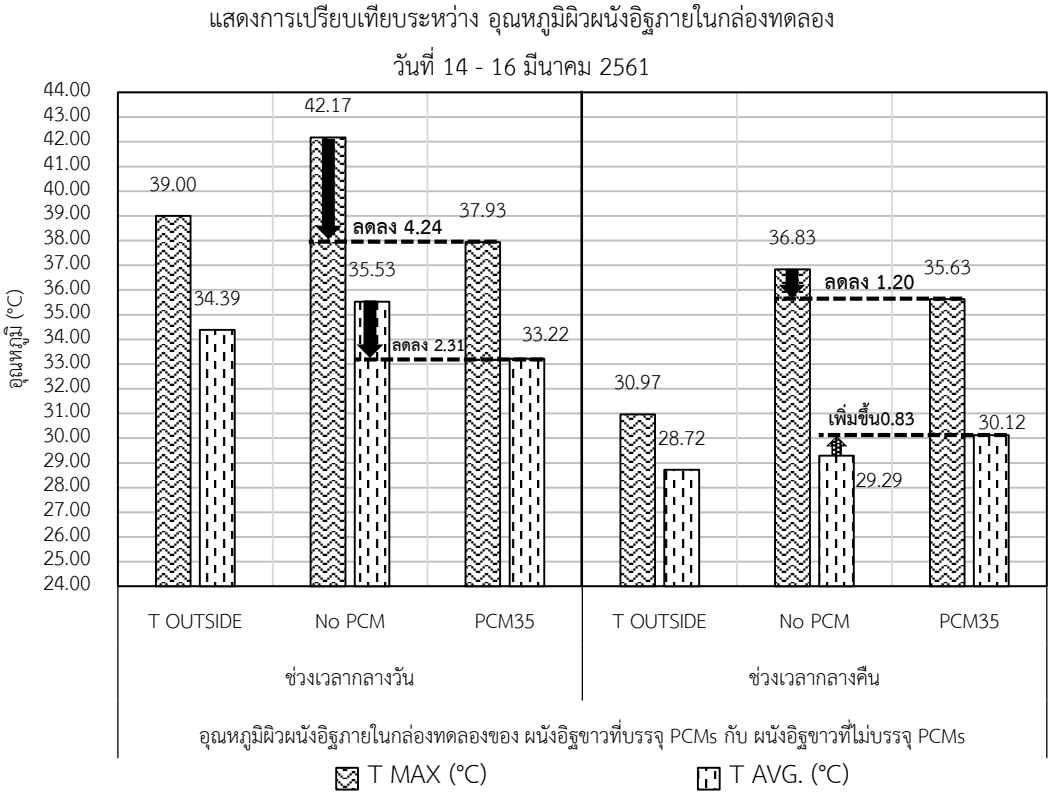
ในช่วงเวลากลางวัน ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 33.22 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 2.31 องศาเซลเซียส

ในช่วงเวลากลางคืน ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30.12 องศาเซลเซียส มากกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 0.83 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

ในช่วงเวลากลางวัน ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 37.93 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 4.24 องศาเซลเซียส

ในช่วงเวลากลางคืน ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 35.63 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 1.20 องศาเซลเซียส




ภาพที่ 65 แสดงการเปรียบเทียบ อุณหภูมิผิวผนังอิฐภายในกล่องทดลอง
วันที่ 14 - 16 มีนาคม 2561

จากภาพที่ 65 จะเห็นว่าผลอุณหภูมิเฉลี่ย และ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน โดย PCM35 สามารถลดการถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดช่วงเวลากลางวัน ได้มากถึง 4.24 องศาเซลเซียส แต่ผลอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืน ของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 จะมากกว่าผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 0.83 องศาเซลเซียส เนื่องจากผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีการคายความร้อนออกมาในตอนกลางคืนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น

**2.3 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง**

เป็นการวิเคราะห์อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง ของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุPCM35 และกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs (บทที่4 ข้อ 2.2.3 : ตารางที่ 14 : ภาพที่59)

**ผลอุณหภูมิเฉลี่ย**

ในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 34.07 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 1.27 องศาเซลเซียส

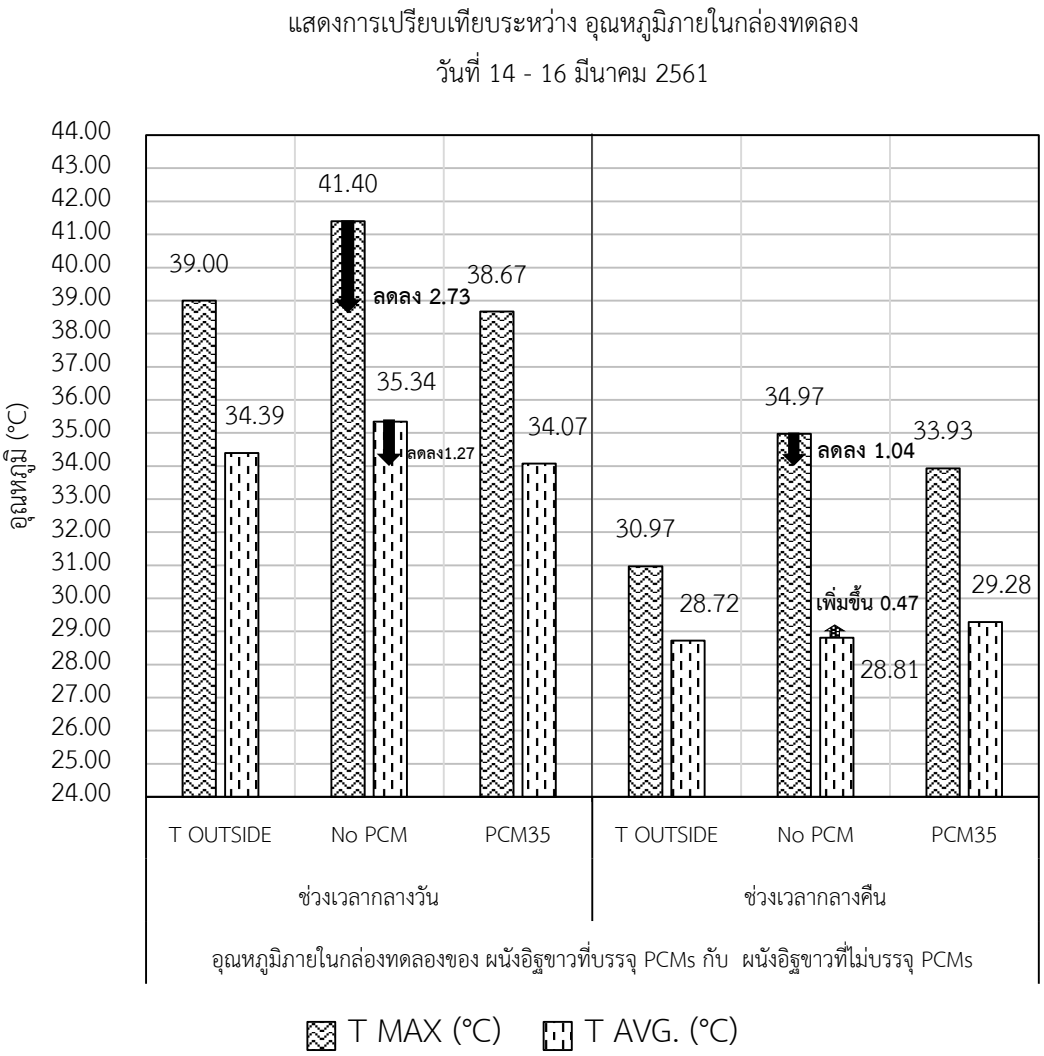
ในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.28 องศาเซลเซียส มากกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 0.47 องศาเซลเซียส

**ผลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย**

ในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อยู่ที่ 38.67 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 2.73 องศาเซลเซียส

ในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องที่บรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อยู่ที่ 33.93 องศาเซลเซียส น้อยกว่า ผิวผนังอิฐขาวของกล่องที่ไม่บรรจุ PCMs 1.04 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 66 จะเห็นว่าผลอุณหภูมิเฉลี่ย และ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน โดย PCM35 สามารถลดการถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดช่วงเวลากลางวันได้2.73 องศาเซลเซียส แต่ผลอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืน ของผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 จะมากกว่าผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 1.04 องศาเซลเซียส เนื่องจากผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีการคายความร้อนออกมาในตอนกลางคืนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น




ภาพที่ 66 แสดงการเปรียบเทียบ อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง
วันที่ 14 - 16 มีนาคม 2561

**2.4 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การทดลองอุณหภูมิภายในกล่องทดลองกับอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาว**

ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs กับอุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ระยะเวลา 3 วัน ช่วง 14 ถึง 16 มีนาคม จุดประสงค์ในการศึกษาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ PCM35 กับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันของตำแหน่งที่จะนำ PCM ไปใช้ ตำแหน่งในที่นี้คือ “ช่องอากาศผนังอิฐขาว” โดยทำการศึกษา 2 ส่วนดังนี้

1) อุณหภูมิ ณ ที่เท่าใดที่ทำให้ PCM 35 เริ่มปฏิกิริยาในการเปลี่ยนสถานะ จนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยาเมื่อใด แสดงในข้อ 2.4.1 และ 2.4.2

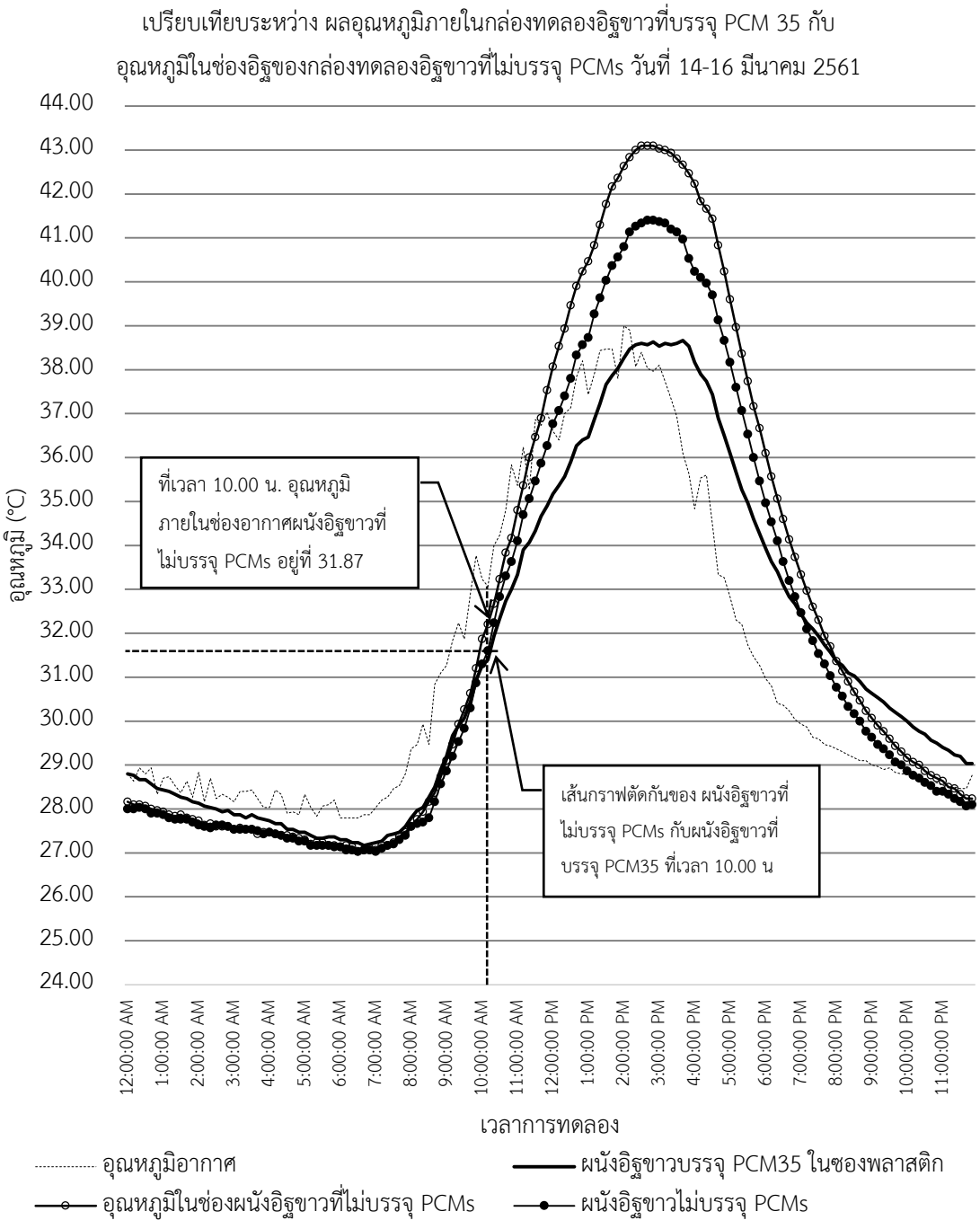
2) ศึกษาความสามารถในลดการถ่ายเทความร้อนเมื่ออุณหภูมิในช่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิสูงสุด แล้วประสิทธิภาพของ PCM35 สามารถลดอุณหภูมิในกล่องทดลองได้เท่าใด แสดงในข้อ 2.4.3

โดยข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์คือ

- อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35
- อุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs
- อุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

**2.4.1) การวิเคราะห์อุณหภูมิที่ PCM เริ่มปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อน**

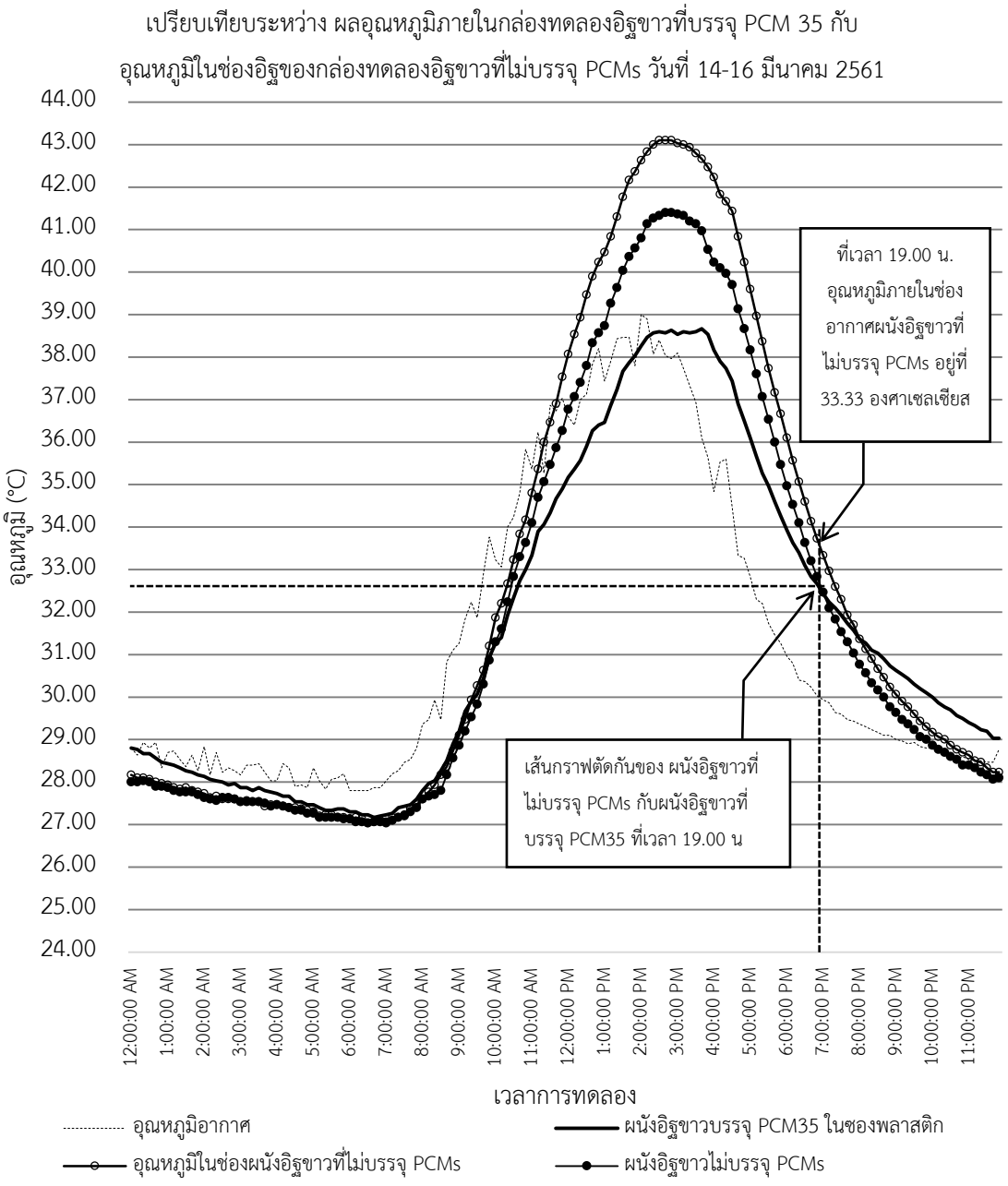
เมื่ออุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ตัดกับเส้นกราฟของ กล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 โดยเริ่มต้นเวลาที่ 10.00 น. เป็นช่วงที่ PCMs ช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนในกล่องทดลองผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 ซึ่งในขณะนั้นอุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ณ ช่วงเวลาเริ่มต้น 10.00 น. อยู่ที่ 31.87 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 67)




ภาพที่ 67 แสดงการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ PCMs เริ่มปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อน

**2.4.2) การวิเคราะห์อุณหภูมิที่ PCMs สิ้นสุดปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อน**

ช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของ กล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ตัดกับ กล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 โดยสิ้นสุดเวลาที่ 19.00 น. เป็นช่วงที่ PCMs สิ้นสุดการลดการถ่ายเทความร้อนในกล่องทดลองผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 ซึ่งในขณะนั้นอุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs อยู่ที่ช่วงเวลาสิ้นสุด 19.00 น. คือ 33.33 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 68 )




ภาพที่ 68 แสดงการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ PCMs สิ้นสุดปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อน

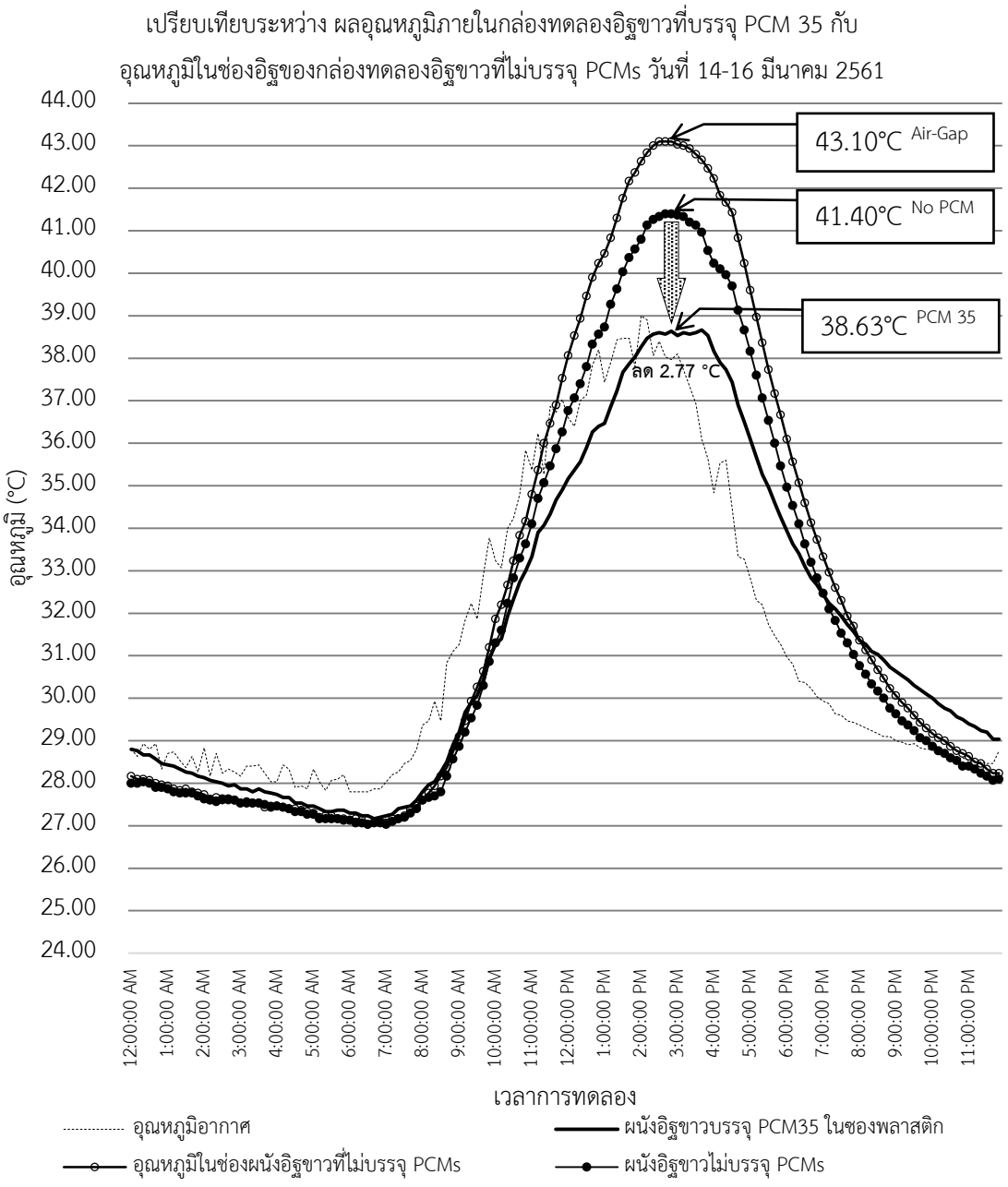
**2.4.3) การวิเคราะห์ผลความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของ PCMs ณ อุณหภูมิในช่องผนังอิฐสูงสุด**

เป็นการศึกษาความสามารถในลดการถ่ายเทความร้อนเมื่ออุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิสูงสุด แล้วจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของ PCM35 สามารถลดการถ่ายเทความร้อนในกล่องทดลองได้เท่าใด โดยเปรียบเทียบจาก อุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ณ ช่วงอุณหภูมิสูงสุด กับผลต่าง ณ ช่วงอุณหภูมิสูงสุด ช่วงเวลาเดียวกันของอุณหภูมิภายในกล่องทดลองของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และ อุณหภูมิภายในกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

พบว่าช่วงที่อุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs สูงสุด คือ 43.10 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.30 น. ถึง 14.50 น. ในขณะนั้นอุณหภูมิภายในกล่องทดลองของผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs และผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 เท่ากับ 41.40 องศาเซลเซียส และ 38.63 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะเห็นว่า ณ อุณหภูมิภายในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs สูงสุด สาร PCM35 ที่ถูกบรรจุอยู่สามารถลดการถ่ายเทความร้อน ส่งผลให้ช่วยลดอุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs ลงได้ 2.77 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs (ภาพที่ 69)

จากการวิเคราะห์ผลความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของ PCMs ณ อุณหภูมิในช่องผนังอิฐสูงสุด พบว่าเมื่ออุณหภูมิในช่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs อยู่ระหว่าง 31 ถึง 33 องศาเซลเซียส จะส่งผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนของ PCM35 ในช่วงเวลากลางวัน จะเริ่มการช่วยลดการถ่ายเทความร้อน ณ อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส

อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิสูงสุดในช่องอากาศผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs เท่ากับ 43.10 องศาเซลเซียส ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 สามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในกล่องทดลองได้ 2.77 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลากลางคืน PCM35 จะสิ้นสุดการช่วยลดการถ่ายเทความร้อน ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส




ภาพที่ 69 แสดงการวิเคราะห์ผลความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนชอง PCMs ณ อุณหภูมิในช่องผนังอิฐสูงสุด

# บทที่ 6

## บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาว เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ phase change materials (PCMs) และศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของอิฐขาวที่บรรจุ PCMs และอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

ด้วยการใช้กล่องทดลองขนาด 0.60x0.60x0.50 เมตร ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ PCMs ประเภท สารอินทรีย์ โดย PCMs ที่นำมาใช้เป็น พาราฟิน และทำการบรรจุลงในซองพลาสติกใส ในปริมาณช่องอากาศละ 32 กรัม และนำไปใส่ในช่องอากาศของอิฐขาว จำนวน 5 ช่อง ส่งผลให้น้ำหนักรวมของอิฐขาวบรรจุ PCMs 1 ก้อนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.6 หรือเพิ่มขึ้น 160 กรัม โดยเลือกใช้จุดเปลี่ยนสถานะของ PCMs ที่เลือกใช้อยู่ที่ 34 องศาเซลเซียส จากบริษัท RUBITHERM โดยมีชื่อผลิตภัณฑ์ว่า RT35 หมายถึงวัสดุที่มีจุดเปลี่ยนสถานะที่ 29 - 36 องศาเซลเซียส สาเหตุเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ RT35 เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ณ ตำแหน่งที่จะทำการบรรจุ PCMs คือ 34 องศาเซลเซียส

ผลการทดลอง พบว่า การวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่ง 3 จุด คือ 1) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง 2) อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง 3) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง พบว่าในช่วงเวลากลางวัน กล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 ส่วน ต่ำกว่า กล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ถึง 2.07, 2.31 และ 1.27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิช่วงเวลากลางคืน กล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 ส่วน มากกว่า กล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs 0.68, 0.83 และ 0.47 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยทั้ง 3 ส่วนต่ำกว่า กล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs ถึง 4.07, 4.24 และ 2.73 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นว่า PCMs มีส่วนช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนของผนังอิฐขาวในช่วงเวลากลางวัน และสามารถช่วยลดอุณหภูมิ โดยในทางกลับกันในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลองก็จะคายความร้อนออกมามากที่สุดทำให้อุณหภูมิกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs สูงกว่ากล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

จากการศึกษาปฏิกิริยาในการลดการถ่ายเทความร้อนของ PCM35 ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อน ตั้งแต่เวลา 10.00 น. จนถึงเวลา 19.00 น. โดยเมื่ออุณหภูมิในช่องอากาศผนังอิฐขาวสูงสุด คือ 43.10 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 14.30 น. ถึง 14.50 น ผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 สามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในกล่องทดลองได้ 2.77 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าพบว่า การนำ PCMs ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดมาใช้จำเป็นที่ต้องดูเรื่องจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสม ในการจำหน่ายประเทศไทยมี PCMs จำหน่ายแต่ จุดเปลี่ยนสถานะไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับผนังอิฐขาว จึงจำเป็นที่ต้องสั่งจากต่างประเทศ ในการศึกษานี้พบว่า ราคาการใช้ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 มีราคาต่อตารางเมตร อยู่ที่ 13,272 บาทต่อตารางเมตร ทั้งนี้ราคาขึ้นอยู่กับร้านที่จัดจำหน่าย และสถานที่ในการสั่งซื้อ

การเลือกใช้ PCM35 อยู่พื้นฐานการคำนวณค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวในช่องอากาศผนังอิฐขาวในช่วงเวลา 1 วันในสภาพอากาศกรุงเทพมหานคร ความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของ PCMs จะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้จุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสม ในที่นี้ หากนำ PCMs ไปใช้กับวัสดุอื่นจำเป็นที่ต้องศึกษาจุดเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมกับวัสดุนั้นๆ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

**6.2 ข้อเสนอแนะ**

1. จะสังเกตได้ว่าช่วงเวลา ณ อุณหภูมิสูงสุด ของกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMs และกล่องผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs มีระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน โดยกล่องผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCMsจะสามารถหน่วงความร้อน เท่ากับ 1 ชั่วโมง อันเนื่องจากขีดจำกัดในการบรรจุสารPCM35 ลงในช่องผนังอิฐขาวที่มีปริมาณน้อย จึงเป็นที่น่าสนใจว่าหากนำ PCM35 ไปทดลองในวัสดุชนิดอื่นที่มีพื้นที่ในการบรรจุ PCMs มากขึ้น และภายใต้พื้นฐานการทดลองเดียวกัน ก็จะมีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถช่วยหน่วงความร้อน และ ลดการถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มมากขึ้น

2 การเลือกใช้บรรจุหีบห่อ PCMs ควรมีการทำการทดลองที่มากกว่าในงานวิจัยนี้ เนื่องจากปัจจัยเรื่องของค่าการนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ อาจจะมีผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนของPCMsได้ สาเหตุที่ต้องนำ PCMs มาบรรจุลงพลาสติก หรือ หีบห่อ เนื่องจากหากทำการบรรจุโดยตรงจะทำให้ผนังอิฐขาวดูดซับ PCM35 และส่งผลให้ผนังอิฐขาวเกิดรอยแตกในภายหลัง และนอกจากส่งผลในทางกายภาพแล้ว การที่ผนังอิฐขาวดูดซับ PCM35 ยังมีผลทางความร้อนอีกด้วย เมื่อ PCM35 ถูกซึมซับเข้าสู่ผนังอิฐขาว PCM35 ไม่สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้ ในทางกลับกันกลายเป็นการเพิ่มความร้อนให้กับผนังอิฐขาว

3.จากการศึกษาพบว่าการใช้ PCMs ในอาคารสามารถกักเก็บพลังงานความร้อนเพื่อช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางวันได้ ขณะเดียวกัน ในช่วงเวลากลางคืนจะมีการคายพลังงานความร้อนออกมา ส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น อาจจะส่งผลต่อลักษณะการใช้งานอาคาร ประเภทอาคารที่มีกิจกรรมในเวลากลางคืน การเลือกใช้ PCMs จึงจำเป็นที่ต้องดูบริบทเรื่องการใช้งานอาคารให้สอดคล้องกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ PCMs

4.ในการศึกษานี้เป็นการทดลองด้วยกล่องทดลอง ที่ไม่มีการปรับอากาศ เพื่อเป็นการต่อยอดในการศึกษาอาจจะมีการทดลองในรูปแบบการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ปรับอากาศเฉพาะกลางคืน ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ หรือระบายอากาศ เฉพาะกลางคืน เพิ่มเติม

5.การทดลองนี้ได้ทำการทดลองด้วยกล่องทดลอง โดยทำการก่อผนังอิฐขาวหันไปในด้านทิศใต้ ในทุกๆกล่องทดลอง และเพื่อเป็นการต่อยอดในการศึกษาอาจจะมีการทดลองในรูปแบบการปรับเปลี่ยนทิศทางในการศึกษาเพิ่มเติม

6.ในการศึกษานี้การก่อผนังอิฐขาวบรรจุ PCMs และ ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs ไม่ได้ทำการฉาบปูน อาจจะแนวทางในการศึกษาต่อไป เนื่องจากการฉาปปูนจะมีปฏิกิริยาการแย่งน้ำกันระหว่างอิฐกับปูนฉาบ ผลในเชิงความร้อนอาจจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

7.ในการศึกษานี้เป็นการทดลองด้วยกล่องทดลอง และเป็นการแสดงแนวโน้มผลการทดลองค่าอุณหภูมิ แต่จะไม่ใช่ค่าการทดลองจริงเมื่อนำไปใช้กับอาคารขนาดใหญ่ขึ้น

# รายการอ้างอิง


Akeiber, H., Nejat, P., Majid, M. Z. A., Wahid, M. A., Jomehzadeh, F., Zeynali Famileh, I., . . . Zaki, S. A. (2016). A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60*, 1470-1497. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.036

Bouguerra E.H., และ Retiel N. (2014). *Performance of Phase Change Materials for Cooling of Buildings in Mild Climates*. Paper presented at the International PLEA Conference: SUSTAINABLE HABITAT FOR DEVELOPING SOCIETIES, Ahmedabad, India.

Eppelbaum, L., Kutasov, I., และ Pilchin, A. (2014). Thermal Properties of Rocks and Density of Fluids. In L. Eppelbaum, I. Kutasov, & A. Pilchin (Eds.), *Applied Geothermics* (pp. 99-149). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Fleischer, A. S. (2015). *Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials: Fundamentals and Applications*: Springer International Publishing.

K.S. Contrade Co., L. (2013). ผลิตภัณฑ์อิฐข าว KS. Retrieved 17/01/2016 http://www.kscontrade.com/product/

Madessa, H. B. (2014). A Review of the Performance of Buildings Integrated with Phase Change Material: Opportunities for Application in Cold Climate. *Energy Procedia, 62*, 318-328. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.393

Mushtaq T. H, Ahmed Q. M, และ Hasanain M.H. (2013). Experimental and Numerical Study of Thermal performance of a Building Roof including Phase Change Material (PCM) for Thermal Mangement. *Global Advanced Research Journal of Engineering,, 2(8)*(Technology and Innovation).

Nĕmeček, M., และ Kalousek, M. (2015). Influence of thermal storage mass on summer thermal stability in a passive wooden house in the Czech Republic. *Energy and Buildings, 107*, 68-75. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.068

Rodriguez-Ubinas, E., Ruiz-Valero, L., Vega, S., และ Neila, J. (2012). Applications of Phase Change Material in highly energy-efficient houses. *Energy and Buildings, 50*, 49-62. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.018

wikipedia. (2017). Phase-change material. Available from wikipedia Retrieved 09/11/2017 https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material

Zhou, D., Zhao, C. Y., และ Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied Energy, 92*, 593-605. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.025

กำพล ล้อเลิศสกุล) .2551). นวัตกรรมการผลิตวัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในสิ่งก่อสร้างเพื่ออนุรักษ์พลังงาน (วิศวกรรมเคมี ปริญญาโท), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .สำนักหอสมุด .Retrieved from http://www.lib.ku.ac.th/KUthesis/2551/KampholLor/index.html

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล) .2549). การเปลี่ยนสถานะในวัสดุโครงสร้างภายนอกเพื่อการจัดการพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร .Retrieved from สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยศรีปทุม :

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล) .2553). การเพิ่มมวลความร้อนของโครงสร้างผนังโดยใช้สารเปลี่ยนสถานะ . Paper presented at the การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ .

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล, และ วิทยา ยงเจริญ) .2550). อิทธิพลของสารเปลี่ยนสถานะในวัสดุโครงสร้างต่อพฤติกรรม การถ่ายเทความร้อนของผนังเปลือกอาคาร .Paper presented at the การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, จังหวัดชลบุรี .

ณัฐกานต์ เกษประทุม) .2543). พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก . (สถาปัตยกรรม ปริญญาโท), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .Retrieved from http://ezproxy.car.chula.ac.th:2074/handle/123456789/5474

พันธุดา พุฒิไพโรจน์) .2557). *A to Z for energy nerd :* ศัพท์อาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ :: กรุงเทพฯ] .พุฒิไพโรจน์ พันธุดา / .[ศิลปากร

พันธุดา พุฒิไพโรจน์) .2558). การออกแบบอาคารประหยัดพลังงานไม่ยากอย่างที่คิด พุฒิ พันธุดา / .[มหาวิทยาลัยศิลปากร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ :: กรุงเทพฯ] .ไพโรจน์

ศรัณยู ไตรสาร, กฤดิ เทพเกลี้ยง, และ เชิดชัย สิทธิ) .2552). อิทธิพลของการใช้สารเปลี่ยนสถานะต่อพฤติกรรมทางความร้อนในโครงสร้างผนังอาคาร(วิศวกรรมเครื่องกล ปริญญาตรี) ., มหาลัยศรีปทุม, สำนักหอสมุดมหาลัยศรีปทุม .

สิริธัช อัศวโกสีย์) .2551). การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัตินวัตกรรมการผลิตวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยวิธีรูปร่างคงตัวเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน(วิศวกรรมเคมี ปริญญาโท) ., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .สำนักหอสมุด .Retrieved from

http://www.lib.ku.ac.th/KUthesis/2551/SiritouchAsa/index.html
สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา) .2549). เอกสารประกอบการสอนรายวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อนชื้น.ม :: .ท.ป.ม] .
.[.พ.ป

**ภาคผนวก**

**ภาคผนวก ก** ผลการตรวจวิเคราะห์ PCM35 ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry ภาษาไทย

**ภาคผนวก ข** ผลการตรวจวิเคราะห์ PCM35 ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry ภาษาอังกฤษ

**ภาคผนวก ค** ผลการวัดอุณหภูมิการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 มาใช้ลดการถ่ายเทความร้อนในการทดลอง ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 1

**ภาคผนวก ง** ผลการวัดอุณหภูมิการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 มาใช้ลดการถ่ายเทความร้อนในการทดลอง ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 2

**ภาคผนวก จ** ผลการวัดอุณหภูมิ ศึกษาความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs

มหาวิทยาลัยศิลปากร

**ภาคผนวก ก ผลการตรวจวิเคราะห์ PCM35 ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry ภาษาไทย**

ที่ วท 0306/2052

ถึง นายวิศรุต เอ็นดู

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานผลการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบตัวอย่าง พาราฟิน RT 35 (PCM 35) จากผู้ผลิต Rubitherm หมายเลขปฏิบัติการ L60/08386.1 จำนวน 1 ตัวอย่าง ตามคำร้องเลขรับ L60/08386 วันที่ 20 ธันวาคม 2560

พร้อมนี้ได้แนบผลการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ มาเพื่อทราบ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

13 กุมภาพันธ์ 2561

กองเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อุปโภค
โทรศัพท์ 0 2201 7211-2
โทรสาร 0 2201 7213
E-mail : chemistry@dss.go.th

แบบ วศ.1

# รายงานการทดสอบ

| ชื่อวัตถุตัวอย่าง | เครื่องหมาย / ตรา | หมายเลขปฏิบัติการ |
|---|---|---|
| พาราฟิน RT 35 (PCM 35)<br>จากผู้ผลิต Rubitherm | - | L60/08386.1 |

## ผลการทดสอบ

| | | |
|---|---|---|
| ความจุความร้อนจำเพาะที่ 35 องศาเซลเซียส<br>โปรดดูผลเทอร์โมแกรม หน้า 3/3 | 16.00 | จูลต่อกรัมเซลเซียส |

| | |
|---|---|
| ชื่อผู้ใช้บริการ | นายวิศรุต เอ็นดู |
| ที่อยู่ผู้ใช้บริการ | 15 เจริญนคร 9 ถนนเจริญนคร แขวงคลองต้นไทร เขตคลองสาน กรุงเทพมหานคร 10600 |
| ลักษณะตัวอย่าง | ของแข็งอ่อนตัวใสไม่มีสี |
| วันที่ทดสอบ | 29 ธันวาคม 2560 – 26 มกราคม 2561 |
| วิธีทดสอบ | ผลเทอร์โมแกรมของตัวอย่าง แสดงผลโดย Differential Scanning Calorimetry (DSC) |

ผู้รับรอง

(นางกิตติพร เหล่าแสงธรรม)
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

ผู้รายงาน

(นางสาวโอบเอื้อ อิ่มวิทยา)
นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ทดสอบ/สอบเทียบเท่านั้น ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง
ห้ามคัดถ่ายใบรับรองหรือรายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร

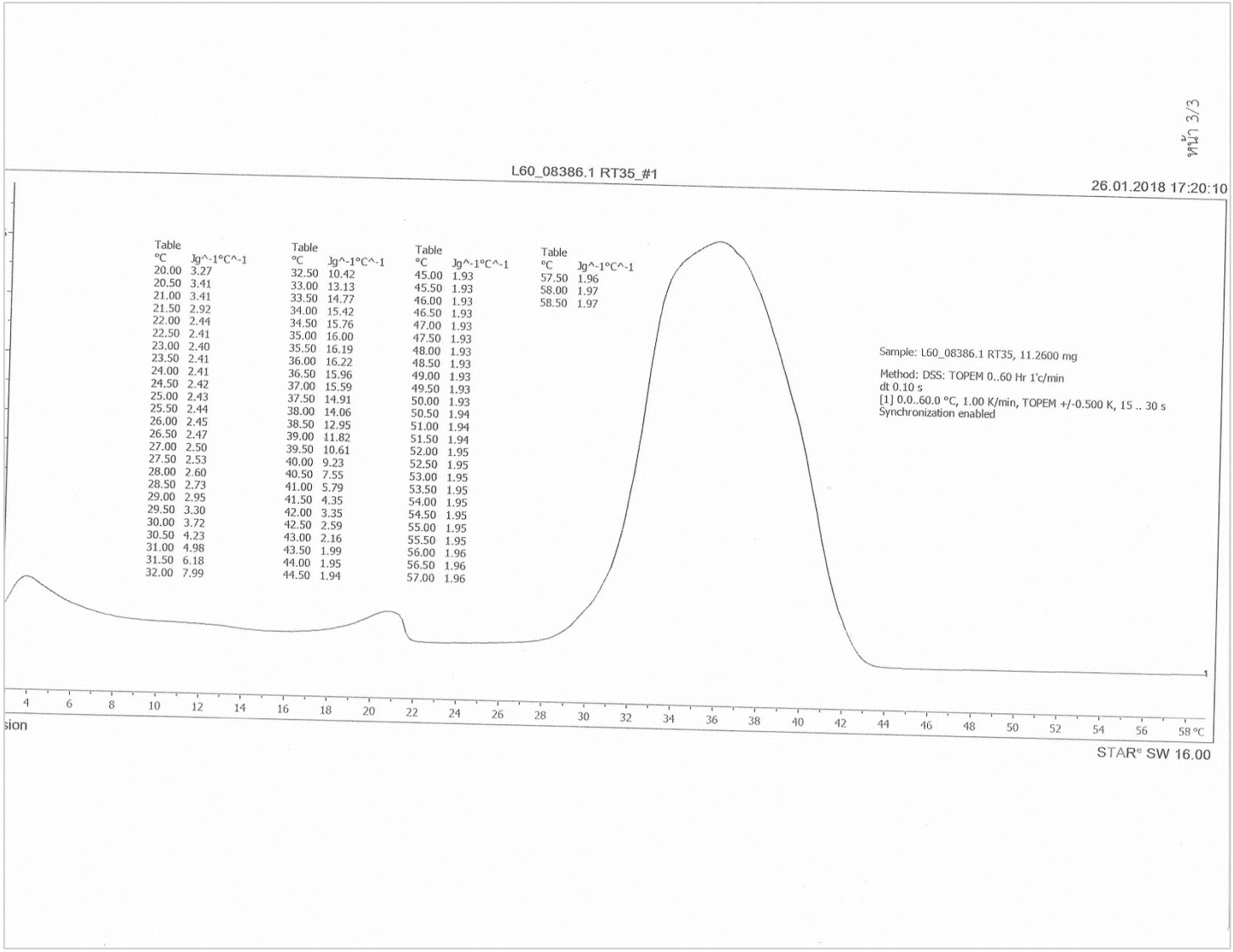



Table
| °C | Jg^-1°C^-1 |
|---|---|
| 20.00 | 3.27 |
| 20.50 | 3.41 |
| 21.00 | 3.41 |
| 21.50 | 2.92 |
| 22.00 | 2.44 |
| 22.50 | 2.41 |
| 23.00 | 2.40 |
| 23.50 | 2.41 |
| 24.00 | 2.41 |
| 24.50 | 2.42 |
| 25.00 | 2.43 |
| 25.50 | 2.44 |
| 26.00 | 2.45 |
| 26.50 | 2.47 |
| 27.00 | 2.50 |
| 27.50 | 2.53 |
| 28.00 | 2.60 |
| 28.50 | 2.73 |
| 29.00 | 2.95 |
| 29.50 | 3.30 |
| 30.00 | 3.72 |
| 30.50 | 4.23 |
| 31.00 | 4.98 |
| 31.50 | 6.18 |
| 32.00 | 7.99 |

Table
| °C | Jg^-1°C^-1 |
|---|---|
| 32.50 | 10.42 |
| 33.00 | 13.13 |
| 33.50 | 14.77 |
| 34.00 | 15.42 |
| 34.50 | 15.76 |
| 35.00 | 16.00 |
| 35.50 | 16.19 |
| 36.00 | 16.22 |
| 36.50 | 15.96 |
| 37.00 | 15.59 |
| 37.50 | 14.91 |
| 38.00 | 14.06 |
| 38.50 | 12.95 |
| 39.00 | 11.82 |
| 39.50 | 10.61 |
| 40.00 | 9.23 |
| 40.50 | 7.55 |
| 41.00 | 5.79 |
| 41.50 | 4.35 |
| 42.00 | 3.35 |
| 42.50 | 2.59 |
| 43.00 | 2.16 |
| 43.50 | 1.99 |
| 44.00 | 1.95 |
| 44.50 | 1.94 |

Table
| °C | Jg^-1°C^-1 |
|---|---|
| 45.00 | 1.93 |
| 45.50 | 1.93 |
| 46.00 | 1.93 |
| 46.50 | 1.93 |
| 47.00 | 1.93 |
| 47.50 | 1.93 |
| 48.00 | 1.93 |
| 48.50 | 1.93 |
| 49.00 | 1.93 |
| 49.50 | 1.93 |
| 50.00 | 1.93 |
| 50.50 | 1.94 |
| 51.00 | 1.94 |
| 51.50 | 1.94 |
| 52.00 | 1.95 |
| 52.50 | 1.95 |
| 53.00 | 1.95 |
| 53.50 | 1.95 |
| 54.00 | 1.95 |
| 54.50 | 1.95 |
| 55.00 | 1.95 |
| 55.50 | 1.95 |
| 56.00 | 1.96 |
| 56.50 | 1.96 |
| 57.00 | 1.96 |

Table
| °C | Jg^-1°C^-1 |
|---|---|
| 57.50 | 1.96 |
| 58.00 | 1.97 |
| 58.50 | 1.97 |

**ภาคผนวก ข ผลการตรวจวิเคราะห์ PCM35 ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry ภาษาอังกฤษ**

No. 0306/ 2052

To Mr. Visarut Endoo

The Department of Science Service presents the test report for the sample named "Paraffin RT 35 (PCM 35) from the manufacturer Rubitherm" Laboratory No. L60/08386.1 as the total of 1 sample with reference to the request No. L60/08386 dated 20 December 2017.

Enclosed herewith the following result avails for your acknowledgement.

13 February 2018

Division of Chemicals and Consumer Products
Tel. 0 2201 7211-2
Fax 0 2201 7213
E-mail : chemistry@dss.go.th

Certified True Translation
P Jamkrajang
(Mrs. Phayia Jamkrajang)
Chief, Registration Sub-Division

แบบ วศ.7

Department of Science Service

# TEST REPORT

| Sample's name | Mark / Brand | Laboratory No. |
|---|---|---|
| Paraffin RT 35 (PCM 35)<br>from the manufacturer Rubitherm | - | L60/08386.1 |

## Test Result

Specific heat capacity @t 35 °C 16.00 J/g°C

Please see the thermogram on page 3/3.

| | |
|---|---|
| Customer's name | Mr. Visarut Endoo |
| Customer's address | 15 Charoennakorn 9 Charoennakorn Rd., Khlongtonsai, Khlongsan, Bangkok 10600 |
| Sample's description | Colorless soft solid. |
| Test date | 29 December 2017 – 26 January 2018 |
| Test method | The thermogram of the sample was determined by Differential Scanning Calorimetry (DSC). |

Approved by
(Sgd.) Kittiporn Laosangthum
(Mrs. Kittiporn Laosangthum)
Scientist, Senior Professional Level

Reported by
(Sgd.) Aopeau Imvittaya
(Ms. Aopeau Imvittaya)
Scientist, Practitioner Level

Certified True Translation
P Jamkrajang
(Mrs. Phayia Jamkrajang)
Chief, Registration Sub-Division

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be reproduced or shall not manifest partially without the written permission of the Department of Science Service.

L60_08386.1 RT35_#1

26.01.2018 17:20:10

| Table | | Table | | Table | | Table | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| °C | Jg^-1°C^-1 | °C | Jg^-1°C^-1 | °C | Jg^-1°C^-1 | °C | Jg^-1°C^-1 |
| 20.00 | 3.27 | 32.50 | 10.42 | 45.00 | 1.93 | 57.50 | 1.96 |
| 20.50 | 3.41 | 33.00 | 13.13 | 45.50 | 1.93 | 58.00 | 1.97 |
| 21.00 | 3.41 | 33.50 | 14.77 | 46.00 | 1.93 | 58.50 | 1.97 |
| 21.50 | 2.92 | 34.00 | 15.42 | 46.50 | 1.93 | | |
| 22.00 | 2.44 | 34.50 | 15.76 | 47.00 | 1.93 | | |
| 22.50 | 2.41 | 35.00 | 16.00 | 47.50 | 1.93 | | |
| 23.00 | 2.40 | 35.50 | 16.19 | 48.00 | 1.93 | | |
| 23.50 | 2.41 | 36.00 | 16.22 | 48.50 | 1.93 | | |
| 24.00 | 2.41 | 36.50 | 15.96 | 49.00 | 1.93 | | |
| 24.50 | 2.42 | 37.00 | 15.59 | 49.50 | 1.93 | | |
| 25.00 | 2.43 | 37.50 | 14.91 | 50.00 | 1.93 | | |
| 25.50 | 2.44 | 38.00 | 14.06 | 50.50 | 1.94 | | |
| 26.00 | 2.45 | 38.50 | 12.95 | 51.00 | 1.94 | | |
| 26.50 | 2.47 | 39.00 | 11.82 | 51.50 | 1.94 | | |
| 27.00 | 2.50 | 39.50 | 10.61 | 52.00 | 1.95 | | |
| 27.50 | 2.53 | 40.00 | 9.23 | 52.50 | 1.95 | | |
| 28.00 | 2.60 | 40.50 | 7.55 | 53.00 | 1.95 | | |
| 28.50 | 2.73 | 41.00 | 5.79 | 53.50 | 1.95 | | |
| 29.00 | 2.95 | 41.50 | 4.35 | 54.00 | 1.95 | | |
| 29.50 | 3.30 | 42.00 | 3.35 | 54.50 | 1.95 | | |
| 30.00 | 3.72 | 42.50 | 2.59 | 55.00 | 1.95 | | |
| 30.50 | 4.23 | 43.00 | 2.16 | 55.50 | 1.95 | | |
| 31.00 | 4.98 | 43.50 | 1.99 | 56.00 | 1.96 | | |
| 31.50 | 6.18 | 44.00 | 1.95 | 56.50 | 1.96 | | |
| 32.00 | 7.99 | 44.50 | 1.94 | 57.00 | 1.96 | | |

Sample: L60_08386.1 RT35, 11.2600 mg

Method: DSS: TOPEM 0..60 Hr 1'c/min
dt 0.10 s
[1] 0.0..60.0 °C, 1.00 K/min, TOPEM +/-0.500 K, 15 .. 30 s
Synchronization enabled

4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 °C

ion

STARe SW 16.00

**ภาคผนวก ค ผลการวัดอุณหภูมิการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 มาใช้ลดการถ่ายเทความร้อนในการทดลอง ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 1**

**อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560**

**ตารางที่ ค-1.** แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 29.10 | 27.10 | 29.20 |
| 12:10:00 AM | 28.80 | 27.00 | 29.20 |
| 12:20:00 AM | 28.80 | 27.00 | 29.10 |
| 12:30:00 AM | 28.40 | 27.00 | 29.00 |
| 12:40:00 AM | 28.60 | 27.00 | 29.00 |
| 12:50:00 AM | 28.60 | 26.90 | 28.90 |
| 1:00:00 AM | 28.30 | 26.90 | 28.90 |
| 1:10:00 AM | 28.40 | 26.90 | 28.80 |
| 1:20:00 AM | 28.20 | 26.90 | 28.70 |
| 1:30:00 AM | 28.30 | 26.90 | 28.70 |
| 1:40:00 AM | 28.60 | 26.90 | 28.70 |
| 1:50:00 AM | 28.60 | 26.90 | 28.60 |
| 2:00:00 AM | 28.70 | 26.90 | 28.50 |
| 2:10:00 AM | 28.40 | 26.90 | 28.50 |
| 2:20:00 AM | 28.40 | 26.90 | 28.50 |
| 2:30:00 AM | 28.20 | 26.90 | 28.50 |
| 2:40:00 AM | 28.20 | 26.80 | 28.40 |
| 2:50:00 AM | 27.50 | 26.80 | 28.40 |
| 3:00:00 AM | 27.80 | 26.80 | 28.40 |
| 3:10:00 AM | 27.90 | 26.70 | 28.30 |
| 3:20:00 AM | 27.50 | 26.70 | 28.20 |
| 3:30:00 AM | 27.40 | 26.70 | 28.20 |
| 3:40:00 AM | 27.20 | 26.70 | 28.10 |
| 3:50:00 AM | 27.10 | 26.70 | 28.10 |
| 4:00:00 AM | 27.00 | 26.60 | 28.00 |
| 4:10:00 AM | 26.70 | 26.60 | 28.00 |
| 4:20:00 AM | 27.00 | 26.60 | 27.90 |
| 4:30:00 AM | 26.50 | 26.50 | 27.90 |
| 4:40:00 AM | 26.20 | 26.40 | 27.80 |
| 4:50:00 AM | 26.10 | 26.40 | 27.70 |
| 5:00:00 AM | 26.20 | 26.30 | 27.60 |
| 5:10:00 AM | 26.70 | 26.20 | 27.60 |
| 5:20:00 AM | 26.40 | 26.10 | 27.50 |
| 5:30:00 AM | 26.40 | 26.10 | 27.30 |
| 5:40:00 AM | 26.80 | 26.00 | 27.40 |
| 5:50:00 AM | 26.30 | 25.90 | 27.30 |
| 6:00:00 AM | 26.20 | 25.90 | 27.20 |
| 6:10:00 AM | 26.60 | 25.90 | 27.20 |
| 6:20:00 AM | 26.30 | 25.80 | 27.10 |
| 6:30:00 AM | 26.30 | 25.70 | 27.10 |
| 6:40:00 AM | 26.70 | 25.70 | 27.00 |
| 6:50:00 AM | 26.70 | 25.70 | 27.00 |

**ตารางที่ ค-1** แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 7:00:00 AM | 27.00 | 25.70 | 26.90 |
| 7:10:00 AM | 27.30 | 25.70 | 27.00 |
| 7:20:00 AM | 27.50 | 25.80 | 27.00 |
| 7:30:00 AM | 27.60 | 25.80 | 27.00 |
| 7:40:00 AM | 27.90 | 25.90 | 27.10 |
| 7:50:00 AM | 29.00 | 26.10 | 27.20 |
| 8:00:00 AM | 30.00 | 26.20 | 27.30 |
| 8:10:00 AM | 30.40 | 26.40 | 27.40 |
| 8:20:00 AM | 31.20 | 26.60 | 27.70 |
| 8:30:00 AM | 32.00 | 26.90 | 27.90 |
| 8:40:00 AM | 32.20 | 27.20 | 28.10 |
| 8:50:00 AM | 33.20 | 27.60 | 28.40 |
| 9:00:00 AM | 32.80 | 27.90 | 28.70 |
| 9:10:00 AM | 33.50 | 28.20 | 29.00 |
| 9:20:00 AM | 34.30 | 28.60 | 29.20 |
| 9:30:00 AM | 33.70 | 28.90 | 29.60 |
| 9:40:00 AM | 33.80 | 29.20 | 29.90 |
| 9:50:00 AM | 33.70 | 29.60 | 30.20 |
| 10:00:00 AM | 33.70 | 29.80 | 30.50 |
| 10:10:00 AM | 33.70 | 30.10 | 30.80 |
| 10:20:00 AM | 34.80 | 30.40 | 31.10 |
| 10:30:00 AM | 32.50 | 30.60 | 31.50 |
| 10:40:00 AM | 32.50 | 30.80 | 31.70 |
| 10:50:00 AM | 32.90 | 30.90 | 32.00 |
| 11:00:00 AM | 33.00 | 31.00 | 32.30 |
| 11:10:00 AM | 34.60 | 31.10 | 32.60 |
| 11:20:00 AM | 34.30 | 31.20 | 32.80 |
| 11:30:00 AM | 33.90 | 31.40 | 33.10 |
| 11:40:00 AM | 33.30 | 31.50 | 33.40 |
| 11:50:00 AM | 36.40 | 31.70 | 33.70 |
| 12:00:00 PM | 35.40 | 31.90 | 34.10 |
| 12:10:00 PM | 34.60 | 32.20 | 34.50 |
| 12:20:00 PM | 34.20 | 32.50 | 34.90 |
| 12:30:00 PM | 33.70 | 32.60 | 35.30 |
| 12:40:00 PM | 33.20 | 32.60 | 35.50 |
| 12:50:00 PM | 33.20 | 32.70 | 35.70 |
| 1:00:00 PM | 34.40 | 32.70 | 35.80 |
| 1:10:00 PM | 33.30 | 32.90 | 36.00 |
| 1:20:00 PM | 32.20 | 32.90 | 36.20 |
| 1:30:00 PM | 34.00 | 33.00 | 36.30 |
| 1:40:00 PM | 32.10 | 32.90 | 36.40 |
| 1:50:00 PM | 32.00 | 32.90 | 36.50 |
| 2:00:00 PM | 33.90 | 32.90 | 36.60 |
| 2:10:00 PM | 34.40 | 32.80 | 36.60 |
| 2:20:00 PM | 34.20 | 32.90 | 36.70 |
| 2:30:00 PM | 32.80 | 33.00 | 36.80 |
| 2:40:00 PM | 32.40 | 33.00 | 36.90 |
| 2:50:00 PM | 33.90 | 33.00 | 37.00 |

**ตารางที่ ค-1** แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 3:00:00 PM | 33.80 | 33.10 | 37.10 |
| 3:10:00 PM | 33.00 | 33.20 | 37.10 |
| 3:20:00 PM | 32.40 | 33.30 | 37.30 |
| 3:30:00 PM | 32.60 | 33.20 | 37.30 |
| 3:40:00 PM | 32.20 | 33.10 | 37.10 |
| 3:50:00 PM | 31.60 | 33.00 | 37.00 |
| 4:00:00 PM | 31.90 | 32.80 | 36.80 |
| 4:10:00 PM | 31.30 | 32.60 | 36.50 |
| 4:20:00 PM | 31.00 | 32.40 | 36.30 |
| 4:30:00 PM | 30.80 | 32.20 | 36.00 |
| 4:40:00 PM | 30.60 | 32.00 | 35.70 |
| 4:50:00 PM | 30.50 | 31.80 | 35.40 |
| 5:00:00 PM | 30.50 | 31.60 | 35.20 |
| 5:10:00 PM | 30.20 | 31.40 | 34.90 |
| 5:20:00 PM | 30.40 | 31.20 | 34.70 |
| 5:30:00 PM | 30.20 | 31.00 | 34.40 |
| 5:40:00 PM | 29.90 | 30.90 | 34.10 |
| 5:50:00 PM | 30.00 | 30.60 | 33.90 |
| 6:00:00 PM | 30.00 | 30.50 | 33.70 |
| 6:10:00 PM | 30.00 | 30.30 | 33.40 |
| 6:20:00 PM | 29.90 | 30.10 | 33.20 |
| 6:30:00 PM | 29.90 | 30.00 | 33.10 |
| 6:40:00 PM | 29.80 | 29.80 | 32.80 |
| 6:50:00 PM | 29.80 | 29.80 | 32.70 |
| 7:00:00 PM | 29.80 | 29.60 | 32.50 |
| 7:10:00 PM | 29.80 | 29.50 | 32.40 |
| 7:20:00 PM | 29.80 | 29.40 | 32.30 |
| 7:30:00 PM | 29.60 | 29.20 | 32.10 |
| 7:40:00 PM | 29.70 | 29.20 | 32.00 |
| 7:50:00 PM | 29.60 | 29.10 | 31.80 |
| 8:00:00 PM | 29.70 | 29.10 | 31.70 |
| 8:10:00 PM | 29.50 | 29.00 | 31.60 |
| 8:20:00 PM | 29.40 | 28.80 | 31.50 |
| 8:30:00 PM | 29.40 | 28.70 | 31.40 |
| 8:40:00 PM | 29.40 | 28.70 | 31.20 |
| 8:50:00 PM | 29.30 | 28.60 | 31.20 |
| 9:00:00 PM | 29.20 | 28.50 | 31.10 |
| 9:10:00 PM | 29.10 | 28.50 | 30.90 |
| 9:20:00 PM | 29.00 | 28.50 | 30.90 |
| 9:30:00 PM | 29.00 | 28.30 | 30.70 |
| 9:40:00 PM | 28.90 | 28.30 | 30.70 |
| 9:50:00 PM | 28.80 | 28.20 | 30.50 |
| 10:00:00 PM | 28.80 | 28.10 | 30.50 |
| 10:10:00 PM | 28.70 | 28.10 | 30.40 |
| 10:20:00 PM | 28.70 | 28.00 | 30.30 |
| 10:30:00 PM | 28.90 | 27.90 | 30.20 |
| 10:40:00 PM | 29.00 | 27.70 | 30.10 |
| 10:50:00 PM | 29.10 | 27.80 | 30.00 |

**ตารางที่ ค-1** แสดงผลอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 11:00:00 PM | 28.50 | 27.70 | 29.90 |
| 11:10:00 PM | 28.70 | 27.70 | 29.80 |
| 11:20:00 PM | 29.00 | 27.70 | 29.80 |
| 11:30:00 PM | 28.60 | 27.50 | 29.60 |
| 11:40:00 PM | 28.60 | 27.60 | 29.60 |
| 11:50:00 PM | 28.70 | 27.50 | 29.50 |

**อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560**

**ตารางที่ ค-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 29.10 | 27.10 | 29.20 |
| 12:10:00 AM | 28.80 | 27.00 | 29.20 |
| 12:20:00 AM | 28.80 | 27.00 | 29.10 |
| 12:30:00 AM | 28.40 | 27.00 | 29.00 |
| 12:40:00 AM | 28.60 | 27.00 | 29.00 |
| 12:50:00 AM | 28.60 | 26.90 | 28.90 |
| 1:00:00 AM | 28.30 | 26.90 | 28.90 |
| 1:10:00 AM | 28.40 | 26.90 | 28.80 |
| 1:20:00 AM | 28.20 | 26.90 | 28.70 |
| 1:30:00 AM | 28.30 | 26.90 | 28.70 |
| 1:40:00 AM | 28.60 | 26.90 | 28.70 |
| 1:50:00 AM | 28.60 | 26.90 | 28.60 |
| 2:00:00 AM | 28.70 | 26.90 | 28.50 |
| 2:10:00 AM | 28.40 | 26.90 | 28.50 |
| 2:20:00 AM | 28.40 | 26.90 | 28.50 |
| 2:30:00 AM | 28.20 | 26.90 | 28.50 |
| 2:40:00 AM | 28.20 | 26.80 | 28.40 |
| 2:50:00 AM | 27.50 | 26.80 | 28.40 |
| 3:00:00 AM | 27.80 | 26.80 | 28.40 |
| 3:10:00 AM | 27.90 | 26.70 | 28.30 |
| 3:20:00 AM | 27.50 | 26.70 | 28.20 |
| 3:30:00 AM | 27.40 | 26.70 | 28.20 |
| 3:40:00 AM | 27.20 | 26.70 | 28.10 |
| 3:50:00 AM | 27.10 | 26.70 | 28.10 |
| 4:00:00 AM | 27.00 | 26.60 | 28.00 |
| 4:10:00 AM | 26.70 | 26.60 | 28.00 |
| 4:20:00 AM | 27.00 | 26.60 | 27.90 |
| 4:30:00 AM | 26.50 | 26.50 | 27.90 |
| 4:40:00 AM | 26.20 | 26.40 | 27.80 |
| 4:50:00 AM | 26.10 | 26.40 | 27.70 |
| 5:00:00 AM | 26.20 | 26.30 | 27.60 |
| 5:10:00 AM | 26.70 | 26.20 | 27.60 |
| 5:20:00 AM | 26.40 | 26.10 | 27.50 |
| 5:30:00 AM | 26.40 | 26.10 | 27.30 |
| 5:40:00 AM | 26.80 | 26.00 | 27.40 |
| 5:50:00 AM | 26.30 | 25.90 | 27.30 |
| 6:00:00 AM | 26.20 | 25.90 | 27.20 |
| 6:10:00 AM | 26.60 | 25.90 | 27.20 |
| 6:20:00 AM | 26.30 | 25.80 | 27.10 |
| 6:30:00 AM | 26.30 | 25.70 | 27.10 |
| 6:40:00 AM | 26.70 | 25.70 | 27.00 |
| 6:50:00 AM | 26.70 | 25.70 | 27.00 |
| 7:00:00 AM | 27.00 | 25.70 | 26.90 |
| 7:10:00 AM | 27.30 | 25.70 | 27.00 |
| 7:20:00 AM | 27.50 | 25.80 | 27.00 |
| 7:30:00 AM | 27.60 | 25.80 | 27.00 |
| 7:40:00 AM | 27.90 | 25.90 | 27.10 |
| 7:50:00 AM | 29.00 | 26.10 | 27.20 |

**ตารางที่ ค-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 8:00:00 AM | 30.00 | 26.20 | 27.30 |
| 8:10:00 AM | 30.40 | 26.40 | 27.40 |
| 8:20:00 AM | 31.20 | 26.60 | 27.70 |
| 8:30:00 AM | 32.00 | 26.90 | 27.90 |
| 8:40:00 AM | 32.20 | 27.20 | 28.10 |
| 8:50:00 AM | 33.20 | 27.60 | 28.40 |
| 9:00:00 AM | 32.80 | 27.90 | 28.70 |
| 9:10:00 AM | 33.50 | 28.20 | 29.00 |
| 9:20:00 AM | 34.30 | 28.60 | 29.20 |
| 9:30:00 AM | 33.70 | 28.90 | 29.60 |
| 9:40:00 AM | 33.80 | 29.20 | 29.90 |
| 9:50:00 AM | 33.70 | 29.60 | 30.20 |
| 10:00:00 AM | 33.70 | 29.80 | 30.50 |
| 10:10:00 AM | 33.70 | 30.10 | 30.80 |
| 10:20:00 AM | 34.80 | 30.40 | 31.10 |
| 10:30:00 AM | 32.50 | 30.60 | 31.50 |
| 10:40:00 AM | 32.50 | 30.80 | 31.70 |
| 10:50:00 AM | 32.90 | 30.90 | 32.00 |
| 11:00:00 AM | 33.00 | 31.00 | 32.30 |
| 11:10:00 AM | 34.60 | 31.10 | 32.60 |
| 11:20:00 AM | 34.30 | 31.20 | 32.80 |
| 11:30:00 AM | 33.90 | 31.40 | 33.10 |
| 11:40:00 AM | 33.30 | 31.50 | 33.40 |
| 11:50:00 AM | 36.40 | 31.70 | 33.70 |
| 12:00:00 PM | 35.40 | 31.90 | 34.10 |
| 12:10:00 PM | 34.60 | 32.20 | 34.50 |
| 12:20:00 PM | 34.20 | 32.50 | 34.90 |
| 12:30:00 PM | 33.70 | 32.60 | 35.30 |
| 12:40:00 PM | 33.20 | 32.60 | 35.50 |
| 12:50:00 PM | 33.20 | 32.70 | 35.70 |
| 1:00:00 PM | 34.40 | 32.70 | 35.80 |
| 1:10:00 PM | 33.30 | 32.90 | 36.00 |
| 1:20:00 PM | 32.20 | 32.90 | 36.20 |
| 1:30:00 PM | 34.00 | 33.00 | 36.30 |
| 1:40:00 PM | 32.10 | 32.90 | 36.40 |
| 1:50:00 PM | 32.00 | 32.90 | 36.50 |
| 2:00:00 PM | 33.90 | 32.90 | 36.60 |
| 2:10:00 PM | 34.40 | 32.80 | 36.60 |
| 2:20:00 PM | 34.20 | 32.90 | 36.70 |
| 2:30:00 PM | 32.80 | 33.00 | 36.80 |
| 2:40:00 PM | 32.40 | 33.00 | 36.90 |
| 2:50:00 PM | 33.90 | 33.00 | 37.00 |
| 3:00:00 PM | 33.80 | 33.10 | 37.10 |
| 3:10:00 PM | 33.00 | 33.20 | 37.10 |
| 3:20:00 PM | 32.40 | 33.30 | 37.30 |
| 3:30:00 PM | 32.60 | 33.20 | 37.30 |
| 3:40:00 PM | 32.20 | 33.10 | 37.10 |
| 3:50:00 PM | 31.60 | 33.00 | 37.00 |

**ตารางที่ ค-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 4:00:00 PM | 31.90 | 32.80 | 36.80 |
| 4:10:00 PM | 31.30 | 32.60 | 36.50 |
| 4:20:00 PM | 31.00 | 32.40 | 36.30 |
| 4:30:00 PM | 30.80 | 32.20 | 36.00 |
| 4:40:00 PM | 30.60 | 32.00 | 35.70 |
| 4:50:00 PM | 30.50 | 31.80 | 35.40 |
| 5:00:00 PM | 30.50 | 31.60 | 35.20 |
| 5:10:00 PM | 30.20 | 31.40 | 34.90 |
| 5:20:00 PM | 30.40 | 31.20 | 34.70 |
| 5:30:00 PM | 30.20 | 31.00 | 34.40 |
| 5:40:00 PM | 29.90 | 30.90 | 34.10 |
| 5:50:00 PM | 30.00 | 30.60 | 33.90 |
| 6:00:00 PM | 30.00 | 30.50 | 33.70 |
| 6:10:00 PM | 30.00 | 30.30 | 33.40 |
| 6:20:00 PM | 29.90 | 30.10 | 33.20 |
| 6:30:00 PM | 29.90 | 30.00 | 33.10 |
| 6:40:00 PM | 29.80 | 29.80 | 32.80 |
| 6:50:00 PM | 29.80 | 29.80 | 32.70 |
| 7:00:00 PM | 29.80 | 29.60 | 32.50 |
| 7:10:00 PM | 29.80 | 29.50 | 32.40 |
| 7:20:00 PM | 29.80 | 29.40 | 32.30 |
| 7:30:00 PM | 29.60 | 29.20 | 32.10 |
| 7:40:00 PM | 29.70 | 29.20 | 32.00 |
| 7:50:00 PM | 29.60 | 29.10 | 31.80 |
| 8:00:00 PM | 29.70 | 29.10 | 31.70 |
| 8:10:00 PM | 29.50 | 29.00 | 31.60 |
| 8:20:00 PM | 29.40 | 28.80 | 31.50 |
| 8:30:00 PM | 29.40 | 28.70 | 31.40 |
| 8:40:00 PM | 29.40 | 28.70 | 31.20 |
| 8:50:00 PM | 29.30 | 28.60 | 31.20 |
| 9:00:00 PM | 29.20 | 28.50 | 31.10 |
| 9:10:00 PM | 29.10 | 28.50 | 30.90 |
| 9:20:00 PM | 29.00 | 28.50 | 30.90 |
| 9:30:00 PM | 29.00 | 28.30 | 30.70 |
| 9:40:00 PM | 28.90 | 28.30 | 30.70 |
| 9:50:00 PM | 28.80 | 28.20 | 30.50 |
| 10:00:00 PM | 28.80 | 28.10 | 30.50 |
| 10:10:00 PM | 28.70 | 28.10 | 30.40 |
| 10:20:00 PM | 28.70 | 28.00 | 30.30 |
| 10:30:00 PM | 28.90 | 27.90 | 30.20 |
| 10:40:00 PM | 29.00 | 27.70 | 30.10 |
| 10:50:00 PM | 29.10 | 27.80 | 30.00 |
| 11:00:00 PM | 28.50 | 27.70 | 29.90 |
| 11:10:00 PM | 28.70 | 27.70 | 29.80 |
| 11:20:00 PM | 29.00 | 27.70 | 29.80 |
| 11:30:00 PM | 28.60 | 27.50 | 29.60 |
| 11:40:00 PM | 28.60 | 27.60 | 29.60 |
| 11:50:00 PM | 28.70 | 27.50 | 29.50 |

**อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560**

**ตารางที่ ค-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 29.10 | 27.30 | 28.80 |
| 12:10:00 AM | 28.80 | 27.30 | 28.70 |
| 12:20:00 AM | 28.80 | 27.30 | 28.60 |
| 12:30:00 AM | 28.40 | 27.20 | 28.60 |
| 12:40:00 AM | 28.60 | 27.20 | 28.60 |
| 12:50:00 AM | 28.60 | 27.20 | 28.50 |
| 1:00:00 AM | 28.30 | 27.20 | 28.50 |
| 1:10:00 AM | 28.40 | 27.10 | 28.40 |
| 1:20:00 AM | 28.20 | 27.10 | 28.40 |
| 1:30:00 AM | 28.30 | 27.10 | 28.30 |
| 1:40:00 AM | 28.60 | 27.20 | 28.30 |
| 1:50:00 AM | 28.60 | 27.20 | 28.30 |
| 2:00:00 AM | 28.70 | 27.10 | 28.30 |
| 2:10:00 AM | 28.40 | 27.10 | 28.20 |
| 2:20:00 AM | 28.40 | 27.10 | 28.20 |
| 2:30:00 AM | 28.20 | 27.10 | 28.10 |
| 2:40:00 AM | 28.20 | 27.10 | 28.10 |
| 2:50:00 AM | 27.50 | 27.00 | 28.10 |
| 3:00:00 AM | 27.80 | 27.00 | 28.00 |
| 3:10:00 AM | 27.90 | 26.90 | 27.90 |
| 3:20:00 AM | 27.50 | 26.90 | 27.90 |
| 3:30:00 AM | 27.40 | 26.80 | 27.80 |
| 3:40:00 AM | 27.20 | 26.80 | 27.70 |
| 3:50:00 AM | 27.10 | 26.70 | 27.60 |
| 4:00:00 AM | 27.00 | 26.70 | 27.50 |
| 4:10:00 AM | 26.70 | 26.60 | 27.50 |
| 4:20:00 AM | 27.00 | 26.50 | 27.40 |
| 4:30:00 AM | 26.50 | 26.40 | 27.40 |
| 4:40:00 AM | 26.20 | 26.30 | 27.30 |
| 4:50:00 AM | 26.10 | 26.30 | 27.20 |
| 5:00:00 AM | 26.20 | 26.20 | 27.10 |
| 5:10:00 AM | 26.70 | 26.10 | 27.00 |
| 5:20:00 AM | 26.40 | 26.00 | 27.00 |
| 5:30:00 AM | 26.40 | 26.00 | 26.90 |
| 5:40:00 AM | 26.80 | 26.00 | 26.90 |
| 5:50:00 AM | 26.30 | 25.90 | 26.80 |
| 6:00:00 AM | 26.20 | 25.90 | 26.80 |
| 6:10:00 AM | 26.60 | 25.80 | 26.70 |
| 6:20:00 AM | 26.30 | 25.70 | 26.60 |
| 6:30:00 AM | 26.30 | 25.70 | 26.60 |
| 6:40:00 AM | 26.70 | 25.70 | 26.50 |
| 6:50:00 AM | 26.70 | 25.70 | 26.60 |
| 7:00:00 AM | 27.00 | 25.80 | 26.60 |
| 7:10:00 AM | 27.30 | 25.90 | 26.60 |
| 7:20:00 AM | 27.50 | 26.00 | 26.70 |
| 7:30:00 AM | 27.60 | 26.10 | 26.70 |
| 7:40:00 AM | 27.90 | 26.20 | 26.80 |
| 7:50:00 AM | 29.00 | 26.50 | 27.00 |

**ตารางที่ ค-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 8:00:00 AM | 30.00 | 26.70 | 27.30 |
| 8:10:00 AM | 30.40 | 27.20 | 27.60 |
| 8:20:00 AM | 31.20 | 27.40 | 27.90 |
| 8:30:00 AM | 32.00 | 27.70 | 28.20 |
| 8:40:00 AM | 32.20 | 28.10 | 28.50 |
| 8:50:00 AM | 33.20 | 28.40 | 28.80 |
| 9:00:00 AM | 32.80 | 28.80 | 29.20 |
| 9:10:00 AM | 33.50 | 29.30 | 29.50 |
| 9:20:00 AM | 34.30 | 29.60 | 29.80 |
| 9:30:00 AM | 33.70 | 30.00 | 30.20 |
| 9:40:00 AM | 33.80 | 30.30 | 30.60 |
| 9:50:00 AM | 33.70 | 30.70 | 30.90 |
| 10:00:00 AM | 33.70 | 30.80 | 31.20 |
| 10:10:00 AM | 33.70 | 31.20 | 31.50 |
| 10:20:00 AM | 34.80 | 31.50 | 32.00 |
| 10:30:00 AM | 32.50 | 31.50 | 32.20 |
| 10:40:00 AM | 32.50 | 31.50 | 32.20 |
| 10:50:00 AM | 32.90 | 31.50 | 32.40 |
| 11:00:00 AM | 33.00 | 31.60 | 32.60 |
| 11:10:00 AM | 34.60 | 32.00 | 32.90 |
| 11:20:00 AM | 34.30 | 32.30 | 33.30 |
| 11:30:00 AM | 33.90 | 32.40 | 33.50 |
| 11:40:00 AM | 33.30 | 32.20 | 33.60 |
| 11:50:00 AM | 36.40 | 33.00 | 34.10 |
| 12:00:00 PM | 35.40 | 33.30 | 34.70 |
| 12:10:00 PM | 34.60 | 33.40 | 35.00 |
| 12:20:00 PM | 34.20 | 33.40 | 35.10 |
| 12:30:00 PM | 33.70 | 33.30 | 35.20 |
| 12:40:00 PM | 33.20 | 33.20 | 35.20 |
| 12:50:00 PM | 33.20 | 33.10 | 35.30 |
| 1:00:00 PM | 34.40 | 33.60 | 35.60 |
| 1:10:00 PM | 33.30 | 33.90 | 35.80 |
| 1:20:00 PM | 32.20 | 33.50 | 35.80 |
| 1:30:00 PM | 34.00 | 33.60 | 35.90 |
| 1:40:00 PM | 32.10 | 33.50 | 35.90 |
| 1:50:00 PM | 32.00 | 33.20 | 35.90 |
| 2:00:00 PM | 33.90 | 33.40 | 35.90 |
| 2:10:00 PM | 34.40 | 33.40 | 36.00 |
| 2:20:00 PM | 34.20 | 33.50 | 36.20 |
| 2:30:00 PM | 32.80 | 33.50 | 36.10 |
| 2:40:00 PM | 32.40 | 33.40 | 36.20 |
| 2:50:00 PM | 33.90 | 33.50 | 36.30 |
| 3:00:00 PM | 33.80 | 33.60 | 36.30 |
| 3:10:00 PM | 33.00 | 33.60 | 36.40 |
| 3:20:00 PM | 32.40 | 33.50 | 36.40 |
| 3:30:00 PM | 32.60 | 33.30 | 36.30 |
| 3:40:00 PM | 32.20 | 33.20 | 36.00 |
| 3:50:00 PM | 31.60 | 33.00 | 35.80 |
| 4:00:00 PM | 31.90 | 32.80 | 35.50 |
| 4:10:00 PM | 31.30 | 32.50 | 35.30 |

**ตารางที่ ค-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่30 กันยายน – 2 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35 |
|---|---|---|---|
| 4:20:00 PM | 31.00 | 32.20 | 35.00 |
| 4:30:00 PM | 30.80 | 32.00 | 34.70 |
| 4:40:00 PM | 30.60 | 31.80 | 34.50 |
| 4:50:00 PM | 30.50 | 31.60 | 34.10 |
| 5:00:00 PM | 30.50 | 31.40 | 33.90 |
| 5:10:00 PM | 30.20 | 31.10 | 33.60 |
| 5:20:00 PM | 30.40 | 31.00 | 33.30 |
| 5:30:00 PM | 30.20 | 30.80 | 33.10 |
| 5:40:00 PM | 29.90 | 30.60 | 32.90 |
| 5:50:00 PM | 30.00 | 30.40 | 32.70 |
| 6:00:00 PM | 30.00 | 30.20 | 32.50 |
| 6:10:00 PM | 30.00 | 30.10 | 32.30 |
| 6:20:00 PM | 29.90 | 30.00 | 32.10 |
| 6:30:00 PM | 29.90 | 29.80 | 31.90 |
| 6:40:00 PM | 29.80 | 29.70 | 31.80 |
| 6:50:00 PM | 29.80 | 29.70 | 31.60 |
| 7:00:00 PM | 29.80 | 29.50 | 31.50 |
| 7:10:00 PM | 29.80 | 29.50 | 31.40 |
| 7:20:00 PM | 29.80 | 29.30 | 31.30 |
| 7:30:00 PM | 29.60 | 29.20 | 31.10 |
| 7:40:00 PM | 29.70 | 29.20 | 31.00 |
| 7:50:00 PM | 29.60 | 29.10 | 30.90 |
| 8:00:00 PM | 29.70 | 29.10 | 30.80 |
| 8:10:00 PM | 29.50 | 29.00 | 30.70 |
| 8:20:00 PM | 29.40 | 28.90 | 30.60 |
| 8:30:00 PM | 29.40 | 28.90 | 30.60 |
| 8:40:00 PM | 29.40 | 28.70 | 30.40 |
| 8:50:00 PM | 29.30 | 28.60 | 30.30 |
| 9:00:00 PM | 29.20 | 28.60 | 30.20 |
| 9:10:00 PM | 29.10 | 28.50 | 30.10 |
| 9:20:00 PM | 29.00 | 28.40 | 30.00 |
| 9:30:00 PM | 29.00 | 28.40 | 29.90 |
| 9:40:00 PM | 28.90 | 28.30 | 29.80 |
| 9:50:00 PM | 28.80 | 28.20 | 29.70 |
| 10:00:00 PM | 28.80 | 28.10 | 29.60 |
| 10:10:00 PM | 28.70 | 28.10 | 29.50 |
| 10:20:00 PM | 28.70 | 28.00 | 29.50 |
| 10:30:00 PM | 28.90 | 27.90 | 29.40 |
| 10:40:00 PM | 29.00 | 27.80 | 29.30 |
| 10:50:00 PM | 29.10 | 27.80 | 29.30 |
| 11:00:00 PM | 28.50 | 27.80 | 29.20 |
| 11:10:00 PM | 28.70 | 27.80 | 29.20 |
| 11:20:00 PM | 29.00 | 27.70 | 29.10 |
| 11:30:00 PM | 28.60 | 27.70 | 29.00 |
| 11:40:00 PM | 28.60 | 27.70 | 29.00 |
| 11:50:00 PM | 28.70 | 27.60 | 28.90 |

**ภาคผนวก ง ผลการวัดอุณหภูมิการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ PCM35 และ PCM55 มาใช้ลดการถ่ายเทความร้อนในการทดลอง ชุดการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในที่ 2**

**อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560**

**ตารางที่ ง-1** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 26.83 | 26.27 | 26.97 |
| 12:10:00 AM | 26.83 | 26.23 | 26.83 |
| 12:20:00 AM | 26.87 | 26.13 | 26.80 |
| 12:30:00 AM | 26.87 | 26.13 | 26.80 |
| 12:40:00 AM | 27.00 | 26.13 | 26.73 |
| 12:50:00 AM | 26.83 | 26.10 | 26.70 |
| 1:00:00 AM | 27.13 | 26.07 | 26.63 |
| 1:10:00 AM | 26.67 | 26.00 | 26.57 |
| 1:20:00 AM | 26.63 | 25.97 | 26.53 |
| 1:30:00 AM | 26.80 | 25.97 | 26.50 |
| 1:40:00 AM | 26.70 | 26.00 | 26.47 |
| 1:50:00 AM | 26.67 | 25.93 | 26.43 |
| 2:00:00 AM | 26.70 | 25.93 | 26.43 |
| 2:10:00 AM | 26.83 | 25.93 | 26.37 |
| 2:20:00 AM | 26.77 | 25.90 | 26.40 |
| 2:30:00 AM | 26.77 | 25.90 | 26.37 |
| 2:40:00 AM | 26.60 | 25.90 | 26.30 |
| 2:50:00 AM | 26.87 | 25.93 | 26.33 |
| 3:00:00 AM | 26.67 | 25.83 | 26.30 |
| 3:10:00 AM | 26.63 | 25.83 | 26.23 |
| 3:20:00 AM | 26.63 | 25.87 | 26.27 |
| 3:30:00 AM | 26.67 | 25.87 | 26.23 |
| 3:40:00 AM | 26.53 | 25.83 | 26.13 |
| 3:50:00 AM | 26.57 | 25.77 | 26.13 |
| 4:00:00 AM | 26.40 | 25.73 | 26.10 |
| 4:10:00 AM | 26.47 | 25.73 | 26.13 |
| 4:20:00 AM | 26.47 | 25.70 | 26.03 |
| 4:30:00 AM | 26.37 | 25.70 | 26.07 |
| 4:40:00 AM | 26.53 | 25.67 | 26.03 |
| 4:50:00 AM | 26.43 | 25.67 | 26.03 |
| 5:00:00 AM | 26.47 | 25.67 | 25.97 |
| 5:10:00 AM | 26.50 | 25.63 | 26.00 |
| 5:20:00 AM | 26.50 | 25.60 | 25.97 |
| 5:30:00 AM | 26.60 | 25.60 | 25.93 |
| 5:40:00 AM | 26.67 | 25.63 | 25.97 |
| 5:50:00 AM | 26.43 | 25.60 | 25.90 |
| 6:00:00 AM | 26.47 | 25.57 | 25.90 |
| 6:10:00 AM | 26.50 | 25.57 | 25.97 |
| 6:20:00 AM | 26.63 | 25.60 | 25.97 |
| 6:30:00 AM | 26.70 | 25.67 | 26.00 |
| 6:40:00 AM | 26.67 | 25.70 | 26.03 |
| 6:50:00 AM | 26.90 | 25.80 | 26.17 |
| 7:00:00 AM | 27.07 | 25.87 | 26.20 |
| 7:10:00 AM | 27.23 | 25.93 | 26.33 |

**ตารางที่ ง-1** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 7:20:00 AM | 27.43 | 26.07 | 26.47 |
| 7:30:00 AM | 27.67 | 26.20 | 26.67 |
| 7:40:00 AM | 27.87 | 26.40 | 26.73 |
| 7:50:00 AM | 28.10 | 26.50 | 26.93 |
| 8:00:00 AM | 28.27 | 26.63 | 27.03 |
| 8:10:00 AM | 28.50 | 26.87 | 27.30 |
| 8:20:00 AM | 28.87 | 27.20 | 27.53 |
| 8:30:00 AM | 29.83 | 27.60 | 27.93 |
| 8:40:00 AM | 30.00 | 27.80 | 28.37 |
| 8:50:00 AM | 30.77 | 28.27 | 28.80 |
| 9:00:00 AM | 30.53 | 28.47 | 28.87 |
| 9:10:00 AM | 30.60 | 28.70 | 29.20 |
| 9:20:00 AM | 30.67 | 28.90 | 29.57 |
| 9:30:00 AM | 31.97 | 29.50 | 30.23 |
| 9:40:00 AM | 31.97 | 29.77 | 30.43 |
| 9:50:00 AM | 32.43 | 30.20 | 30.87 |
| 10:00:00 AM | 32.83 | 30.60 | 31.37 |
| 10:10:00 AM | 33.03 | 30.90 | 32.10 |
| 10:20:00 AM | 34.23 | 31.63 | 32.43 |
| 10:30:00 AM | 34.17 | 31.93 | 32.63 |
| 10:40:00 AM | 33.80 | 32.07 | 32.70 |
| 10:50:00 AM | 32.43 | 31.63 | 32.57 |
| 11:00:00 AM | 34.33 | 32.37 | 33.20 |
| 11:10:00 AM | 35.30 | 32.93 | 34.07 |
| 11:20:00 AM | 34.90 | 33.07 | 34.47 |
| 11:30:00 AM | 34.20 | 33.07 | 34.37 |
| 11:40:00 AM | 34.23 | 33.00 | 34.63 |
| 11:50:00 AM | 33.43 | 32.80 | 34.30 |
| 12:00:00 PM | 33.80 | 32.77 | 34.40 |
| 12:10:00 PM | 34.00 | 32.83 | 34.83 |
| 12:20:00 PM | 35.30 | 33.57 | 35.63 |
| 12:30:00 PM | 35.90 | 34.00 | 36.10 |
| 12:40:00 PM | 34.97 | 34.10 | 36.30 |
| 12:50:00 PM | 36.07 | 34.53 | 36.37 |
| 1:00:00 PM | 34.73 | 34.13 | 36.53 |
| 1:10:00 PM | 34.63 | 34.17 | 36.13 |
| 1:20:00 PM | 32.73 | 33.67 | 35.27 |
| 1:30:00 PM | 31.87 | 32.97 | 34.87 |
| 1:40:00 PM | 32.17 | 32.77 | 35.17 |
| 1:50:00 PM | 33.33 | 33.17 | 35.57 |
| 2:00:00 PM | 33.53 | 33.30 | 36.00 |
| 2:10:00 PM | 32.73 | 33.07 | 35.57 |
| 2:20:00 PM | 33.87 | 33.53 | 36.10 |
| 2:30:00 PM | 32.97 | 33.20 | 35.37 |
| 2:40:00 PM | 32.47 | 32.77 | 35.03 |
| 2:50:00 PM | 32.43 | 32.67 | 34.87 |
| 3:00:00 PM | 32.23 | 32.37 | 34.73 |
| 3:10:00 PM | 32.07 | 32.17 | 34.57 |

**ตารางที่ ง-1** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 3:20:00 PM | 32.07 | 32.00 | 34.37 |
| 3:30:00 PM | 31.93 | 31.80 | 34.13 |
| 3:40:00 PM | 31.90 | 31.73 | 34.03 |
| 3:50:00 PM | 32.43 | 31.80 | 34.00 |
| 4:00:00 PM | 31.77 | 31.57 | 33.90 |
| 4:10:00 PM | 31.70 | 31.43 | 33.73 |
| 4:20:00 PM | 31.63 | 31.30 | 33.60 |
| 4:30:00 PM | 31.50 | 31.17 | 33.33 |
| 4:40:00 PM | 31.33 | 31.07 | 33.20 |
| 4:50:00 PM | 31.33 | 30.90 | 33.00 |
| 5:00:00 PM | 31.00 | 30.70 | 32.83 |
| 5:10:00 PM | 30.93 | 30.60 | 32.63 |
| 5:20:00 PM | 30.90 | 30.43 | 32.50 |
| 5:30:00 PM | 30.93 | 30.33 | 32.27 |
| 5:40:00 PM | 30.73 | 30.17 | 32.10 |
| 5:50:00 PM | 30.70 | 30.07 | 32.00 |
| 6:00:00 PM | 30.57 | 29.90 | 31.83 |
| 6:10:00 PM | 30.33 | 29.77 | 31.67 |
| 6:20:00 PM | 30.50 | 29.73 | 31.50 |
| 6:30:00 PM | 30.30 | 29.53 | 31.33 |
| 6:40:00 PM | 30.27 | 29.47 | 31.17 |
| 6:50:00 PM | 30.17 | 29.37 | 31.03 |
| 7:00:00 PM | 30.03 | 29.23 | 30.93 |
| 7:10:00 PM | 29.87 | 29.17 | 30.77 |
| 7:20:00 PM | 29.87 | 29.07 | 30.67 |
| 7:30:00 PM | 29.97 | 28.97 | 30.53 |
| 7:40:00 PM | 29.83 | 28.90 | 30.40 |
| 7:50:00 PM | 29.77 | 28.77 | 30.23 |
| 8:00:00 PM | 29.67 | 28.67 | 30.13 |
| 8:10:00 PM | 29.67 | 28.63 | 30.10 |
| 8:20:00 PM | 29.53 | 28.60 | 29.93 |
| 8:30:00 PM | 29.60 | 28.53 | 29.87 |
| 8:40:00 PM | 29.57 | 28.47 | 29.77 |
| 8:50:00 PM | 29.70 | 28.43 | 29.70 |
| 9:00:00 PM | 29.53 | 28.40 | 29.67 |
| 9:10:00 PM | 29.33 | 28.33 | 29.47 |
| 9:20:00 PM | 29.23 | 28.27 | 29.37 |
| 9:30:00 PM | 29.27 | 28.17 | 29.40 |
| 9:40:00 PM | 29.37 | 28.20 | 29.30 |
| 9:50:00 PM | 28.87 | 28.03 | 29.17 |
| 10:00:00 PM | 28.27 | 27.83 | 28.80 |
| 10:10:00 PM | 28.10 | 27.73 | 28.57 |
| 10:20:00 PM | 27.90 | 27.60 | 28.50 |
| 10:30:00 PM | 27.77 | 27.43 | 28.33 |
| 10:40:00 PM | 27.80 | 27.40 | 28.20 |
| 10:50:00 PM | 27.80 | 27.33 | 28.13 |
| 11:00:00 PM | 27.80 | 27.30 | 28.07 |
| 11:10:00 PM | 28.00 | 27.20 | 27.97 |

**ตารางที่ ง-1** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 11:20:00 PM | 27.70 | 27.17 | 27.93 |
| 11:30:00 PM | 27.77 | 27.13 | 27.87 |
| 11:40:00 PM | 27.87 | 27.10 | 27.83 |
| 11:50:00 PM | 28.03 | 27.07 | 27.83 |

**อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560**

**ตารางที่ ง-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 26.83 | 26.33 | 27.13 |
| 12:10:00 AM | 26.83 | 26.27 | 27.07 |
| 12:20:00 AM | 26.87 | 26.20 | 27.00 |
| 12:30:00 AM | 26.87 | 26.20 | 26.90 |
| 12:40:00 AM | 27.00 | 26.10 | 26.83 |
| 12:50:00 AM | 26.83 | 26.17 | 26.83 |
| 1:00:00 AM | 27.13 | 26.07 | 26.73 |
| 1:10:00 AM | 26.67 | 26.03 | 26.73 |
| 1:20:00 AM | 26.63 | 26.03 | 26.67 |
| 1:30:00 AM | 26.80 | 25.97 | 26.57 |
| 1:40:00 AM | 26.70 | 25.93 | 26.53 |
| 1:50:00 AM | 26.67 | 25.93 | 26.47 |
| 2:00:00 AM | 26.70 | 25.93 | 26.47 |
| 2:10:00 AM | 26.83 | 25.90 | 26.43 |
| 2:20:00 AM | 26.77 | 25.90 | 26.40 |
| 2:30:00 AM | 26.77 | 25.87 | 26.37 |
| 2:40:00 AM | 26.60 | 25.87 | 26.40 |
| 2:50:00 AM | 26.87 | 25.83 | 26.33 |
| 3:00:00 AM | 26.67 | 25.83 | 26.30 |
| 3:10:00 AM | 26.63 | 25.83 | 26.23 |
| 3:20:00 AM | 26.63 | 25.83 | 26.23 |
| 3:30:00 AM | 26.67 | 25.83 | 26.23 |
| 3:40:00 AM | 26.53 | 25.83 | 26.23 |
| 3:50:00 AM | 26.57 | 25.80 | 26.20 |
| 4:00:00 AM | 26.40 | 25.77 | 26.17 |
| 4:10:00 AM | 26.47 | 25.73 | 26.13 |
| 4:20:00 AM | 26.47 | 25.73 | 26.13 |
| 4:30:00 AM | 26.37 | 25.67 | 26.07 |
| 4:40:00 AM | 26.53 | 25.67 | 26.10 |
| 4:50:00 AM | 26.43 | 25.63 | 26.00 |
| 5:00:00 AM | 26.47 | 25.63 | 26.00 |
| 5:10:00 AM | 26.50 | 25.63 | 26.03 |
| 5:20:00 AM | 26.50 | 25.57 | 25.97 |
| 5:30:00 AM | 26.60 | 25.57 | 25.93 |
| 5:40:00 AM | 26.67 | 25.57 | 25.90 |
| 5:50:00 AM | 26.43 | 25.60 | 25.93 |
| 6:00:00 AM | 26.47 | 25.57 | 25.90 |
| 6:10:00 AM | 26.50 | 25.53 | 25.87 |
| 6:20:00 AM | 26.63 | 25.50 | 25.83 |
| 6:30:00 AM | 26.70 | 25.50 | 25.83 |
| 6:40:00 AM | 26.67 | 25.57 | 25.83 |
| 6:50:00 AM | 26.90 | 25.53 | 25.90 |
| 7:00:00 AM | 27.07 | 25.60 | 25.90 |
| 7:10:00 AM | 27.23 | 25.60 | 25.90 |
| 7:20:00 AM | 27.43 | 25.67 | 26.00 |
| 7:30:00 AM | 27.67 | 25.70 | 26.07 |
| 7:40:00 AM | 27.87 | 25.83 | 26.13 |
| 7:50:00 AM | 28.10 | 25.90 | 26.27 |

**ตารางที่ ง-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 8:00:00 AM | 28.27 | 26.00 | 26.37 |
| 8:10:00 AM | 28.50 | 26.10 | 26.43 |
| 8:20:00 AM | 28.87 | 26.27 | 26.63 |
| 8:30:00 AM | 29.83 | 26.40 | 26.83 |
| 8:40:00 AM | 30.00 | 26.67 | 27.00 |
| 8:50:00 AM | 30.77 | 26.87 | 27.20 |
| 9:00:00 AM | 30.53 | 27.13 | 27.43 |
| 9:10:00 AM | 30.60 | 27.37 | 27.67 |
| 9:20:00 AM | 30.67 | 27.57 | 27.90 |
| 9:30:00 AM | 31.97 | 27.90 | 28.20 |
| 9:40:00 AM | 31.97 | 28.10 | 28.50 |
| 9:50:00 AM | 32.43 | 28.47 | 28.87 |
| 10:00:00 AM | 32.83 | 28.77 | 29.20 |
| 10:10:00 AM | 33.03 | 29.07 | 29.60 |
| 10:20:00 AM | 34.23 | 29.40 | 29.93 |
| 10:30:00 AM | 34.17 | 29.77 | 30.40 |
| 10:40:00 AM | 33.80 | 30.17 | 30.83 |
| 10:50:00 AM | 32.43 | 30.43 | 31.17 |
| 11:00:00 AM | 34.33 | 30.70 | 31.47 |
| 11:10:00 AM | 35.30 | 30.90 | 31.83 |
| 11:20:00 AM | 34.90 | 31.17 | 32.27 |
| 11:30:00 AM | 34.20 | 31.53 | 32.63 |
| 11:40:00 AM | 34.23 | 31.73 | 32.93 |
| 11:50:00 AM | 33.43 | 31.90 | 33.20 |
| 12:00:00 PM | 33.80 | 32.03 | 33.40 |
| 12:10:00 PM | 34.00 | 32.13 | 33.57 |
| 12:20:00 PM | 35.30 | 32.17 | 33.80 |
| 12:30:00 PM | 35.90 | 32.30 | 34.00 |
| 12:40:00 PM | 34.97 | 32.50 | 34.27 |
| 12:50:00 PM | 36.07 | 32.70 | 34.57 |
| 1:00:00 PM | 34.73 | 33.00 | 34.93 |
| 1:10:00 PM | 34.63 | 33.13 | 35.17 |
| 1:20:00 PM | 32.73 | 33.23 | 35.33 |
| 1:30:00 PM | 31.87 | 33.33 | 35.33 |
| 1:40:00 PM | 32.17 | 33.07 | 35.30 |
| 1:50:00 PM | 33.33 | 32.90 | 35.23 |
| 2:00:00 PM | 33.53 | 32.80 | 35.20 |
| 2:10:00 PM | 32.73 | 32.73 | 35.17 |
| 2:20:00 PM | 33.87 | 32.73 | 35.23 |
| 2:30:00 PM | 32.97 | 32.80 | 35.23 |
| 2:40:00 PM | 32.47 | 32.73 | 35.17 |
| 2:50:00 PM | 32.43 | 32.67 | 35.17 |
| 3:00:00 PM | 32.23 | 32.53 | 35.07 |
| 3:10:00 PM | 32.07 | 32.40 | 34.93 |
| 3:20:00 PM | 32.07 | 32.23 | 34.80 |
| 3:30:00 PM | 31.93 | 32.10 | 34.67 |
| 3:40:00 PM | 31.90 | 31.93 | 34.50 |
| 3:50:00 PM | 32.43 | 31.73 | 34.37 |

**ตารางที่ ง-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 4:00:00 PM | 31.77 | 31.63 | 34.23 |
| 4:10:00 PM | 31.70 | 31.53 | 34.07 |
| 4:20:00 PM | 31.63 | 31.43 | 33.93 |
| 4:30:00 PM | 31.50 | 31.30 | 33.77 |
| 4:40:00 PM | 31.33 | 31.20 | 33.63 |
| 4:50:00 PM | 31.33 | 31.07 | 33.43 |
| 5:00:00 PM | 31.00 | 30.93 | 33.33 |
| 5:10:00 PM | 30.93 | 30.83 | 33.20 |
| 5:20:00 PM | 30.90 | 30.70 | 32.97 |
| 5:30:00 PM | 30.93 | 30.60 | 32.83 |
| 5:40:00 PM | 30.73 | 30.47 | 32.67 |
| 5:50:00 PM | 30.70 | 30.30 | 32.53 |
| 6:00:00 PM | 30.57 | 30.13 | 32.33 |
| 6:10:00 PM | 30.33 | 30.03 | 32.17 |
| 6:20:00 PM | 30.50 | 29.93 | 32.03 |
| 6:30:00 PM | 30.30 | 29.80 | 31.83 |
| 6:40:00 PM | 30.27 | 29.70 | 31.70 |
| 6:50:00 PM | 30.17 | 29.57 | 31.53 |
| 7:00:00 PM | 30.03 | 29.47 | 31.40 |
| 7:10:00 PM | 29.87 | 29.33 | 31.20 |
| 7:20:00 PM | 29.87 | 29.27 | 31.10 |
| 7:30:00 PM | 29.97 | 29.17 | 30.90 |
| 7:40:00 PM | 29.83 | 29.07 | 30.80 |
| 7:50:00 PM | 29.77 | 28.97 | 30.63 |
| 8:00:00 PM | 29.67 | 28.90 | 30.50 |
| 8:10:00 PM | 29.67 | 28.77 | 30.43 |
| 8:20:00 PM | 29.53 | 28.67 | 30.30 |
| 8:30:00 PM | 29.60 | 28.67 | 30.20 |
| 8:40:00 PM | 29.57 | 28.57 | 30.10 |
| 8:50:00 PM | 29.70 | 28.50 | 30.00 |
| 9:00:00 PM | 29.53 | 28.43 | 29.87 |
| 9:10:00 PM | 29.33 | 28.37 | 29.73 |
| 9:20:00 PM | 29.23 | 28.33 | 29.70 |
| 9:30:00 PM | 29.27 | 28.30 | 29.63 |
| 9:40:00 PM | 29.37 | 28.23 | 29.50 |
| 9:50:00 PM | 28.87 | 28.17 | 29.47 |
| 10:00:00 PM | 28.27 | 28.07 | 29.33 |
| 10:10:00 PM | 28.10 | 28.00 | 29.20 |
| 10:20:00 PM | 27.90 | 27.97 | 29.07 |
| 10:30:00 PM | 27.77 | 27.83 | 28.93 |
| 10:40:00 PM | 27.80 | 27.70 | 28.70 |
| 10:50:00 PM | 27.80 | 27.57 | 28.60 |
| 11:00:00 PM | 27.80 | 27.47 | 28.47 |
| 11:10:00 PM | 28.00 | 27.40 | 28.33 |
| 11:20:00 PM | 27.70 | 27.33 | 28.23 |
| 11:30:00 PM | 27.77 | 27.27 | 28.10 |
| 11:40:00 PM | 27.87 | 27.20 | 28.03 |
| 11:50:00 PM | 28.03 | 27.13 | 27.97 |

**อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560**

**ตารางที่ ง-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 26.83 | 26.20 | 26.70 |
| 12:10:00 AM | 26.83 | 26.17 | 26.63 |
| 12:20:00 AM | 26.87 | 26.10 | 26.57 |
| 12:30:00 AM | 26.87 | 26.07 | 26.60 |
| 12:40:00 AM | 27.00 | 26.07 | 26.50 |
| 12:50:00 AM | 26.83 | 26.07 | 26.47 |
| 1:00:00 AM | 27.13 | 26.00 | 26.43 |
| 1:10:00 AM | 26.67 | 25.90 | 26.37 |
| 1:20:00 AM | 26.63 | 25.90 | 26.30 |
| 1:30:00 AM | 26.80 | 25.83 | 26.27 |
| 1:40:00 AM | 26.70 | 25.87 | 26.20 |
| 1:50:00 AM | 26.67 | 25.90 | 26.23 |
| 2:00:00 AM | 26.70 | 25.87 | 26.23 |
| 2:10:00 AM | 26.83 | 25.83 | 26.20 |
| 2:20:00 AM | 26.77 | 25.80 | 26.17 |
| 2:30:00 AM | 26.77 | 25.83 | 26.20 |
| 2:40:00 AM | 26.60 | 25.83 | 26.13 |
| 2:50:00 AM | 26.87 | 25.80 | 26.13 |
| 3:00:00 AM | 26.67 | 25.73 | 26.10 |
| 3:10:00 AM | 26.63 | 25.73 | 26.10 |
| 3:20:00 AM | 26.63 | 25.77 | 26.07 |
| 3:30:00 AM | 26.67 | 25.77 | 26.07 |
| 3:40:00 AM | 26.53 | 25.70 | 26.07 |
| 3:50:00 AM | 26.57 | 25.70 | 26.00 |
| 4:00:00 AM | 26.40 | 25.63 | 25.97 |
| 4:10:00 AM | 26.47 | 25.67 | 25.97 |
| 4:20:00 AM | 26.47 | 25.63 | 25.93 |
| 4:30:00 AM | 26.37 | 25.60 | 25.83 |
| 4:40:00 AM | 26.53 | 25.57 | 25.83 |
| 4:50:00 AM | 26.43 | 25.60 | 25.83 |
| 5:00:00 AM | 26.47 | 25.57 | 25.80 |
| 5:10:00 AM | 26.50 | 25.53 | 25.77 |
| 5:20:00 AM | 26.50 | 25.53 | 25.80 |
| 5:30:00 AM | 26.60 | 25.50 | 25.77 |
| 5:40:00 AM | 26.67 | 25.53 | 25.77 |
| 5:50:00 AM | 26.43 | 25.50 | 25.77 |
| 6:00:00 AM | 26.47 | 25.50 | 25.70 |
| 6:10:00 AM | 26.50 | 25.47 | 25.70 |
| 6:20:00 AM | 26.63 | 25.47 | 25.73 |
| 6:30:00 AM | 26.70 | 25.53 | 25.80 |
| 6:40:00 AM | 26.67 | 25.53 | 25.77 |
| 6:50:00 AM | 26.90 | 25.57 | 25.83 |
| 7:00:00 AM | 27.07 | 25.63 | 25.90 |
| 7:10:00 AM | 27.23 | 25.70 | 25.93 |
| 7:20:00 AM | 27.43 | 25.73 | 26.03 |
| 7:30:00 AM | 27.67 | 25.77 | 26.17 |
| 7:40:00 AM | 27.87 | 25.97 | 26.33 |
| 7:50:00 AM | 28.10 | 26.10 | 26.47 |

**ตารางที่ ง-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 8:00:00 AM | 28.27 | 26.23 | 26.67 |
| 8:10:00 AM | 28.50 | 26.40 | 26.80 |
| 8:20:00 AM | 28.87 | 26.53 | 27.07 |
| 8:30:00 AM | 29.83 | 26.83 | 27.33 |
| 8:40:00 AM | 30.00 | 27.03 | 27.50 |
| 8:50:00 AM | 30.77 | 27.27 | 27.80 |
| 9:00:00 AM | 30.53 | 27.53 | 28.00 |
| 9:10:00 AM | 30.60 | 27.73 | 28.17 |
| 9:20:00 AM | 30.67 | 27.90 | 28.53 |
| 9:30:00 AM | 31.97 | 28.23 | 28.83 |
| 9:40:00 AM | 31.97 | 28.53 | 29.20 |
| 9:50:00 AM | 32.43 | 28.90 | 29.57 |
| 10:00:00 AM | 32.83 | 29.20 | 29.90 |
| 10:10:00 AM | 33.03 | 29.57 | 30.33 |
| 10:20:00 AM | 34.23 | 30.00 | 30.80 |
| 10:30:00 AM | 34.17 | 30.40 | 31.20 |
| 10:40:00 AM | 33.80 | 30.67 | 31.43 |
| 10:50:00 AM | 32.43 | 30.83 | 31.53 |
| 11:00:00 AM | 34.33 | 31.03 | 31.90 |
| 11:10:00 AM | 35.30 | 31.43 | 32.53 |
| 11:20:00 AM | 34.90 | 31.80 | 32.90 |
| 11:30:00 AM | 34.20 | 32.00 | 33.10 |
| 11:40:00 AM | 34.23 | 32.10 | 33.30 |
| 11:50:00 AM | 33.43 | 32.23 | 33.33 |
| 12:00:00 PM | 33.80 | 32.20 | 33.37 |
| 12:10:00 PM | 34.00 | 32.23 | 33.53 |
| 12:20:00 PM | 35.30 | 32.50 | 34.03 |
| 12:30:00 PM | 35.90 | 32.80 | 34.33 |
| 12:40:00 PM | 34.97 | 33.03 | 34.63 |
| 12:50:00 PM | 36.07 | 33.23 | 34.83 |
| 1:00:00 PM | 34.73 | 33.37 | 35.03 |
| 1:10:00 PM | 34.63 | 33.43 | 35.07 |
| 1:20:00 PM | 32.73 | 33.40 | 34.93 |
| 1:30:00 PM | 31.87 | 33.17 | 34.53 |
| 1:40:00 PM | 32.17 | 32.87 | 34.43 |
| 1:50:00 PM | 33.33 | 32.77 | 34.50 |
| 2:00:00 PM | 33.53 | 32.77 | 34.50 |
| 2:10:00 PM | 32.73 | 32.77 | 34.47 |
| 2:20:00 PM | 33.87 | 32.77 | 34.60 |
| 2:30:00 PM | 32.97 | 32.73 | 34.43 |
| 2:40:00 PM | 32.47 | 32.57 | 34.27 |
| 2:50:00 PM | 32.43 | 32.43 | 34.13 |
| 3:00:00 PM | 32.23 | 32.30 | 34.03 |
| 3:10:00 PM | 32.07 | 32.17 | 33.90 |
| 3:20:00 PM | 32.07 | 32.00 | 33.73 |
| 3:30:00 PM | 31.93 | 31.83 | 33.57 |
| 3:40:00 PM | 31.90 | 31.70 | 33.47 |
| 3:50:00 PM | 32.43 | 31.57 | 33.37 |
| 4:00:00 PM | 31.77 | 31.50 | 33.23 |
| 4:10:00 PM | 31.70 | 31.33 | 33.07 |

**ตารางที่ ง-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง วันที่ 8 ตุลาคม – 10 ตุลาคม 2560 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM55 |
|---|---|---|---|
| 4:20:00 PM | 31.63 | 31.23 | 32.93 |
| 4:30:00 PM | 31.50 | 31.13 | 32.80 |
| 4:40:00 PM | 31.33 | 31.00 | 32.63 |
| 4:50:00 PM | 31.33 | 30.87 | 32.47 |
| 5:00:00 PM | 31.00 | 30.73 | 32.30 |
| 5:10:00 PM | 30.93 | 30.60 | 32.20 |
| 5:20:00 PM | 30.90 | 30.50 | 32.03 |
| 5:30:00 PM | 30.93 | 30.37 | 31.93 |
| 5:40:00 PM | 30.73 | 30.27 | 31.73 |
| 5:50:00 PM | 30.70 | 30.10 | 31.63 |
| 6:00:00 PM | 30.57 | 30.03 | 31.47 |
| 6:10:00 PM | 30.33 | 29.90 | 31.30 |
| 6:20:00 PM | 30.50 | 29.77 | 31.20 |
| 6:30:00 PM | 30.30 | 29.70 | 31.03 |
| 6:40:00 PM | 30.27 | 29.50 | 30.90 |
| 6:50:00 PM | 30.17 | 29.43 | 30.77 |
| 7:00:00 PM | 30.03 | 29.30 | 30.60 |
| 7:10:00 PM | 29.87 | 29.23 | 30.47 |
| 7:20:00 PM | 29.87 | 29.13 | 30.37 |
| 7:30:00 PM | 29.97 | 29.03 | 30.23 |
| 7:40:00 PM | 29.83 | 28.93 | 30.13 |
| 7:50:00 PM | 29.77 | 28.87 | 30.03 |
| 8:00:00 PM | 29.67 | 28.80 | 29.90 |
| 8:10:00 PM | 29.67 | 28.67 | 29.83 |
| 8:20:00 PM | 29.53 | 28.60 | 29.73 |
| 8:30:00 PM | 29.60 | 28.53 | 29.60 |
| 8:40:00 PM | 29.57 | 28.47 | 29.53 |
| 8:50:00 PM | 29.70 | 28.43 | 29.53 |
| 9:00:00 PM | 29.53 | 28.47 | 29.43 |
| 9:10:00 PM | 29.33 | 28.33 | 29.30 |
| 9:20:00 PM | 29.23 | 28.30 | 29.23 |
| 9:30:00 PM | 29.27 | 28.17 | 29.17 |
| 9:40:00 PM | 29.37 | 28.20 | 29.10 |
| 9:50:00 PM | 28.87 | 28.17 | 29.00 |
| 10:00:00 PM | 28.27 | 27.97 | 28.83 |
| 10:10:00 PM | 28.10 | 27.87 | 28.67 |
| 10:20:00 PM | 27.90 | 27.73 | 28.50 |
| 10:30:00 PM | 27.77 | 27.60 | 28.33 |
| 10:40:00 PM | 27.80 | 27.47 | 28.13 |
| 10:50:00 PM | 27.80 | 27.37 | 28.07 |
| 11:00:00 PM | 27.80 | 27.30 | 27.93 |
| 11:10:00 PM | 28.00 | 27.23 | 27.87 |
| 11:20:00 PM | 27.70 | 27.20 | 27.80 |
| 11:30:00 PM | 27.77 | 27.10 | 27.67 |
| 11:40:00 PM | 27.87 | 27.07 | 27.63 |
| 11:50:00 PM | 28.03 | 27.03 | 27.60 |

**ภาคผนวก จ ผลการวัดอุณหภูมิ ศึกษาความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของผนังอิฐขาวที่บรรจุ PCM35 และผนังอิฐขาวที่ไม่บรรจุ PCMs**

**อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561**

**ตารางที่ จ-1** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 28.80 | 28.10 | 29.07 |
| 12:10:00 AM | 28.63 | 28.07 | 28.97 |
| 12:20:00 AM | 28.93 | 28.07 | 28.90 |
| 12:30:00 AM | 28.80 | 28.03 | 28.87 |
| 12:40:00 AM | 28.93 | 27.93 | 28.77 |
| 12:50:00 AM | 28.33 | 27.87 | 28.63 |
| 1:00:00 AM | 28.70 | 27.87 | 28.67 |
| 1:10:00 AM | 28.73 | 27.80 | 28.53 |
| 1:20:00 AM | 28.53 | 27.80 | 28.47 |
| 1:30:00 AM | 28.37 | 27.73 | 28.47 |
| 1:40:00 AM | 28.63 | 27.73 | 28.33 |
| 1:50:00 AM | 28.27 | 27.67 | 28.30 |
| 2:00:00 AM | 28.83 | 27.67 | 28.27 |
| 2:10:00 AM | 28.17 | 27.60 | 28.20 |
| 2:20:00 AM | 28.70 | 27.63 | 28.17 |
| 2:30:00 AM | 28.23 | 27.57 | 28.10 |
| 2:40:00 AM | 28.33 | 27.57 | 28.07 |
| 2:50:00 AM | 28.27 | 27.57 | 28.07 |
| 3:00:00 AM | 28.17 | 27.50 | 27.97 |
| 3:10:00 AM | 28.40 | 27.50 | 27.97 |
| 3:20:00 AM | 28.40 | 27.47 | 27.93 |
| 3:30:00 AM | 28.43 | 27.47 | 27.93 |
| 3:40:00 AM | 28.23 | 27.40 | 27.83 |
| 3:50:00 AM | 28.03 | 27.40 | 27.77 |
| 4:00:00 AM | 28.03 | 27.40 | 27.77 |
| 4:10:00 AM | 28.43 | 27.33 | 27.70 |
| 4:20:00 AM | 28.33 | 27.30 | 27.73 |
| 4:30:00 AM | 27.90 | 27.27 | 27.57 |
| 4:40:00 AM | 27.93 | 27.27 | 27.57 |
| 4:50:00 AM | 27.87 | 27.23 | 27.53 |
| 5:00:00 AM | 28.33 | 27.23 | 27.53 |
| 5:10:00 AM | 28.03 | 27.17 | 27.43 |
| 5:20:00 AM | 27.83 | 27.13 | 27.40 |
| 5:30:00 AM | 28.07 | 27.10 | 27.43 |
| 5:40:00 AM | 28.10 | 27.17 | 27.40 |
| 5:50:00 AM | 28.20 | 27.13 | 27.37 |
| 6:00:00 AM | 27.80 | 27.07 | 27.27 |
| 6:10:00 AM | 27.80 | 27.07 | 27.27 |
| 6:20:00 AM | 27.80 | 27.03 | 27.20 |
| 6:30:00 AM | 27.80 | 27.00 | 27.23 |
| 6:40:00 AM | 27.87 | 27.03 | 27.23 |
| 6:50:00 AM | 27.87 | 27.07 | 27.20 |
| 7:00:00 AM | 28.03 | 27.07 | 27.27 |
| 7:10:00 AM | 28.20 | 27.20 | 27.30 |

**ตารางที่ จ-1** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 7:20:00 AM | 28.27 | 27.23 | 27.40 |
| 7:30:00 AM | 28.47 | 27.33 | 27.43 |
| 7:40:00 AM | 28.53 | 27.50 | 27.53 |
| 7:50:00 AM | 28.80 | 27.60 | 27.57 |
| 8:00:00 AM | 29.37 | 27.77 | 27.80 |
| 8:10:00 AM | 29.47 | 27.97 | 27.97 |
| 8:20:00 AM | 29.93 | 28.20 | 28.13 |
| 8:30:00 AM | 29.47 | 28.40 | 28.20 |
| 8:40:00 AM | 30.83 | 28.80 | 28.57 |
| 8:50:00 AM | 31.10 | 29.33 | 28.87 |
| 9:00:00 AM | 31.27 | 29.47 | 29.10 |
| 9:10:00 AM | 31.83 | 29.93 | 29.50 |
| 9:20:00 AM | 32.23 | 30.50 | 29.80 |
| 9:30:00 AM | 31.87 | 30.43 | 29.83 |
| 9:40:00 AM | 32.90 | 30.97 | 30.30 |
| 9:50:00 AM | 33.77 | 31.80 | 30.93 |
| 10:00:00 AM | 33.23 | 31.97 | 31.10 |
| 10:10:00 AM | 33.07 | 32.13 | 31.13 |
| 10:20:00 AM | 34.00 | 32.97 | 31.77 |
| 10:30:00 AM | 34.23 | 33.47 | 32.20 |
| 10:40:00 AM | 34.80 | 33.70 | 32.47 |
| 10:50:00 AM | 35.83 | 34.30 | 32.83 |
| 11:00:00 AM | 35.37 | 34.70 | 33.13 |
| 11:10:00 AM | 36.23 | 35.43 | 33.77 |
| 11:20:00 AM | 35.27 | 35.67 | 33.73 |
| 11:30:00 AM | 36.87 | 36.33 | 34.23 |
| 11:40:00 AM | 36.73 | 36.67 | 34.43 |
| 11:50:00 AM | 37.03 | 37.23 | 34.90 |
| 12:00:00 PM | 36.60 | 37.60 | 35.00 |
| 12:10:00 PM | 36.40 | 37.97 | 35.20 |
| 12:20:00 PM | 37.00 | 38.23 | 35.43 |
| 12:30:00 PM | 37.13 | 38.73 | 35.77 |
| 12:40:00 PM | 37.83 | 39.30 | 36.13 |
| 12:50:00 PM | 38.20 | 39.60 | 36.30 |
| 1:00:00 PM | 37.43 | 39.37 | 36.07 |
| 1:10:00 PM | 37.90 | 40.07 | 36.53 |
| 1:20:00 PM | 38.43 | 40.60 | 36.93 |
| 1:30:00 PM | 38.47 | 40.93 | 37.13 |
| 1:40:00 PM | 38.47 | 41.03 | 37.17 |
| 1:50:00 PM | 37.80 | 41.00 | 37.17 |
| 2:00:00 PM | 39.00 | 41.47 | 37.47 |
| 2:10:00 PM | 38.90 | 41.57 | 37.47 |
| 2:20:00 PM | 38.07 | 41.50 | 37.47 |
| 2:30:00 PM | 38.40 | 41.53 | 37.43 |
| 2:40:00 PM | 38.03 | 41.40 | 37.37 |
| 2:50:00 PM | 37.97 | 41.47 | 37.50 |
| 3:00:00 PM | 38.10 | 41.27 | 37.40 |
| 3:10:00 PM | 37.73 | 41.30 | 37.43 |
| 3:20:00 PM | 37.33 | 41.13 | 37.33 |
| 3:30:00 PM | 36.93 | 40.93 | 37.20 |

**ตารางที่ จ-1** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายนอกกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 3:40:00 PM | 36.10 | 40.73 | 37.07 |
| 3:50:00 PM | 35.63 | 40.47 | 36.80 |
| 4:00:00 PM | 34.83 | 40.23 | 36.77 |
| 4:10:00 PM | 35.53 | 40.03 | 36.87 |
| 4:20:00 PM | 35.60 | 39.93 | 36.90 |
| 4:30:00 PM | 34.47 | 39.63 | 36.73 |
| 4:40:00 PM | 33.33 | 38.80 | 36.40 |
| 4:50:00 PM | 33.27 | 38.47 | 36.20 |
| 5:00:00 PM | 32.83 | 38.13 | 35.93 |
| 5:10:00 PM | 32.30 | 37.57 | 35.53 |
| 5:20:00 PM | 32.20 | 37.03 | 35.33 |
| 5:30:00 PM | 31.73 | 36.47 | 34.97 |
| 5:40:00 PM | 31.47 | 35.97 | 34.67 |
| 5:50:00 PM | 31.27 | 35.50 | 34.47 |
| 6:00:00 PM | 30.97 | 34.97 | 34.10 |
| 6:10:00 PM | 30.80 | 34.57 | 33.97 |
| 6:20:00 PM | 30.40 | 34.10 | 33.67 |
| 6:30:00 PM | 30.37 | 33.70 | 33.43 |
| 6:40:00 PM | 30.23 | 33.33 | 33.23 |
| 6:50:00 PM | 30.03 | 32.97 | 33.03 |
| 7:00:00 PM | 29.93 | 32.60 | 32.80 |
| 7:10:00 PM | 29.87 | 32.30 | 32.70 |
| 7:20:00 PM | 29.63 | 32.00 | 32.53 |
| 7:30:00 PM | 29.60 | 31.70 | 32.37 |
| 7:40:00 PM | 29.47 | 31.37 | 32.13 |
| 7:50:00 PM | 29.43 | 31.17 | 32.03 |
| 8:00:00 PM | 29.37 | 30.90 | 31.83 |
| 8:10:00 PM | 29.30 | 30.67 | 31.73 |
| 8:20:00 PM | 29.23 | 30.50 | 31.57 |
| 8:30:00 PM | 29.17 | 30.30 | 31.47 |
| 8:40:00 PM | 29.10 | 30.13 | 31.37 |
| 8:50:00 PM | 29.10 | 29.93 | 31.23 |
| 9:00:00 PM | 29.00 | 29.77 | 31.10 |
| 9:10:00 PM | 28.97 | 29.63 | 31.00 |
| 9:20:00 PM | 28.90 | 29.50 | 30.90 |
| 9:30:00 PM | 28.93 | 29.33 | 30.77 |
| 9:40:00 PM | 28.83 | 29.17 | 30.63 |
| 9:50:00 PM | 28.80 | 29.10 | 30.50 |
| 10:00:00 PM | 28.80 | 28.97 | 30.40 |
| 10:10:00 PM | 28.73 | 28.87 | 30.30 |
| 10:20:00 PM | 28.67 | 28.77 | 30.13 |
| 10:30:00 PM | 28.63 | 28.63 | 30.10 |
| 10:40:00 PM | 28.57 | 28.60 | 29.97 |
| 10:50:00 PM | 28.60 | 28.50 | 29.90 |
| 11:00:00 PM | 28.53 | 28.47 | 29.73 |
| 11:10:00 PM | 28.50 | 28.33 | 29.73 |
| 11:20:00 PM | 28.50 | 28.27 | 29.60 |
| 11:30:00 PM | 28.47 | 28.23 | 29.53 |
| 11:40:00 PM | 28.47 | 28.13 | 29.40 |
| 11:50:00 PM | 28.77 | 28.13 | 29.40 |

**อุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561**

**ตารางที่ จ-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 28.80 | 28.23 | 29.50 |
| 12:10:00 AM | 28.63 | 28.23 | 29.43 |
| 12:20:00 AM | 28.93 | 28.20 | 29.33 |
| 12:30:00 AM | 28.80 | 28.17 | 29.20 |
| 12:40:00 AM | 28.93 | 28.10 | 29.17 |
| 12:50:00 AM | 28.33 | 28.10 | 29.07 |
| 1:00:00 AM | 28.70 | 28.03 | 29.00 |
| 1:10:00 AM | 28.73 | 27.97 | 28.93 |
| 1:20:00 AM | 28.53 | 27.93 | 28.87 |
| 1:30:00 AM | 28.37 | 27.93 | 28.77 |
| 1:40:00 AM | 28.63 | 27.87 | 28.67 |
| 1:50:00 AM | 28.27 | 27.83 | 28.67 |
| 2:00:00 AM | 28.83 | 27.80 | 28.57 |
| 2:10:00 AM | 28.17 | 27.77 | 28.50 |
| 2:20:00 AM | 28.70 | 27.70 | 28.47 |
| 2:30:00 AM | 28.23 | 27.70 | 28.40 |
| 2:40:00 AM | 28.33 | 27.70 | 28.33 |
| 2:50:00 AM | 28.27 | 27.70 | 28.30 |
| 3:00:00 AM | 28.17 | 27.63 | 28.23 |
| 3:10:00 AM | 28.40 | 27.60 | 28.17 |
| 3:20:00 AM | 28.40 | 27.60 | 28.10 |
| 3:30:00 AM | 28.43 | 27.57 | 28.10 |
| 3:40:00 AM | 28.23 | 27.53 | 28.03 |
| 3:50:00 AM | 28.03 | 27.53 | 28.00 |
| 4:00:00 AM | 28.03 | 27.53 | 27.97 |
| 4:10:00 AM | 28.43 | 27.47 | 27.90 |
| 4:20:00 AM | 28.33 | 27.50 | 27.90 |
| 4:30:00 AM | 27.90 | 27.47 | 27.87 |
| 4:40:00 AM | 27.93 | 27.43 | 27.80 |
| 4:50:00 AM | 27.87 | 27.40 | 27.70 |
| 5:00:00 AM | 28.33 | 27.40 | 27.73 |
| 5:10:00 AM | 28.03 | 27.37 | 27.60 |
| 5:20:00 AM | 27.83 | 27.33 | 27.60 |
| 5:30:00 AM | 28.07 | 27.27 | 27.57 |
| 5:40:00 AM | 28.10 | 27.27 | 27.57 |
| 5:50:00 AM | 28.20 | 27.23 | 27.47 |
| 6:00:00 AM | 27.80 | 27.20 | 27.50 |
| 6:10:00 AM | 27.80 | 27.20 | 27.47 |
| 6:20:00 AM | 27.80 | 27.17 | 27.37 |
| 6:30:00 AM | 27.80 | 27.10 | 27.37 |
| 6:40:00 AM | 27.87 | 27.13 | 27.33 |
| 6:50:00 AM | 27.87 | 27.13 | 27.30 |
| 7:00:00 AM | 28.03 | 27.10 | 27.30 |
| 7:10:00 AM | 28.20 | 27.13 | 27.33 |
| 7:20:00 AM | 28.27 | 27.07 | 27.33 |
| 7:30:00 AM | 28.47 | 27.17 | 27.37 |
| 7:40:00 AM | 28.53 | 27.20 | 27.33 |
| 7:50:00 AM | 28.80 | 27.27 | 27.40 |

**ตารางที่ จ-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 8:00:00 AM | 29.37 | 27.37 | 27.43 |
| 8:10:00 AM | 29.47 | 27.47 | 27.57 |
| 8:20:00 AM | 29.93 | 27.53 | 27.60 |
| 8:30:00 AM | 29.47 | 27.67 | 27.70 |
| 8:40:00 AM | 30.83 | 27.87 | 27.80 |
| 8:50:00 AM | 31.10 | 28.07 | 27.97 |
| 9:00:00 AM | 31.27 | 28.30 | 28.17 |
| 9:10:00 AM | 31.83 | 28.53 | 28.37 |
| 9:20:00 AM | 32.23 | 28.87 | 28.60 |
| 9:30:00 AM | 31.87 | 29.23 | 28.87 |
| 9:40:00 AM | 32.90 | 29.57 | 29.10 |
| 9:50:00 AM | 33.77 | 30.00 | 29.40 |
| 10:00:00 AM | 33.23 | 30.43 | 29.70 |
| 10:10:00 AM | 33.07 | 30.87 | 30.00 |
| 10:20:00 AM | 34.00 | 31.37 | 30.33 |
| 10:30:00 AM | 34.23 | 31.80 | 30.63 |
| 10:40:00 AM | 34.80 | 32.27 | 30.93 |
| 10:50:00 AM | 35.83 | 32.77 | 31.27 |
| 11:00:00 AM | 35.37 | 33.27 | 31.57 |
| 11:10:00 AM | 36.23 | 33.73 | 31.90 |
| 11:20:00 AM | 35.27 | 34.27 | 32.23 |
| 11:30:00 AM | 36.87 | 34.73 | 32.53 |
| 11:40:00 AM | 36.73 | 35.20 | 32.83 |
| 11:50:00 AM | 37.03 | 35.73 | 33.13 |
| 12:00:00 PM | 36.60 | 36.23 | 33.37 |
| 12:10:00 PM | 36.40 | 36.67 | 33.67 |
| 12:20:00 PM | 37.00 | 37.13 | 33.93 |
| 12:30:00 PM | 37.13 | 37.60 | 34.27 |
| 12:40:00 PM | 37.83 | 38.10 | 34.53 |
| 12:50:00 PM | 38.20 | 38.47 | 34.77 |
| 1:00:00 PM | 37.43 | 38.80 | 34.97 |
| 1:10:00 PM | 37.90 | 39.23 | 35.23 |
| 1:20:00 PM | 38.43 | 39.53 | 35.50 |
| 1:30:00 PM | 38.47 | 40.00 | 35.77 |
| 1:40:00 PM | 38.47 | 40.37 | 36.00 |
| 1:50:00 PM | 37.80 | 40.70 | 36.30 |
| 2:00:00 PM | 39.00 | 41.03 | 36.57 |
| 2:10:00 PM | 38.90 | 41.37 | 36.77 |
| 2:20:00 PM | 38.07 | 41.60 | 36.97 |
| 2:30:00 PM | 38.40 | 41.80 | 37.17 |
| 2:40:00 PM | 38.03 | 42.00 | 37.30 |
| 2:50:00 PM | 37.97 | 42.07 | 37.40 |
| 3:00:00 PM | 38.10 | 42.17 | 37.53 |
| 3:10:00 PM | 37.73 | 42.13 | 37.63 |
| 3:20:00 PM | 37.33 | 42.10 | 37.70 |
| 3:30:00 PM | 36.93 | 42.10 | 37.80 |
| 3:40:00 PM | 36.10 | 41.97 | 37.87 |
| 3:50:00 PM | 35.63 | 41.87 | 37.93 |
| 4:00:00 PM | 34.83 | 41.77 | 37.93 |

**ตารางที่ จ-2** แสดงอุณหภูมิผิวผนังอิฐขาวภายในกล่องทดลอง วันที่ 14-16 มีนาคม 2561

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 4:10:00 PM | 35.53 | 41.60 | 37.90 |
| 4:20:00 PM | 35.60 | 41.43 | 37.83 |
| 4:30:00 PM | 34.47 | 41.23 | 37.83 |
| 4:40:00 PM | 33.33 | 40.93 | 37.67 |
| 4:50:00 PM | 33.27 | 40.60 | 37.50 |
| 5:00:00 PM | 32.83 | 40.13 | 37.30 |
| 5:10:00 PM | 32.30 | 39.60 | 37.00 |
| 5:20:00 PM | 32.20 | 39.00 | 36.70 |
| 5:30:00 PM | 31.73 | 38.47 | 36.43 |
| 5:40:00 PM | 31.47 | 37.90 | 36.17 |
| 5:50:00 PM | 31.27 | 37.33 | 35.90 |
| 6:00:00 PM | 30.97 | 36.83 | 35.63 |
| 6:10:00 PM | 30.80 | 36.33 | 35.40 |
| 6:20:00 PM | 30.40 | 35.80 | 35.13 |
| 6:30:00 PM | 30.37 | 35.30 | 34.90 |
| 6:40:00 PM | 30.23 | 34.83 | 34.60 |
| 6:50:00 PM | 30.03 | 34.37 | 34.40 |
| 7:00:00 PM | 29.93 | 33.93 | 34.17 |
| 7:10:00 PM | 29.87 | 33.57 | 33.97 |
| 7:20:00 PM | 29.63 | 33.17 | 33.77 |
| 7:30:00 PM | 29.60 | 32.80 | 33.60 |
| 7:40:00 PM | 29.47 | 32.50 | 33.40 |
| 7:50:00 PM | 29.43 | 32.17 | 33.23 |
| 8:00:00 PM | 29.37 | 31.87 | 33.00 |
| 8:10:00 PM | 29.30 | 31.60 | 32.87 |
| 8:20:00 PM | 29.23 | 31.30 | 32.70 |
| 8:30:00 PM | 29.17 | 31.07 | 32.53 |
| 8:40:00 PM | 29.10 | 30.80 | 32.40 |
| 8:50:00 PM | 29.10 | 30.60 | 32.23 |
| 9:00:00 PM | 29.00 | 30.43 | 32.03 |
| 9:10:00 PM | 28.97 | 30.23 | 31.93 |
| 9:20:00 PM | 28.90 | 30.03 | 31.77 |
| 9:30:00 PM | 28.93 | 29.87 | 31.60 |
| 9:40:00 PM | 28.83 | 29.70 | 31.50 |
| 9:50:00 PM | 28.80 | 29.57 | 31.37 |
| 10:00:00 PM | 28.80 | 29.37 | 31.23 |
| 10:10:00 PM | 28.73 | 29.27 | 31.10 |
| 10:20:00 PM | 28.67 | 29.20 | 30.97 |
| 10:30:00 PM | 28.63 | 29.07 | 30.87 |
| 10:40:00 PM | 28.57 | 28.97 | 30.70 |
| 10:50:00 PM | 28.60 | 28.87 | 30.63 |
| 11:00:00 PM | 28.53 | 28.77 | 30.47 |
| 11:10:00 PM | 28.50 | 28.67 | 30.37 |
| 11:20:00 PM | 28.50 | 28.60 | 30.23 |
| 11:30:00 PM | 28.47 | 28.50 | 30.13 |
| 11:40:00 PM | 28.47 | 28.40 | 30.03 |
| 11:50:00 PM | 28.77 | 28.37 | 29.93 |

**อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 14-16 มีนาคม 2561**

**ตารางที่ จ-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 14-16 มีนาคม 2561

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 28.80 | 28.80 | 28.00 |
| 12:10:00 AM | 28.63 | 28.77 | 28.00 |
| 12:20:00 AM | 28.93 | 28.67 | 28.03 |
| 12:30:00 AM | 28.80 | 28.67 | 28.00 |
| 12:40:00 AM | 28.93 | 28.57 | 27.90 |
| 12:50:00 AM | 28.33 | 28.47 | 27.90 |
| 1:00:00 AM | 28.70 | 28.43 | 27.87 |
| 1:10:00 AM | 28.73 | 28.40 | 27.80 |
| 1:20:00 AM | 28.53 | 28.33 | 27.77 |
| 1:30:00 AM | 28.37 | 28.27 | 27.77 |
| 1:40:00 AM | 28.63 | 28.23 | 27.77 |
| 1:50:00 AM | 28.27 | 28.17 | 27.70 |
| 2:00:00 AM | 28.83 | 28.13 | 27.63 |
| 2:10:00 AM | 28.17 | 28.07 | 27.60 |
| 2:20:00 AM | 28.70 | 28.03 | 27.57 |
| 2:30:00 AM | 28.23 | 28.00 | 27.63 |
| 2:40:00 AM | 28.33 | 27.93 | 27.63 |
| 2:50:00 AM | 28.27 | 27.97 | 27.60 |
| 3:00:00 AM | 28.17 | 27.87 | 27.53 |
| 3:10:00 AM | 28.40 | 27.87 | 27.53 |
| 3:20:00 AM | 28.40 | 27.80 | 27.53 |
| 3:30:00 AM | 28.43 | 27.87 | 27.53 |
| 3:40:00 AM | 28.23 | 27.80 | 27.50 |
| 3:50:00 AM | 28.03 | 27.77 | 27.43 |
| 4:00:00 AM | 28.03 | 27.73 | 27.47 |
| 4:10:00 AM | 28.43 | 27.67 | 27.43 |
| 4:20:00 AM | 28.33 | 27.67 | 27.40 |
| 4:30:00 AM | 27.90 | 27.53 | 27.33 |
| 4:40:00 AM | 27.93 | 27.53 | 27.33 |
| 4:50:00 AM | 27.87 | 27.47 | 27.27 |
| 5:00:00 AM | 28.33 | 27.47 | 27.27 |
| 5:10:00 AM | 28.03 | 27.40 | 27.17 |
| 5:20:00 AM | 27.83 | 27.33 | 27.17 |
| 5:30:00 AM | 28.07 | 27.33 | 27.17 |
| 5:40:00 AM | 28.10 | 27.37 | 27.17 |
| 5:50:00 AM | 28.20 | 27.37 | 27.13 |
| 6:00:00 AM | 27.80 | 27.30 | 27.13 |
| 6:10:00 AM | 27.80 | 27.30 | 27.07 |
| 6:20:00 AM | 27.80 | 27.23 | 27.07 |
| 6:30:00 AM | 27.80 | 27.23 | 27.03 |
| 6:40:00 AM | 27.87 | 27.17 | 27.07 |
| 6:50:00 AM | 27.87 | 27.20 | 27.07 |
| 7:00:00 AM | 28.03 | 27.23 | 27.03 |
| 7:10:00 AM | 28.20 | 27.27 | 27.10 |
| 7:20:00 AM | 28.27 | 27.40 | 27.17 |
| 7:30:00 AM | 28.47 | 27.43 | 27.20 |
| 7:40:00 AM | 28.53 | 27.47 | 27.30 |
| 7:50:00 AM | 28.80 | 27.60 | 27.40 |

**ตารางที่ จ-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 14-16 มีนาคม 2561 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 8:00:00 AM | 29.37 | 27.80 | 27.60 |
| 8:10:00 AM | 29.47 | 27.97 | 27.67 |
| 8:20:00 AM | 29.93 | 28.03 | 27.70 |
| 8:30:00 AM | 29.47 | 28.27 | 27.80 |
| 8:40:00 AM | 30.83 | 28.50 | 28.17 |
| 8:50:00 AM | 31.10 | 28.90 | 28.57 |
| 9:00:00 AM | 31.27 | 29.20 | 28.87 |
| 9:10:00 AM | 31.83 | 29.67 | 29.20 |
| 9:20:00 AM | 32.23 | 29.90 | 29.53 |
| 9:30:00 AM | 31.87 | 30.07 | 29.83 |
| 9:40:00 AM | 32.90 | 30.43 | 30.30 |
| 9:50:00 AM | 33.77 | 30.93 | 30.87 |
| 10:00:00 AM | 33.23 | 31.27 | 31.30 |
| 10:10:00 AM | 33.07 | 31.40 | 31.60 |
| 10:20:00 AM | 34.00 | 31.93 | 32.23 |
| 10:30:00 AM | 34.23 | 32.33 | 32.83 |
| 10:40:00 AM | 34.80 | 32.73 | 33.30 |
| 10:50:00 AM | 35.83 | 33.00 | 33.63 |
| 11:00:00 AM | 35.37 | 33.33 | 34.10 |
| 11:10:00 AM | 36.23 | 33.90 | 34.70 |
| 11:20:00 AM | 35.27 | 34.07 | 35.07 |
| 11:30:00 AM | 36.87 | 34.33 | 35.47 |
| 11:40:00 AM | 36.73 | 34.67 | 35.87 |
| 11:50:00 AM | 37.03 | 34.90 | 36.27 |
| 12:00:00 PM | 36.60 | 35.17 | 36.77 |
| 12:10:00 PM | 36.40 | 35.37 | 37.07 |
| 12:20:00 PM | 37.00 | 35.57 | 37.40 |
| 12:30:00 PM | 37.13 | 35.90 | 37.80 |
| 12:40:00 PM | 37.83 | 36.27 | 38.33 |
| 12:50:00 PM | 38.20 | 36.40 | 38.57 |
| 1:00:00 PM | 37.43 | 36.47 | 38.73 |
| 1:10:00 PM | 37.90 | 36.87 | 39.27 |
| 1:20:00 PM | 38.43 | 37.23 | 39.63 |
| 1:30:00 PM | 38.47 | 37.67 | 40.03 |
| 1:40:00 PM | 38.47 | 37.87 | 40.37 |
| 1:50:00 PM | 37.80 | 38.03 | 40.57 |
| 2:00:00 PM | 39.00 | 38.27 | 40.80 |
| 2:10:00 PM | 38.90 | 38.47 | 41.13 |
| 2:20:00 PM | 38.07 | 38.57 | 41.27 |
| 2:30:00 PM | 38.40 | 38.60 | 41.33 |
| 2:40:00 PM | 38.03 | 38.57 | 41.40 |
| 2:50:00 PM | 37.97 | 38.63 | 41.40 |
| 3:00:00 PM | 38.10 | 38.53 | 41.37 |
| 3:10:00 PM | 37.73 | 38.60 | 41.33 |
| 3:20:00 PM | 37.33 | 38.57 | 41.20 |
| 3:30:00 PM | 36.93 | 38.60 | 41.13 |
| 3:40:00 PM | 36.10 | 38.67 | 40.97 |
| 3:50:00 PM | 35.63 | 38.53 | 40.53 |
| 4:00:00 PM | 34.83 | 38.17 | 40.23 |
| 4:10:00 PM | 35.53 | 37.90 | 40.10 |

**ตารางที่ จ-3** แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 14-16 มีนาคม 2561 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs | ผนังอิฐขาวบรรจุ PCM35+ |
|---|---|---|---|
| 4:20:00 PM | 35.60 | 37.73 | 39.97 |
| 4:30:00 PM | 34.47 | 37.43 | 39.70 |
| 4:40:00 PM | 33.33 | 36.90 | 39.13 |
| 4:50:00 PM | 33.27 | 36.50 | 38.67 |
| 5:00:00 PM | 32.83 | 36.10 | 38.17 |
| 5:10:00 PM | 32.30 | 35.67 | 37.60 |
| 5:20:00 PM | 32.20 | 35.27 | 37.07 |
| 5:30:00 PM | 31.73 | 34.97 | 36.53 |
| 5:40:00 PM | 31.47 | 34.60 | 36.00 |
| 5:50:00 PM | 31.27 | 34.27 | 35.47 |
| 6:00:00 PM | 30.97 | 33.93 | 34.97 |
| 6:10:00 PM | 30.80 | 33.63 | 34.53 |
| 6:20:00 PM | 30.40 | 33.40 | 34.10 |
| 6:30:00 PM | 30.37 | 33.10 | 33.63 |
| 6:40:00 PM | 30.23 | 32.83 | 33.20 |
| 6:50:00 PM | 30.03 | 32.67 | 32.83 |
| 7:00:00 PM | 29.93 | 32.43 | 32.47 |
| 7:10:00 PM | 29.87 | 32.23 | 32.10 |
| 7:20:00 PM | 29.63 | 32.10 | 31.83 |
| 7:30:00 PM | 29.60 | 31.93 | 31.53 |
| 7:40:00 PM | 29.47 | 31.73 | 31.30 |
| 7:50:00 PM | 29.43 | 31.57 | 31.03 |
| 8:00:00 PM | 29.37 | 31.37 | 30.77 |
| 8:10:00 PM | 29.30 | 31.27 | 30.57 |
| 8:20:00 PM | 29.23 | 31.10 | 30.33 |
| 8:30:00 PM | 29.17 | 31.03 | 30.17 |
| 8:40:00 PM | 29.10 | 30.90 | 30.00 |
| 8:50:00 PM | 29.10 | 30.73 | 29.77 |
| 9:00:00 PM | 29.00 | 30.63 | 29.63 |
| 9:10:00 PM | 28.97 | 30.53 | 29.47 |
| 9:20:00 PM | 28.90 | 30.43 | 29.37 |
| 9:30:00 PM | 28.93 | 30.30 | 29.23 |
| 9:40:00 PM | 28.83 | 30.20 | 29.07 |
| 9:50:00 PM | 28.80 | 30.10 | 29.00 |
| 10:00:00 PM | 28.80 | 30.00 | 28.87 |
| 10:10:00 PM | 28.73 | 29.87 | 28.77 |
| 10:20:00 PM | 28.67 | 29.77 | 28.70 |
| 10:30:00 PM | 28.63 | 29.70 | 28.60 |
| 10:40:00 PM | 28.57 | 29.57 | 28.53 |
| 10:50:00 PM | 28.60 | 29.50 | 28.40 |
| 11:00:00 PM | 28.53 | 29.40 | 28.40 |
| 11:10:00 PM | 28.50 | 29.33 | 28.33 |
| 11:20:00 PM | 28.50 | 29.23 | 28.23 |
| 11:30:00 PM | 28.47 | 29.20 | 28.17 |
| 11:40:00 PM | 28.47 | 29.03 | 28.07 |
| 11:50:00 PM | 28.77 | 29.03 | 28.10 |

**อุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs 14-16 มีนาคม 2561**

**ตารางที่ จ-4** แสดงอุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs 14-16 มีนาคม 2561

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ช่องอากาศผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs |
|---|---|---|
| 12:00:00 AM | 28.80 | 28.17 |
| 12:10:00 AM | 28.63 | 28.10 |
| 12:20:00 AM | 28.93 | 28.10 |
| 12:30:00 AM | 28.80 | 28.07 |
| 12:40:00 AM | 28.93 | 28.00 |
| 12:50:00 AM | 28.33 | 27.97 |
| 1:00:00 AM | 28.70 | 27.93 |
| 1:10:00 AM | 28.73 | 27.87 |
| 1:20:00 AM | 28.53 | 27.83 |
| 1:30:00 AM | 28.37 | 27.87 |
| 1:40:00 AM | 28.63 | 27.80 |
| 1:50:00 AM | 28.27 | 27.77 |
| 2:00:00 AM | 28.83 | 27.73 |
| 2:10:00 AM | 28.17 | 27.63 |
| 2:20:00 AM | 28.70 | 27.67 |
| 2:30:00 AM | 28.23 | 27.60 |
| 2:40:00 AM | 28.33 | 27.60 |
| 2:50:00 AM | 28.27 | 27.60 |
| 3:00:00 AM | 28.17 | 27.53 |
| 3:10:00 AM | 28.40 | 27.57 |
| 3:20:00 AM | 28.40 | 27.53 |
| 3:30:00 AM | 28.43 | 27.53 |
| 3:40:00 AM | 28.23 | 27.43 |
| 3:50:00 AM | 28.03 | 27.47 |
| 4:00:00 AM | 28.03 | 27.47 |
| 4:10:00 AM | 28.43 | 27.43 |
| 4:20:00 AM | 28.33 | 27.40 |
| 4:30:00 AM | 27.90 | 27.40 |
| 4:40:00 AM | 27.93 | 27.37 |
| 4:50:00 AM | 27.87 | 27.33 |
| 5:00:00 AM | 28.33 | 27.30 |
| 5:10:00 AM | 28.03 | 27.20 |
| 5:20:00 AM | 27.83 | 27.23 |
| 5:30:00 AM | 28.07 | 27.23 |
| 5:40:00 AM | 28.10 | 27.17 |
| 5:50:00 AM | 28.20 | 27.17 |
| 6:00:00 AM | 27.80 | 27.13 |
| 6:10:00 AM | 27.80 | 27.17 |
| 6:20:00 AM | 27.80 | 27.13 |
| 6:30:00 AM | 27.80 | 27.03 |
| 6:40:00 AM | 27.87 | 27.07 |
| 6:50:00 AM | 27.87 | 27.10 |
| 7:00:00 AM | 28.03 | 27.07 |
| 7:10:00 AM | 28.20 | 27.17 |
| 7:20:00 AM | 28.27 | 27.17 |
| 7:30:00 AM | 28.47 | 27.23 |

**ตารางที่ จ-4** แสดงอุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs 14-16 มีนาคม 2561 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ช่องอากาศผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs |
|---|---|---|
| 7:40:00 AM | 28.53 | 27.37 |
| 7:50:00 AM | 28.80 | 27.47 |
| 8:00:00 AM | 29.37 | 27.60 |
| 8:10:00 AM | 29.47 | 27.77 |
| 8:20:00 AM | 29.93 | 27.93 |
| 8:30:00 AM | 29.47 | 28.17 |
| 8:40:00 AM | 30.83 | 28.37 |
| 8:50:00 AM | 31.10 | 28.73 |
| 9:00:00 AM | 31.27 | 29.10 |
| 9:10:00 AM | 31.83 | 29.47 |
| 9:20:00 AM | 32.23 | 29.93 |
| 9:30:00 AM | 31.87 | 30.27 |
| 9:40:00 AM | 32.90 | 30.63 |
| 9:50:00 AM | 33.77 | 31.20 |
| 10:00:00 AM | 33.23 | 31.87 |
| 10:10:00 AM | 33.07 | 32.20 |
| 10:20:00 AM | 34.00 | 32.67 |
| 10:30:00 AM | 34.23 | 33.23 |
| 10:40:00 AM | 34.80 | 33.83 |
| 10:50:00 AM | 35.83 | 34.17 |
| 11:00:00 AM | 35.37 | 34.80 |
| 11:10:00 AM | 36.23 | 35.37 |
| 11:20:00 AM | 35.27 | 36.00 |
| 11:30:00 AM | 36.87 | 36.47 |
| 11:40:00 AM | 36.73 | 36.90 |
| 11:50:00 AM | 37.03 | 37.53 |
| 12:00:00 PM | 36.60 | 38.07 |
| 12:10:00 PM | 36.40 | 38.53 |
| 12:20:00 PM | 37.00 | 38.93 |
| 12:30:00 PM | 37.13 | 39.47 |
| 12:40:00 PM | 37.83 | 39.90 |
| 12:50:00 PM | 38.20 | 40.23 |
| 1:00:00 PM | 37.43 | 40.47 |
| 1:10:00 PM | 37.90 | 40.83 |
| 1:20:00 PM | 38.43 | 41.30 |
| 1:30:00 PM | 38.47 | 41.77 |
| 1:40:00 PM | 38.47 | 42.17 |
| 1:50:00 PM | 37.80 | 42.37 |
| 2:00:00 PM | 39.00 | 42.63 |
| 2:10:00 PM | 38.90 | 42.83 |
| 2:20:00 PM | 38.07 | 43.00 |
| 2:30:00 PM | 38.40 | 43.10 |
| 2:40:00 PM | 38.03 | 43.10 |
| 2:50:00 PM | 37.97 | 43.10 |
| 3:00:00 PM | 38.10 | 43.03 |
| 3:10:00 PM | 37.73 | 43.00 |
| 3:20:00 PM | 37.33 | 42.93 |
| 3:30:00 PM | 36.93 | 42.80 |

**ตารางที่ จ-4** แสดงอุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs 14-16 มีนาคม 2561 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ช่องอากาศผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs |
|---|---|---|
| 3:40:00 PM | 36.10 | 42.67 |
| 3:50:00 PM | 35.63 | 42.47 |
| 4:00:00 PM | 34.83 | 42.23 |
| 4:10:00 PM | 35.53 | 41.83 |
| 4:20:00 PM | 35.60 | 41.67 |
| 4:30:00 PM | 34.47 | 41.43 |
| 4:40:00 PM | 33.33 | 40.83 |
| 4:50:00 PM | 33.27 | 40.23 |
| 5:00:00 PM | 32.83 | 39.60 |
| 5:10:00 PM | 32.30 | 38.97 |
| 5:20:00 PM | 32.20 | 38.37 |
| 5:30:00 PM | 31.73 | 37.73 |
| 5:40:00 PM | 31.47 | 37.17 |
| 5:50:00 PM | 31.27 | 36.67 |
| 6:00:00 PM | 30.97 | 36.10 |
| 6:10:00 PM | 30.80 | 35.57 |
| 6:20:00 PM | 30.40 | 35.07 |
| 6:30:00 PM | 30.37 | 34.60 |
| 6:40:00 PM | 30.23 | 34.13 |
| 6:50:00 PM | 30.03 | 33.73 |
| 7:00:00 PM | 29.93 | 33.33 |
| 7:10:00 PM | 29.87 | 32.97 |
| 7:20:00 PM | 29.63 | 32.60 |
| 7:30:00 PM | 29.60 | 32.30 |
| 7:40:00 PM | 29.47 | 31.93 |
| 7:50:00 PM | 29.43 | 31.70 |
| 8:00:00 PM | 29.37 | 31.37 |
| 8:10:00 PM | 29.30 | 31.13 |
| 8:20:00 PM | 29.23 | 30.90 |
| 8:30:00 PM | 29.17 | 30.67 |
| 8:40:00 PM | 29.10 | 30.47 |
| 8:50:00 PM | 29.10 | 30.23 |
| 9:00:00 PM | 29.00 | 30.07 |
| 9:10:00 PM | 28.97 | 29.90 |
| 9:20:00 PM | 28.90 | 29.77 |
| 9:30:00 PM | 28.93 | 29.60 |
| 9:40:00 PM | 28.83 | 29.43 |
| 9:50:00 PM | 28.80 | 29.30 |
| 10:00:00 PM | 28.80 | 29.17 |
| 10:10:00 PM | 28.73 | 29.07 |
| 10:20:00 PM | 28.67 | 29.00 |
| 10:30:00 PM | 28.63 | 28.87 |
| 10:40:00 PM | 28.57 | 28.77 |
| 10:50:00 PM | 28.60 | 28.70 |
| 11:00:00 PM | 28.53 | 28.63 |
| 11:10:00 PM | 28.50 | 28.50 |
| 11:20:00 PM | 28.50 | 28.47 |
| 11:30:00 PM | 28.47 | 28.33 |

**ตารางที่ จ-4** แสดงอุณหภูมิภายในช่องอากาศกล่องทดลองผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs 14-16 มีนาคม 2561 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิอากาศ | ช่องอากาศผนังอิฐขาวไม่บรรจุ PCMs |
|---|---|---|
| 11:40:00 PM | 28.47 | 28.23 |
| 11:50:00 PM | 28.77 | 28.23 |

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นาย วิศรุต เอ็นดู |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 14 ตุลาคม 2532 |
| **สถานที่เกิด** | กรุงเทพมหานคร |
| **วุฒิการศึกษา** | พ.ศ. 2555 : สำเร็จการศึกษาหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | เลขที่ 15 ซ.เจริญนคร9 (วัดสุวรรณ) ถ.เจริญนคร แขวงคลองต้นไทร เขตคอลงสาน กทม. 10600 |

มหาวิทยาลัยศิลปากร