ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น

นางน้ำผึ้ง ปัตตวงษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

EXTERNAL WALLS FOR DETACHED HOME

THAT ARE SUITABLE FOR TROPICAL COUNTRIES

Mrs. Nampueng Pattavong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น
โดย	นางน้ำผึ้ง ปัตตวงษ์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พร วิรุฬห์รักษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลรัตน์ อิสระธรรมนูญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ 1

สารบัญตาราง 5

บทที่ 1 บทนำ 6

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 6

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 8

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 8

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 8

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9

บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรม 10

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไป 10

2.1.1 อิทธิพลของรังสีจากดวงอาทิตย์ 10

2.1.2 การแผ่รังสีความร้อน 10

2.1.5 การหน่วงเหนี่ยวความร้อน 14

2.1.6 ค่าการนำความร้อนของวัสดุ 14

2.2 ศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านผนังภายนอกเข้าสู่อาคาร 15

2.3 คุณสมบัติความเป็นฉนวน [9] 19

ความสามารถในการต้านทานความร้อน 19

2.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal Transfer) 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.5 ปัจจัยที่เกิดจากคุณสมบัติของตัววัสดุผนัง 19
2.6 การเลือกใช้วัสดุผนังอาคารวัสดุผนังและวัสดุปิดผนัง 22
2.7 การเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน 28
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
2.9 สรุปการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 31
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 32
3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยว 32
ขั้นตอนที่ 1 32
ศึกษาวัสดุที่นิยมใช้ทำผนังอาคารในปัจจุบัน 32
3.2 ศึกษาตัวแปรที่ใช้ 48
3.2.1 ประเภทที่มีค่ามวลสารน้อย 48
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ 50
3.3.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นเครื่องวัด 51
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการวิจัย 53
4.1 ผลการเก็บข้อมูลคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยว โดยการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง 53
4.1.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน ของผนังทั้ง 5 ประเภทด้านทิศตะวันตก 79
4.1.7 วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่นิยมใช้ทำผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท 82
4.2 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท 84
4.3 สรุปแนวทางการเลือกใช้ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสม 96
4.3.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังเดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุง 99
บทที่ 5 สรุปการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย 104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

5.1 สรุปผลการวิจัย 104
5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการประยุกต์ใช้ 110
5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย 112
5.4 เสนอแนะแนวทางประยุกต์ใช้ 112
5.5 อภิปรายผลการวิจัย 113
รายการอ้างอิง 114
ภาคผนวก ก 115
ภาคผนวก ข 117
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 119

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 แสดงลักษณะบ้านไทยและสภาพแวดล้อมที่สมบูรณ์ [1]..... 6

ภาพที่ 1.2 แสดงบ้านเดี่ยวที่ผนังใช้วัสดุที่ก่อด้วยอิฐพร้อมฉาบปูนเรียบ..... 7

ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์กระทบผิวเปลือกโลก [2]..... 11

ภาพที่ 2.2 ภาพแสดงแสงตกกระทบวัสดุ [3] 11

ภาพที่ 2.3 ภาพแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้องสำหรับละติจูด 16 องศาเหนือ[4] 13

ภาพที่ 2.4 แสดง Surface Conductances and Resistances for Air Surface Emittance [7] 17

ภาพที่ 2.5 แสดงภาพรวมวิธีการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นตาม ASHRAE Fundamental 1989. [8]..... 18

ภาพที่ 2.6 แสดงอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐทั่วไปกับผนังก่ออิฐที่ปรับปรุงด้วยการเพิ่มวัสดุฉนวนกันความร้อนตั้งแต่ 1-5 นิ้ว พบว่าการเพิ่มวัสดุฉนวนผสมผสานกับผนังก่ออิฐทั่วไป จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความร้อนผ่านเข้าภายในอาคารได้ดีกว่าผนังก่ออิฐทั่วไปมาก โดยเฉพาะการเพิ่มฉนวนที่ 1 นิ้ว แรก สามารถลดปริมาณความร้อนลงได้ถึง 4 เท่า [4] 20

ภาพที่ 2.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร 6 ชนิด [10] 21

ภาพที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน(R)ของวัสดุต่างๆที่ความหนา 1 นิ้ว [4] 26

ภาพที่ 2.9 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับอากาศ 27

ภาพที่ 2.10 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของเดือนเมษายนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับอากาศ [4] 28

ภาพที่ 3.1 บ้านเดี่ยวก่อสร้างด้วยผนังไม้ อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา 33

ภาพที่ 3.2 แสดงการติดตั้งผนังไม้ฝาตีซ้อนเกล็ดทางนอน 1/2"x6" (Wood) 34

ภาพที่ 3.3 บ้านเดี่ยวติดตั้งด้วยอิฐมอญ อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.4 แสดงการติดตั้งผนังผนังอิฐมอญ หนา 4นิ้ว 38
ภาพที่ 3.5 บ้านเดี่ยวติดตั้งด้วยผนังคอนกรีตบล็อก อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 39
ภาพที่ 3.6 แสดงการก่อฉาบคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว 40
ภาพที่ 3.7 บ้านเดี่ยวติดตั้งผนังอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบา อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 42
ภาพที่ 3.8 แสดงการก่อฉาบคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว 43
ภาพที่ 3.9 บ้านเดี่ยวติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จ (Pre cast) อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 45
ภาพที่ 3.10 แสดงการติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จ (Precast) หนา 3 นิ้ว 46
ภาพที่ 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร 5 ประเภท 49
ภาพที่ 3.12 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิผิววัสดุด้วยรังสีอินฟราเรด รุ่น testo 860-T2 50
ภาพที่ 3.13 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น DIGICON Model: 303C 51
ภาพที่ 4.1 แสดงเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังไม้ ทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557 54
ภาพที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังไม้ หนา 4” 55
ภาพที่ 4.3 แสดงเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายในของผนังไม้ 56
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังไม้ หนา 4” 57
ภาพที่ 4.5 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังไม้ 58
ภาพที่ 4.6 แสดงเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังก่ออิฐ 59
ภาพที่ 4.7 แสดงค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังอิฐมอญ หนา 4” 60
ภาพที่ 4.8 แสดงเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายในของผนังอิฐมอญ 61
ภาพที่ 4.9 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังอิฐมอญ หนา 4” 62
ภาพที่ 4.10 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังอิฐมอญ ... 63
ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของคอนกรีตบล็อก 64
ภาพที่ 4.12 แสดงค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4” 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่4.13 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนังและอุณหภูมิผิวภายในของผนังคอนกรีตบล็อก 66

ภาพที่4.14 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4” 67

ภาพที่4.15 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังคอนกรีตบล็อก 68

ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนัง 69

ภาพที่ 4.17 แสดงค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4”..... 70

ภาพที่4.18 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4” 72

ภาพที่ 4.19 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของ 73

ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนัง และอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังคอนกรีต สำเร็จรูปทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557 74

ภาพที่ 4.21 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปหนา 3” ... 75

ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนังและอุณหภูมิผิวภายในของ ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557..... 76

ภาพที่ 4.23 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3” .. 77

ภาพที่ 4.24 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3” 78

ภาพที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของผนังทั้ง 5 ประเภทด้านทิศตะวันตก..... 79

ภาพที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ของผนังทั้ง 5 ประเภท..... 80

ภาพที่ 4.27 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังไม้หนา หนา ½”x 6 นิ้ว 85

ภาพที่ 4.28 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value) ของ..... 86

ภาพที่ 4.29 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value)..... 87

ภาพที่ 4.30 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว 88

ภาพที่ 4.31 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3 นิ้ว..... 89

ภาพที่ 4.32 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภททางทิศตะวันตก เดือนเมษายน..... 90

ภาพที่ 4.33 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังไม้ ½”x 6” 92

ภาพที่ 4.34 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังอิฐมอญหนา 4” 92

ภาพที่ 4.35 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4” 92

ภาพที่ 4.36 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4” 93

ภาพที่ 4.37 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 4” 93

ภาพที่ 4.38 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวผนังภายนอก – ผิวภายในของผนังอิฐมอญ หนา 4” กับผนังไม้1/2”x 6” หนา 4” ในช่วงเวลา 17.00-20.00 น. (เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุด) ทิศตะวันตก เดือน เมษายน..... 94

ภาพที่ 4.39แสดงอิทธิพลของ MRT สูง ที่เกิดจากผนังอาคาร (ที่นิยมใช้)..... 95

ภาพที่5.1แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังไม้ ½”x6” 105

ภาพที่5.2แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังอิฐมอญ..... 106

ภาพที่5.3 แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังคอนกรีตมวลเบา..... 108

ภาพที่5.4 แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป..... 109

ภาพที่ 5.5 แสดงการเกิดหยดน้ำจากการควบแน่นในผนังในกรณีปรับอากาศที่มีการติดตั้งฉนวนรูปแบบต่างๆ..... 111

ภาพที่5.6 แสดงอุณหภูมิห้องของผนังดีมีมวลสารน้อย 113

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร [10] 24

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ 25

ตารางที่ 3.1 เก็บข้อมูลผนังภายนอกของบ้านเดี่ยวจากสถานที่จริงในพื้นที่ภาคกลางจำนวน 5 หลัง..... 32

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความเป็นฉนวนของ..... 35

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนความเป็นฉนวนของผนังอิฐมอญ..... 37

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความเป็นฉนวนของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว..... 41

ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความเป็นฉนวนของ..... 44

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติด้านการประหยัดพลังงานของผนังแต่ละประเภท..... 82

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Values) ของแต่ละวัสดุที่นิยมสร้างบ้านพักอาศัยในปัจจุบันทั้ง 5 ประเภท..... 84

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (ค่า R –Value ต่ำและค่า R –Value สูง) ของผนังไม้ ½”x 6”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4”..... 96

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ค่า R –Value ต่ำ และ ค่า R –Value สูง) ของผนังอิฐมอญ หนา 4”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4” 97

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ค่า R –Value ต่ำ และ ค่า R –Value สูง) ของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4”..... 97

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ค่า R –Value ต่ำ และ ค่า R –Value สูง) ของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4” 98

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น การดำรงชีวิตของคนไทยในอดีตเป็นวิถีชีวิตที่เรียบง่ายอยู่อย่างพอเพียงท่ามกลางสภาพแวดล้อมที่อุดมสมบูรณ์ ลักษณะบ้านทรงไทยได้รับการออกแบบให้กับอยู่สภาพแวดล้อมที่สมบูรณ์ด้วยระบบพึ่งพาธรรมชาติ ทำให้ผู้อยู่อาศัยได้รับความสบายไม่ร้อนประกอบกับบ้านไทยยังเป็นเอกลักษณ์ที่งดงามเฉพาะตัว คือการยกใต้ถุนสูง มีหลังคาทรงแหลมลาดชัน

ภาพที่ 1.1 แสดงลักษณะบ้านไทยและสภาพแวดล้อมที่สมบูรณ์ [1]

จากอดีตสู่ปัจจุบันสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปในประเทศไทยมีอุณหภูมิความร้อนสูงและความชื้นสูง อิทธิพลของอากาศจึงมีผลต่อลักษณะบ้านพักอาศัยโดยตรง วงโคจรของพระอาทิตย์มีลักษณะค่อนไปทางทิศใต้ ทำให้ได้รับอิทธิพลจากแสงแดดตลอดปี ความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) การนำความร้อน (Conduction) ผ่านผนังภายนอกทำให้เกิดการสะสมความร้อนและส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านทำให้อุณหภูมิภายในมีความร้อนสูง ส่งผลทำให้ผู้อยู่อาศัยอยู่แล้วไม่สบายและประกอบกับปัจจุบันสถาปนิกผู้ออกแบบรวมถึงคนทั่วไปยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องของวัสดุที่นำมาใช้กับงานก่อสร้างผนังภายนอกที่ถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งานอาคาร ผนังภายนอกนั้นคอยปกป้องตัวบ้านจากสภาพแวดล้อมต่างๆ ทั้งแสงแดด ความร้อน กระแสลม สายฝน ส่วนผนังภายใน ทำหน้าที่เป็นส่วนแบ่งพื้นที่ใช้สอยต่างๆ เช่นห้องนอน ห้องรับแขก ห้องครัว ห้องน้ำ เป็นต้น ถ้าเลือกใช้วัสดุนำมาใช้กับงานก่อสร้างผนังไม่ถูกก็จะทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกไม่สบาย เพราะภายในบ้านมีอุณหภูมิอากาศร้อนมากจากความร้อนที่ทะลุผ่านผนังภายนอกเข้าสู่ภายในบ้าน ทำให้ผู้อยู่อาศัยไม่รู้สึกสบายโดยการเพิ่มภาระการทำความเย็นจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศเพื่อให้รู้สึกสบาย

ภาพที่ 1.2 แสดงบ้านเดี่ยวที่ผนังใช้วัสดุที่ก่อด้วยอิฐพร้อมฉาบปูนเรียบ
หมู่บ้านชลดา อ.เมือง จ.สระบุรี

การออกแบบบ้านเดี่ยวต้องเข้าใจคุณสมบัติของผนังภายนอก รวมถึงประโยชน์ที่นำไปออกแบบอาคารเพื่อประหยัดพลังงานที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างแท้จริง โดยคำนึงถึงอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ คือ แดด ฝน และลม ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างทุกส่วนของผนังภายนอกบ้านเดี่ยวจำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ดีมีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนสูง (ค่า R Values สูง) มีมวลสารหนาแน่นและมีคุณสมบัติในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ของวัสดุผนังเป็นอย่างดี รวมถึงการลดภาระการทำความเย็นหรือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ (ค่า U Values ต่ำ) จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศเพื่อให้รู้สึกไม่ร้อน จากปัญหาต่างๆ นี้ จึงเอามาเป็นแนวคิดที่จะศึกษาผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น เพื่อมาเป็นแนวทางการแนะนำการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างสำหรับผนังภายนอกที่มีประสิทธิภาพลดความร้อนเข้าสู่อาคาร เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัย และตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตให้เข้าวิถีชีวิตสมัยใหม่ของผู้อยู่อาศัยในยุคปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 วิเคราะห์คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยว โดยการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง

1.2.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท

1.2.3 หาแนวทางการเลือกใช้ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาผนังภายนอกที่มีใช้กันทั่วไปในประเทศไทย จำนวน 5 ประเภท คือ ผนังไม้ ผนังอิฐมอญ ผนังคอนกรีตบล็อก ผนังคอนกรีตมวลเบา ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

1.3.2 ศึกษาเฉพาะบ้านเดี่ยว ขนาด 1 ครอบครัว ภายในประเทศไทย

1.3.3 ศึกษาเฉพาะฤดูร้อน (เมษายน) เพราะเป็นช่วงที่สภาพอากาศร้อนที่สุดของปี

1.3.4 วิเคราะห์ผนังภายนอกด้านค่าภาระการทำความเย็นไม่พิจารณาถึงความชื้นและราคาค่าก่อสร้าง

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงเก็บข้อมูลกำหนดวัสดุที่นิยมใช้ในการก่อสร้างผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท ทำการศึกษาในเดือนเมษายน มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1.4.1 วิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวภายนอก - ผิวภายในของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท เพื่อทราบตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าภาระการทำความเย็น โดยเลือกบ้านเดี่ยว จำนวน 5 หลัง จากวัสดุผนังภายนอก 5 ประเภท เพื่อวัดอุณหภูมิของวัสดุอุณหภูมิความร้อนและเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์เพื่อเสนอแนะการเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติในการกันความร้อนในการออกแบบผนังภายนอกที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย โดยเลือกสำรวจบ้านเดี่ยว เช่น ที่ติดตั้งวัสดุด้วยผนังไม้ (Wood), ผนังอิฐมอญ (Brick), ผนังคอนกรีตบล็อก (Concrete Masonry- Unit) ผนังอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete-ACC) และผนังคอนกรีตสำเร็จ (Precast)

1.4.2 ศึกษาการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่ผ่านผนังภายนอก ตาม 1989, ASHRAE Fundamentals Handbook

- ศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านผนังภายนอกเข้าสู่อาคาร
- ศึกษาคุณสมบัติของผนังภายนอกประเภทต่างๆ ที่มีผลต่อค่าพลังงานความร้อน
- คำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากคุณสมบัติของผนังภายนอก เพื่อหาแนวทางการเลือกผนังที่เหมาะสม

1.4.2 เพื่อทราบถึงผนังภายนอกที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น

- นำผลมาวิเคราะห์ เพื่อปรับปรุงแก้ไขในการประยุกต์ใช้
- วิเคราะห์ผลงานวิจัย ความคุ้มค่าของงานวิจัยที่ได้รับ อภิปรายผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าภาระการทำความเย็นของผนังภายนอก

1.5.2 ได้ทราบถึงผลกระทบต่อค่าภาระการทำความเย็นของผนังภายนอกแต่ละประเภท ว่ามีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร

1.5.3 แนวทางการเลือกใช้ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไป

2.1.1 อิทธิพลของรังสีจากดวงอาทิตย์

การถ่ายเทพลังงานรังสีความร้อน โดยการนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ซึ่งวิธีการถ่ายเทความร้อนนั้น ต่างกันตรงตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ตามทฤษฎี Thermodynamics การแผ่รังสีความร้อนจะส่งผ่านจากที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในขณะที่การนำและการพาความร้อนต้องอาศัยการส่งผ่านโดยอาศัยตัวกลางเท่านั้น การแผ่รังสีสามารถส่งผ่านสุญญากาศได้เพียงแต่ต้องการด้าน 2 ด้านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและหันหน้าเข้าหากัน โดยด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ารังสี (Radiation) คือกลุ่มของความถี่ (Band) หนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แหล่งของรังสีที่เกี่ยวข้อง คือ

- รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Spectrum)
- รังสีความร้อนระหว่างมนุษย์และพื้นผิวอาคาร (Far-infrared Spectrum)

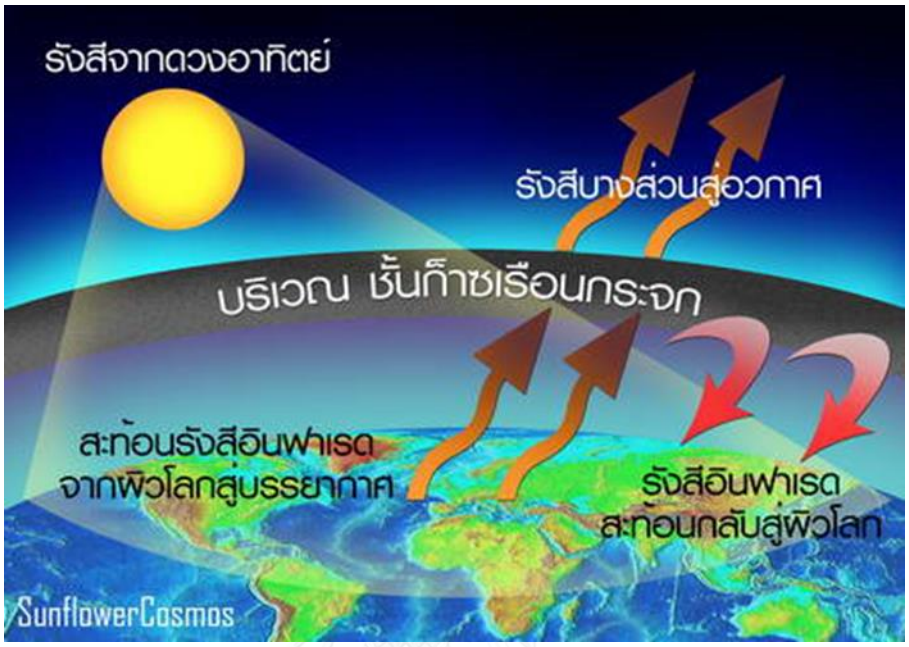
2.1.2 การแผ่รังสีความร้อน

ดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนและแสงสว่างให้กับโลก ซึ่งรังสีความร้อนเข้ามาถึงผิวโลกประมาณ 420 Btu ft^2 h. หรือเท่ากับ 1.94 Cal cm^2 min ทั้งนี้โลกได้รับรังสีความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะเป็นมากเนื่องจากมีบรรยากาศโลกห่อหุ้มไว้ส่วนหนึ่งของรังสีถูกดูดซึมไว้ในบรรยากาศบางส่วนกระจายออกเพราะกระทบกับโมเลกุลของบรรยากาศส่วนหนึ่งพื้นดินจะรับไว้และเก็บในรูปของความร้อนและค่อยๆ คายออกมาสู่อากาศผิวดินยิ่งผิวโลกที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากเท่าไรรังสีความร้อนที่ได้รับก็จะเพิ่มขึ้นตามความสูงการถ่ายเทรังสีความร้อน การถ่ายเทรังสีความร้อนมีอยู่หลายลักษณะตามชนิดของต้นกำเนิดและลักษณะการถ่ายเท คือ

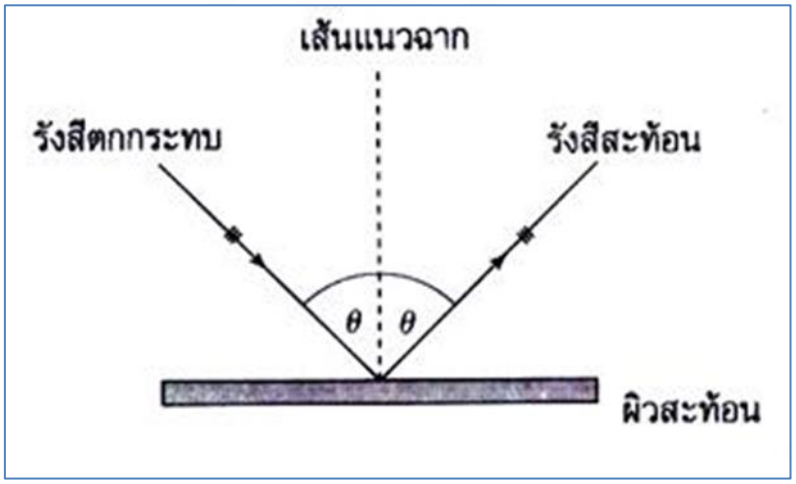
1) คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์
2) คลื่นรังสีสั้นแผ่กระจาย
3) คลื่นรังสีสั้นสะท้อนจากพื้นดินและสิ่งใกล้เคียง
4) คลื่นรังสียาวจากพื้นดินหรือสิ่งใกล้เคียงที่ร้อน
5) คลื่นรังสียาวที่อาคารแผ่กลับให้บรรยากาศ

คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์กับคลื่นรังสีแผ่กระจายรวมกันเรียกว่าคลื่นรังสีรวมหรือการแผ่รังสีรวม (Total Radiation) ซึ่งมีความสำคัญในการพิจารณาเรื่องการได้รับความร้อนทางด้านต่างๆ ของอาคาร วิเคราะห์ในเรื่องทิศทางการวางอาคารรูปร่างสัดส่วนของอาคารในเขตร้อน การควบคุมอุณหภูมิของอาคารเทคนิคการก่อสร้างอาคารในเขตร้อน เป็นต้น การแผ่รังสีสะท้อนจากสิ่งที่อยู่ใกล้เคียงปกติพื้นที่แนวนอนได้รับรังสีเป็น 2 เท่าของพื้นที่แนวตั้งในช่วงเวลาที่เกิดความร้อนวิกฤต (Overheated Period) เช่นช่วง 14.00 น. – 16.00 น. ฉะนั้นอาคารข้างเคียงส่วนของอาคารหรือระดับพื้นแนวนอนที่มีผิววัสดุบางอย่างที่จะสะท้อนความร้อนจำนวนมากที่เข้ามาในอาคารโดยง่าย การออกแบบอาคารโดยมีดาดฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดใหญ่จะสะท้อนแสงและส่งผ่าน

ความร้อนเข้าในห้องชั้นบน จึงควรหลีกเลี่ยงให้มากและควรมีการวิเคราะห์ที่ตั้งโครงการให้สัมพันธ์กับทิศทางแดดลม ซึ่งจะสัมพันธ์ไปถึงการวางตำแหน่งห้องต่างๆ ของอาคารและรวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ประกอบอาคารด้วย



ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์กระทบผิวเปลือกโลก [2]



ภาพที่ 2.2 ภาพแสดงแสงตกกระทบวัสดุ [3]

2.1.3 อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว

รังสีความร้อน เป็นรังสีในรูปคลื่นยาว และมีพลังงานต่ำ เมื่อรังสีกระทบวัสดุใด ๆ จะเกิดการสะท้อนส่งผ่านและดูดซึมไว้ในวัสดุนั้น ๆ วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสี ส่งผ่านรังสี และดูดซึมรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี การคายรังสีจะมีค่าสูงที่ทิศทางตั้งฉากความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีเชิง Spectrum ทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น

- อุณหภูมิของพื้นผิว การพารังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการคายรังสีของโลหะจะลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

- ความขรุขระของพื้นผิว เนื่องจากผลของการขรุขระที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเสมือนโพลง จึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสี มีผลทำให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้นนั้น คือการคายรังสีมีค่าสูงขึ้น

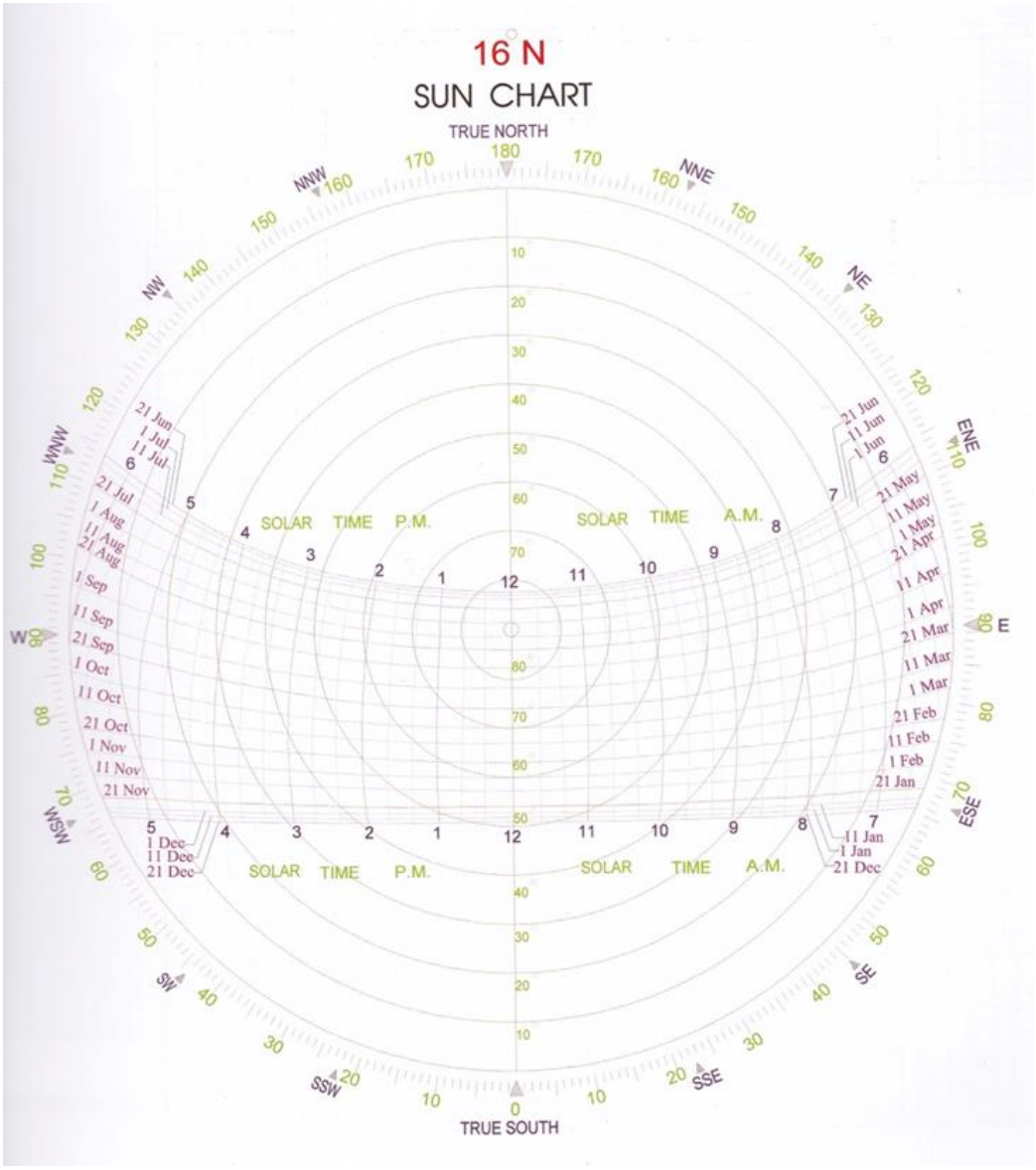
- การเจือปนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยการทำให้การแผ่รังสีมีค่าสูงขึ้น

2.1.4 การสะสมความร้อน

เมื่อมวลสารได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เท่ากันในช่วงเวลากลางวัน วัสดุจะกักเก็บความร้อนไว้จนเต็มมวลสาร ทั้งนี้ปริมาณความร้อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความจุความร้อนจำเพาะวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

ค่าความจุความร้อน = ค่าความหนาแน่น * ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

(Heat Capacity) (Density) (Specific Heat)



ภาพที่ 2.3 ภาพแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้องสำหรับละติจูด 16 องศาเหนือ[4]

ในการศึกษาเรื่องอิทธิพลของการสะสมความร้อน ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร ให้ความสำคัญกับปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = m \times c \times T$$

เมื่อ

Q = ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุ (J หรือ cal)

C = ค่าความจุความร้อนของสารแต่ละตัว (J/kg.K หรือ cal/g^{o}C)

m = มวลของวัตถุ (kg หรือ g)

T = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของวัตถุ (K หรือ ^{o}C)

2.1.5 การหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag)

โดยทั่วไปวัสดุมีมวลสารมากสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้ระยะเวลานานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยความร้อนที่ผ่านวัสดุจะถูกสะสมอยู่ในมวลสารภายในก่อน เมื่อมวลสารภายในมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอกโดยรอบหรือสะสมจนถึงขีดสุดของความสามารถในการกักเก็บความร้อนแล้ว ปริมาณความร้อนที่เหลือจึงจะถ่ายเทไปยังด้านที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าของวัสดุต่อไป การกักเก็บความร้อนเป็นส่วนหนึ่งของคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนจำเพาะกับความหนาแน่นของวัสดุ [5] เมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่วัสดุ วัสดุจะสะสมความร้อนนั้นไว้จนเต็มความสามารถที่วัสดุจะสามารถเก็บไว้ได้ แล้วจึงเปล่งรังสีความร้อนส่วนที่เกินออกมา ช่วงเวลานี้เรียกว่า ระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน นอกจากนี้ระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของวัสดุอีกด้วย โดยระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนต่อชั่วโมง

2.1.6 ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity (K))

อัตราการนำความร้อนที่ขึ้นกับโครงสร้างของโมเลกุล ยิ่งมีการจัดเรียงเป็นระเบียบและชิดกันมากของวัตถุเนื้อเดียวซึ่งหมายถึงมีความหนาแน่นสูงแล้ว มักจะมีค่าการนำความร้อนสูงด้วย วัตถุเนื้อเดียวจะมีค่าการนำความร้อนสูง

2.1.7 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร (U-Value) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีค่าเท่ากับ $1/\sum R$ มีหน่วยเป็น W/(m^{2}^{o}C) โดยค่า $\sum R$ หมายถึงค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนัง มีหน่วยเป็น (m^{2}^{o}C)/W ดังนั้นหากวัสดุผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก ก็หมายถึงมีค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังน้อย ความร้อนจึงสามารถถ่ายเทเข้ามาสู่ภายในอาคาร ได้มากกว่าวัสดุผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าหรือออกจากอาคารอันเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับภายใน

ปัจจัยในอากาศเป็นส่วนร่วมของข้อมูลที่มีความแตกต่างกันทางอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นการยากที่จะแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกัน เพียงแค่อุณหภูมิของอากาศได้การออกแบบให้สภาวะภายในอาคารมีความสมดุลทางบรรยากาศจึงต้องวิเคราะห์ถึงความสำคัญที่เกี่ยวเนื่องกันของปัจจัยทั้งหมดในอากาศซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีส่วนร่วมในสภาวะน่าสบายดังกล่าวคืออุณหภูมิอากาศ การแผ่รังสีความร้อนความชื้นสัมพัทธ์และกระแสลมการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของอุณหภูมิประจำปีรวมทั้งการเหนี่ยวนำให้เกิดการพัดของกระแสลมขึ้นอยู่กับปริมาณการแผ่รังสีความร้อน

จากดวงอาทิตย์ซึ่งเกิดเนื่องจากการโคจรผ่านโลกแตกต่างกันไปตามฤดูกาล ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวกับอุณหภูมิการแผ่รังสีการโคจรของดวงอาทิตย์และกระแสลมจึงเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ

2.1.8 อุณหภูมิอากาศและความเร็วลมภายนอกส่งผลต่ออัตราแลกเปลี่ยน

ความร้อนระหว่างอากาศภายนอกกับผิวผนังภายนอกโดยตรง (Surface conduction) ซึ่งอิทธิพลจะมีค่าน้อยมากในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก ซึ่งส่งผลต่อการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร

2.2 ศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านผนังภายนอกเข้าสู่อาคาร

วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังภายนอกสำหรับบ้านพักอาศัยใช้เครื่องปรับอากาศ โดยการประมวลผลหาค่า CLTD เพื่อหาค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling load Temperature Difference) ของวัสดุผนังภายนอก เพื่อให้เหมาะสมกับการลดใช้พลังงาน ที่ได้มาถึงตัวแปรอุณหภูมิอากาศ ซึ่งเป็นผลจากสภาวะแวดล้อมที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ตัวแปรสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุผิวอาคาร และตัวแปรพื้นที่เปลือกอาคารภายนอก [6] โดยสามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารแทนค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร (T) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถพิจารณาจากสมการ

จากสมการ

1) $Q = U * A * \Delta T$ สมการที่ 1

2) $Q = U * A * CLTD$ สมการที่ 2

3) $Q = U * S/A * \Delta T * 1/COP$ สมการที่ 3

โดยที่ $Q_{(conduct)}$ = ภาระการทำความเย็นจากการนำความร้อน (Btu/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง ($BTU/h.ft^2.\ ^\circ F$)

A = พื้นที่ของผนังที่ถ่ายเทความร้อน (ft^2.)

S/A = สัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวเปลือกอาคารกับพื้นที่ใช้สอย (m^2)

ΔT = ความแตกต่างความร้อนระหว่างภายในกับภายนอก ($^\circ C$, $^\circ F$)

CLTD = ภาระความแตกต่างความร้อนเทียบเท่าหรือ Cooling Load Temperature Difference ($^\circ F$)

1/COP = ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

จากสมการทั้ง 3 ข้างต้น จะพบว่าสมการที่ 1 จะใช้คำนวณกรณีที่ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายในและภายนอก มีค่าคงที่ (Steady State Condition) หรือมีอิทธิพลจากตัวแปรอื่น ๆ น้อยหรือไม่มีผลกระทบรุนแรงหรือมีอัตราเสี่ยงต่ำ ในการคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น เช่น กรณีอาคารในเมืองหนาว เป็นต้น

และสมการที่ 2 ค่า Δ T จะถูกแทนที่ด้วยค่า CLTD เพื่อปรับค่าในสภาวะที่มีค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายในและภายนอก มีค่าไม่คงที่ (Unsteady State Condition) ทั้งนี้เพื่อให้การคำนวณค่า Peak Load ของอาคารถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนสูงสุด โดยที่มีการแยกการคำนวณตามเขตโซนละติจูด วัน เดือน เวลา มวลสารของผนังแต่ละปะเภททิศทางที่รับแสงแดด และลักษณะสภาพแวดล้อมภายนอกโดยรอบอาคาร

สมการที่ 3 ค่าปริมาณความร้อน (Q) เกิดจากอิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร (U) พื้นที่ผิวเปลือกอาคารที่กั้นระหว่างพื้นที่ปรับอากาศภายในกับพื้นที่ไม่ปรับอากาศภายนอกต่อพื้นที่ใช้งานจริงภายในอาคาร (S/A) อิทธิพลความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร สามารถวัดระดับความต่างของอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิอากาศภายใน (Δ T) และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ 1/COP

โดย CLTD คือ ค่า Cooling Load Temperature Difference จากตาราง 31, 1989 ASHRAE(°F)

LM คือ ค่า Latitude & Month จากตาราง 32, 1989 ASHRAE

K คือ ตัวประกอบค่าการปรับแต่งจากสีของผนัง ซึ่งมีค่าดังนี้

= 1.0 สำหรับผนังสีเข้ม หรือสีอ่อนแต่สถานที่ตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรม

= 0.83 สำหรับผนังสีกลาง อยู่ในชนบท

= 0.65 สำหรับผนังสีอ่อน อยู่ในชนบท

Tr คือ อุณหภูมิภายในห้องที่ออกแบบ (°F)

To คือ อุณหภูมิภายนอกที่ออกแบบ (°F)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 1 Surface Conductances and Resistances for Air

Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance, ε: Non-reflective ε = 0.90 h_i	R	Reflective ε = 0.20 h_i	R	Reflective ε = 0.05 h_i	R
STILL AIR							
Horizontal	Upward	1.63	0.61	0.91	1.10	0.76	1.32
Sloping—45°	Upward	1.60	0.62	0.88	1.14	0.73	1.37
Vertical	Horizontal	1.46	0.68	0.74	1.35	0.59	1.70
Sloping—45°	Downward	1.32	0.76	0.60	1.67	0.45	2.22
Horizontal	Downward	1.08	0.92	0.37	2.70	0.22	4.55
MOVING AIR (Any position)		h_o	R				
15 mph wind (for winter)	Any	6.00	0.17	—	—	—	—
7.5 mph wind (for summer)	Any	4.00	0.25	—	—	—	—

Notes:
1. Surface conductance h_i and h_o measured in Btu/h·ft^2·°F; resistance R in ft^2·°F·h/Btu.
2. No surface has both an air space resistance value and a surface resistance value.
3. For ventilated attics or spaces above ceilings under summer conditions (heat flow down), see Table 5.
4. Conductances are for surfaces of the stated emittance facing virtual blackbody surroundings at the same temperature as the ambient air. Values are based on a surface-air temperature difference of 10°F and for surface temperatures of 70°F.
5. See Chapter 3 for more detailed information, especially Tables 5 and 6, and see Figure 1 for additional data.
6. Condensate can have a significant impact on surface emittance (see Table 2).

ภาพที่ 2.4 แสดง Surface Conductances and Resistances for Air Surface Emittance [7]

Table 30 Wall Construction Group Description

Group No.	Description of Construction	Weight (lb/ft^2)	U-Value ($Btu/h \cdot ft^2 \cdot °F$)	Code Numbers of Layers (see Table 26)
4-in. Face brick + (brick)				
C	Air space + 4-in. face brick	83	0.358	A0, A2, B1, A2, E0
D	4-in. common brick	90	0.415	A0, A2, C4, E1, E0
C	1-in. insulation or air space + 4-in. common brick	90	0.174-0.301	A0, A2, C4, B1/B2, E1, E0
B	2-in. insulation + 4-in. common brick	88	0.111	A0, A2, B3, C4, E1, E0
B	8-in. common brick	130	0.302	A0, A2, C9, E1, E0
A	Insulation or air space + 8-in. common brick	130	0.154-0.243	A0, A2, C9, B1/B2, E1, E0
4-in. Face brick + (heavyweight concrete)				
C	Air space + 2-in. concrete	94	0.350	A0, A2, B1, C5, E1, E0
B	2-in. insulation + 4-in. concrete	97	0.116	A0, A2, B3, C5, E1, E0
A	Air space or insulation + 8-in. or more concrete	143-190	0.110-0.112	A0, A2, B1, C10/11, E1, E0
4-in. Face brick + (light or heavyweight concrete block)				
E	4-in. block	62	0.319	A0, A2, C2, E1, E0
D	Air space or insulation + 4-in. block	62	0.153-0.246	A0, A2, C2, B1/B2, E1, E0
D	8-in. block	70	0.274	A0, A2, C7, A6, E0
C	Air space or 1-in. insulation + 6-in. or 8-in. block	73-89	0.221-0.275	A0, A2, B1, C7/C8, E1, E0
B	2-in. insulation + 8-in. block	89	0.096-0.107	A0, A2, B3, C7/C8, E1, E0
4-in. Face brick + (clay tile)				
D	4-in. tile	71	0.381	A0, A2, C1, E1, E0
D	Air space + 4-in. tile	71	0.281	A0, A2, C1, B1, E1, E0
C	Insulation + 4-in. tile	71	0.169	A0, A2, C1, B2, E1, E0
C	8-in. tile	96	0.275	A0, A2, C6, E1, E0
B	Air space or 1-in. insulation + 8-in. tile	96	0.142-0.221	A0, A2, C6, B1/B2, E1, E0
A	2-in. insulation + 8-in. tile	97	0.097	A0, A2, B3, C6, E1, E0
Heavyweight concrete wall + (finish)				
E	4-in. concrete	63	0.585	A0, A1, C5, E1, E0
D	4-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	63	0.119-0.200	A0, A1, C5, B2/B3, E1, E0
C	2-in. insulation + 4-in. concrete	63	0.119	A0, A1, B6, C5, E1, E0
C	8-in. concrete	109	0.490	A0, A1, C10, E1, E0
B	8-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	110	0.115-0.187	A0, A1, C10, B5/B6, E1, E0
A	2-in. insulation + 8-in. concrete	110	0.115	A0, A1, B3, C10, E1, E0
B	12-in. concrete	156	0.421	A0, A1, C11, E1, E0
A	12-in. concrete + insulation	156	0.113	A0, C11, B6, A6, E0
Light and heavyweight concrete block + (finish)				
F	4-in. block + air space/insulation	29	0.161-0.263	A0, A1, C2, B1/B2, E1, E0
E	2-in. insulation + 4-in. block	29-37	0.105-0.114	A0, A1, B3, C2/C3, E1, E0
E	8-in. block	47-51	0.294-0.402	A0, A1, C7/C8, E1, E0
D	8-in. block + air space/insulation	41-57	0.149-0.173	A0, A1, C7/C8, B1/B2, E1, E0
Clay tile + (finish)				
F	4-in. tile	39	0.419	A0, A1, C1, E1, E0
F	4-in. tile + air space	39	0.303	A0, A1, C1, B1, E1, E0
E	4-in. tile + 1-in. insulation	39	0.175	A0, A1, C1, B2, E1, E0
D	2-in. insulation + 4-in. tile	40	0.110	A0, A1, B3, C1, E1, E0
D	8-in. tile	63	0.296	A0, A1, C6, B1/B2, E1, E0
C	8-in. tile + air space/1-in. insulation	63	0.151-0.231	A0, A1, C6, B1/B2, E1, E0
B	2-in. insulation + 8-in. tile	63	0.099	A0, A1, B3, C6, E1, E0
Metal curtain wall				
G	With/without air space + 1- to 3-in. insulation	5-6	0.091-0.230	A0, A3, B5/B6/B12, A3, E0
Frame wall				
G	1-in. to 3-in. insulation	16	0.081-0.178	A0, A1, B1, B2/B3/B4, E1, E0

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 2.5 แสดงภาพรวมวิธีการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นตาม ASHRAE Fundamental 1989. [8]

2.3 คุณสมบัติความเป็นฉนวน [9]

เมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติความเป็นฉนวนหรือวัสดุที่ถือว่ามีความเป็นฉนวนที่ดีนั้นระดับของความเป็นฉนวนจะต้องพิจารณาจากคุณสมบัติในทางทฤษฎี 3 ข้อหลักดังนี้

- ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Resistivity)
- ความสามารถในการนำความร้อน (Conductivity)
- ความจุความร้อน (Thermal Capacity)

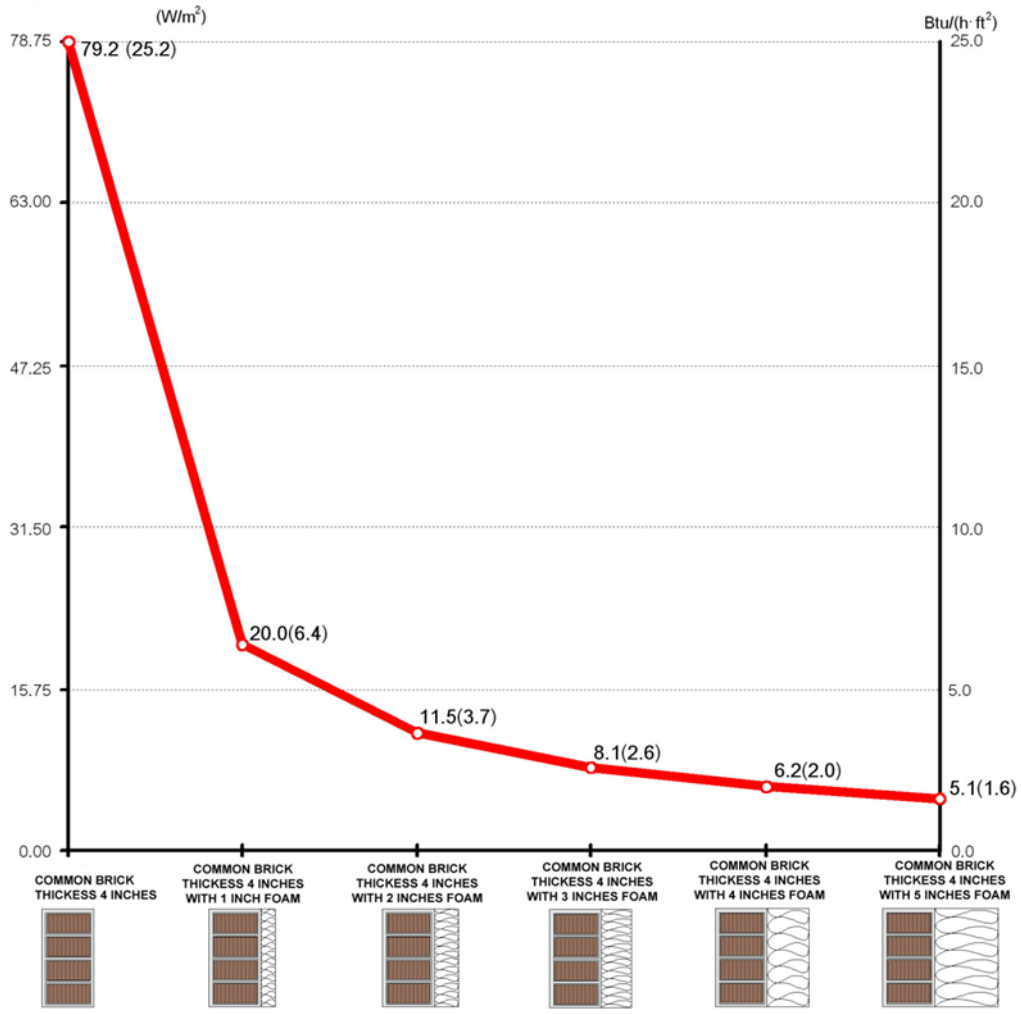
ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Resistivity) ค่าการต้านทานความร้อนหรือค่า “R-Value” จะเป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุกรณีที่วัตถุซ้อนกันหลายชั้นค่าความต้านทานความร้อนรวมจะเท่ากับผลบวกของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุที่กำหนดแต่ละชั้นรวมกันและค่าการต้านทานความร้อนจะมีความสัมพันธ์กับค่าการนำความร้อนแบบเป็นส่วนกลับกันกล่าวคือถ้าค่าการต้านทานความร้อนสูงวัสดุนั้นก็จะมีค่านำความร้อนต่ำ ค่าการต้านทานความร้อนหรือค่า “R-Value”

2.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal Transfer)

เป็นค่าที่ใช้แสดงความร้อนทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งอาจเรียกอีกอย่างว่าค่า“Q” สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดดและค่าความต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

2.5 ปัจจัยที่เกิดจากคุณสมบัติของตัววัสดุผนัง

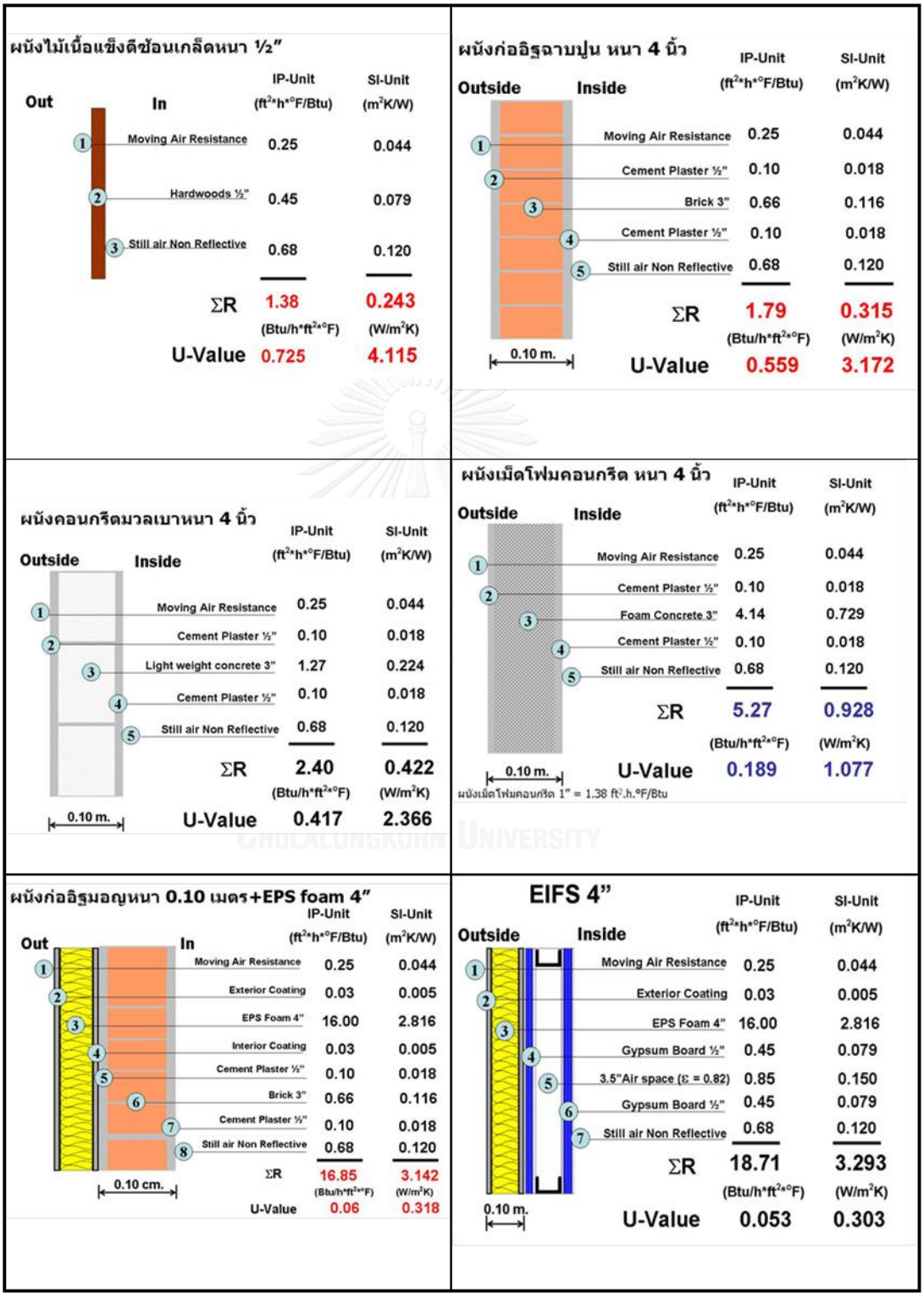
มวลสารและค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุผนัง วัสดุที่มีมวล และค่าความจุความร้อนจำเพาะมาก จะทำให้ต้องใช้พลังงานความร้อนในปริมาณมากในการเปลี่ยนอุณหภูมิ 1 องศา จึงสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวผนังภายนอกให้เข้าสู่ภายในได้ช้าลง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนัง (Thermal transmittance) วัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ เช่น ฉนวนกันความร้อน ปริมาณการถ่ายเทความร้อนจะน้อยกว่าวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (Absorptivity:α) และสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนจากวัสดุผนัง (Emissivity:) ซึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุผนัง รวมทั้งสีวัสดุ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ โดยปกติจะแปรตามความเข้มของสีผิววัสดุ คือสีเข้มมากจะมีความสามารถในการดูดกลืนความร้อนสูง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 2.6 แสดงอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐทั่วไปกับผนังก่ออิฐที่ปรับปรุงด้วยการเพิ่มวัสดุฉนวนกันความร้อนตั้งแต่ 1-5 นิ้ว พบว่าการเพิ่มวัสดุฉนวนผสมผสานกับผนังก่ออิฐทั่วไป จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความร้อนผ่านเข้าภายในอาคารได้ดีกว่าผนังก่ออิฐทั่วไปมาก โดยเฉพาะการเพิ่มฉนวนที่ 1 นิ้ว แรก สามารถลดปริมาณความร้อนลงได้ถึง 4 เท่า [4]

ภาพที่ 2.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร 6 ชนิด [10]



2.6 การเลือกใช้วัสดุผนังอาคารวัสดุผนังและวัสดุปิดผนัง

(Wall and Wall Covering) เป็นส่วนที่สำคัญของอาคาร ซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง ทำให้มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุผนังอาคารควรดูความเหมาะสมกับการใช้งาน ตัวอย่างเช่น

- ผนังภายนอกอาคารต้องสามารถป้องกันความร้อน และความชื้นได้อย่างดี คงทน แข็งแรง และมีความสวยงาม

- ผนังห้องนอนหรือห้องทำงาน นอกจากคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นแล้ว ยังจะต้องสามารถป้องกันเสียงได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

- ผนังบริเวณส่วนซักล้าง ต้องมีความสามารถในการกันความชื้นได้เป็นอย่างดี และมีความคงทนแข็งแรง

- ผนังห้องน้ำ ต้องกันความชื้นได้ดี มีความแข็งแรง สามารถติดตั้งท่องานระบบได้สะดวกมีความสามารถในการกันเสียงได้

- ผนังห้องครัว ต้องสามารถป้องกันไฟได้เป็นอย่างดี คงทนต่อแรงกระทบ และทำความสะอาดได้ง่าย ผนังภายนอกอาคารเป็นส่วนที่สำคัญที่ต้องพิจารณาเลือกใช้วัสดุอย่างรอบคอบ เนื่องจากผนังภายนอกอาคารเป็นส่วนของเปลือกอาคาร ซึ่งสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง ดังนั้นผนังภายนอกอาคารจึงต้องมีทั้งความสวยงาม คงทนแข็งแรง และมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นจากภายนอกได้เป็นอย่างดี ปัญหาใหญ่อย่างหนึ่งของการออกแบบอาคารในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้นคือ การลดปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาในอาคาร จากการศึกษาพบว่า การที่จะนำเอาความเย็นตอนช่วงกลางคืนมาใช้กับกลางวัน โดยอาศัยการหน่วงเวลา (Time Lag) ของวัสดุนั้นทำได้ยากมาก เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวัน และกลางคืนไม่มากพอ การลดปริมาณความร้อนเท่าที่เทคโนโลยีในยุคปัจจุบันจะเอื้ออำนวย จึงเป็นการควบคุมความร้อนให้เข้ามาในอาคารให้น้อยที่สุดเป็นหลัก และถ้าจะมองภาพรวมของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำผนังภายนอกของอาคาร ควรมีลักษณะดังนี้

- ควรมีคุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการก่อสร้าง และการลงทุน คือมีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง มีความสามารถต้านทานแรงลม และการสั่นสะเทือน หาง่าย ทำงานง่าย ราคาประหยัด ค่าบำรุงรักษาต่ำ และมีความทนทานสูง

- ควรมีคุณสมบัติด้านความปลอดภัย และการรักษาสภาพแวดล้อม คือไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสภาพแวดล้อม มีความสวยงาม และทนทาน และมีอัตราการทนไฟสูงหรือไม่ติดไฟ

2.6.1 การพิจารณาเลือกใช้วัสดุฉนวนและมวลสาร

การเลือกใช้ฉนวนสำหรับอาคารส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ในการใช้งานหลายวัตถุประสงค์ ดังนั้นการพิจารณาเลือกชนิดฉนวนจึงจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติหลาย ๆ ข้อร่วมกัน จากนั้นจึงเลือกฉนวนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสูงสุดสำหรับการใช้งาน หรืออาจใช้ฉนวนหลายๆ ชนิดประกอบกันเพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการตัวอย่าง เช่น

- ควรเลือกใยแก้ว หรือใยแร่ เมื่อต้องการกันความร้อนและกันเสียง

- ควรเลือกใช้แคลเซียมซิลิเกต หรือเวอร์มิคูไลท์ เมื่อต้องการกันความร้อนและกันไฟ

- ควรเลือกใช้ฉนวนประเภทโฟม เมื่อต้องการกันความร้อน ความชื้นสำหรับการผสมผสานการใช้มวลสารร่วมกับฉนวน จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการหน่วงความร้อนของมวลสารที่เหมาะสม เนื่องจากวัสดุที่มีมวลสารมากจะมีผลในการหน่วงความร้อน ได้มาก ทำให้ความร้อนไม่เข้ามาภายในอาคาร โดยเฉพาะช่วงที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำกว่าอุณหภูมิภายใน ซึ่งจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกจึงสามารถลดภาระการทำความเย็นสูงสุดของอาคารได้ ขนาดของมวลสารที่เหมาะสม คือ มวลสารที่ทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงมากที่สุด ในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางหนึ่ง คือการเลือกใช้วัสดุที่สามารถกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร หรือมีค่า R สูง “ฉนวน” คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการกันความร้อน โดยมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน Thermal Time Lag น้อย ทำให้อิทธิพลภายนอกที่เข้ามาภายในเกิดขึ้นค่อนข้างรุนแรง ซึ่งมีทางแก้ไขโดยการเพิ่มความหนาของฉนวนให้มากขึ้น แต่จะทำให้มีราคาแพง ดังนั้นทางออกอีกทางหนึ่งคือ การประยุกต์ใช้มวลสาร (Thermal mass) ร่วมกับฉนวน การออกแบบโดยผสมผสานการใช้ฉนวนและมวลสารจะเป็นผลดีในการหน่วงความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในอาคาร ไม่เปลี่ยนแปลงรุนแรงเหมือนภายนอก และถ้าสามารถหน่วงความร้อนได้อย่างเหมาะสม คือทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงมากที่สุดยิ่งทำให้ปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อยลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร [10]

1. วัสดุประกอบโครงสร้าง						
รายการวัสดุ	อิฐมอญ ½ แผ่น	อิฐมอญ เต็มแผ่น	คอนกรีต บล็อก	คอนกรีต มวลเบา	ยิบซั่มบอร์ด	ไฟเบอร์บอร์ด
รูปแบบกายภาพ	ก้อน	ก้อน	ก้อน	ก้อน	แผ่น	แผ่น
ราคาต่อหน่วย (บาท)	0.60	0.60	4.50	25.21 – 37.80	230	437
ราคารวมต่อตร.ม (บาท).	100 - 190	380	200	315 - 412	230	320
ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตรม. (บาท)	425 - 440	635	390	450 - 646	320	390
ขนาด (Volume) ($cm.^3$)	7x16x3.5	(2)7x16x3.5	7x19x39	7.5x20x60	0.12x120x240	0.12x120x240
ความหนาแน่น ($kg./m^3$)	1615 - 1650	1650	765	550 - 640	800	1250 - 1350
จำนวนก้อนต่อตร.ม. (ก้อน,แผ่น)	145	290	14	8.33	0.35	0.35
น้ำหนักต่อตร.ม. ($kg./m^2$)	130	-	90	46.5	8.33	9.38
น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อตร.ม. ($kg./m^2$)	180 - 200	330	130	90 – 100	30-35	-
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer) ($Watt/m^2$)	30-45	58-70	-	32-42 15	-	-
ค่าการนำความร้อน "K" (Conductivity – K value) (W/m.K)	0.473	0.473	0.519	0.089 - 0.132	0.14-0.19	0.210
ค่าการต้านทานความร้อน "R" (Resistivity – R value) (m^2K/W)	0.15	0.34	0.149	0.58	0.04	0.154
ค่าความจุความร้อน "C"(Thermal Capacity) (J/kg.K)	800-1000	-	-	น้อยกว่าอิฐมอญ 2.5 เท่า	840	-
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว(Thermal Expansion / °C)	4.6×10^{-6}	-	4.5×10^{-6}	$8\text{-}10 \times 10^{-6}$	-	-
	-	-	-	0.13	0.14-0.19	-
การหดตัวเมื่อแห้ง	1.8	-	0.8	0.2	-	-
การต้านทานแรงอัด ($kg./cm^2$)	35 $kg./cm^2$	-	-	40-50	-	9-17 นิวตัน/ตร.ม.
ความแข็งแรงทางกล ($kg./cm^2$)	-	-	-	23	-	-
การกันเสียง (dB)	36-40	-	-	38-43	35-65	64
การทนไฟ (ชั่วโมง)	0.5 - 2	-	-	4	½ -4	
การปลอดกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
การทานต่อการกัดกร่อน	-	-	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

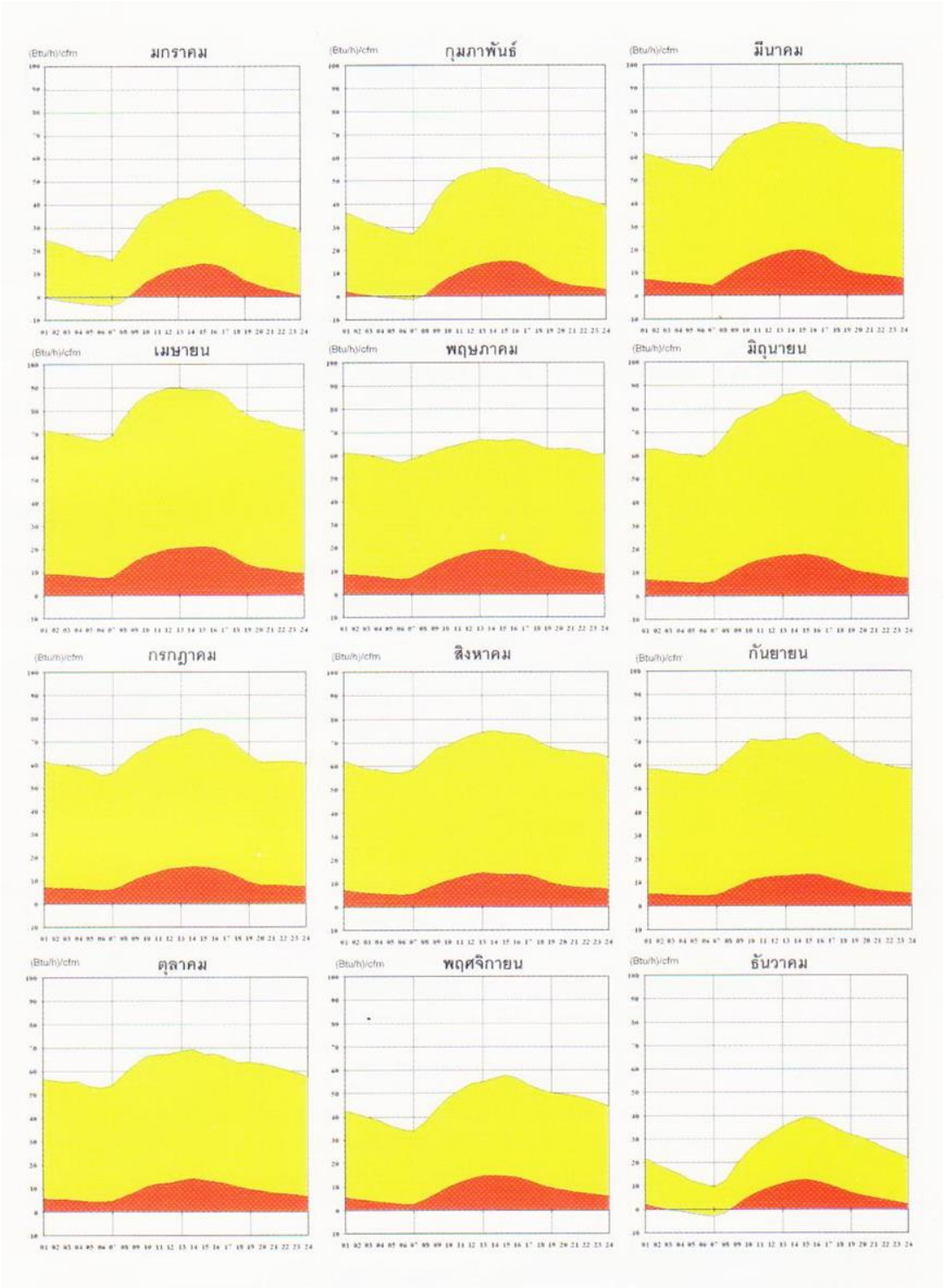
ลักษณะและคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ และสรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของฉนวนบางประเภท [10]

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ

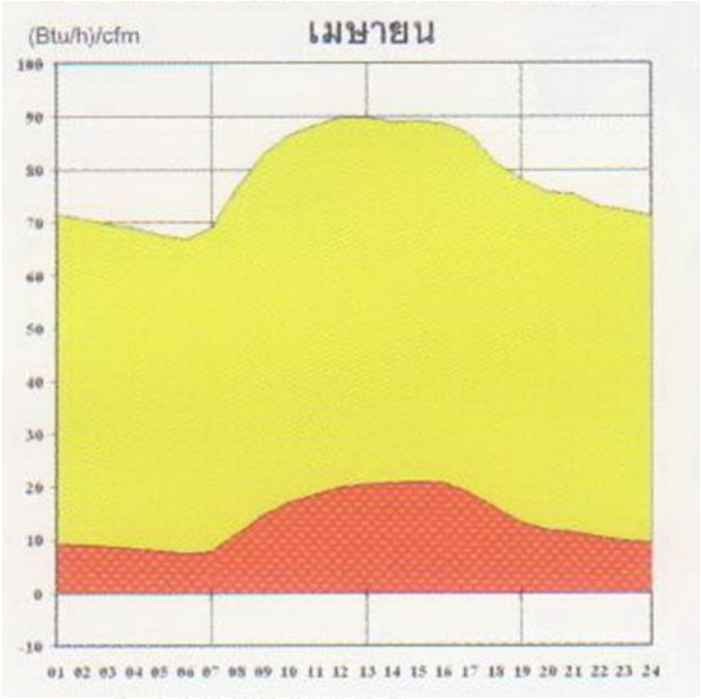
ชนิดของฉนวน	ข้อดี	ข้อจำกัด
ใยแก้ว (Fiber Glass)	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ไม่เป็นพิษ -อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 700 องศาเซลเซียส	- ไม่กันไฟ - ตัวประสาน (Binder) ลุกไหม้ได้ - การแทรกซึมของไอน้ำสูง ควรมีวัสดุหุ้มกันน้ำ
ใยแร่หรือใยหิน (Mineral Fiber or Rock Wool)	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ไม่ติดไฟ - ไม่เป็นพิษ -อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 1300 องศาเซลเซียส	- ตัวประสาน (Binder) ลุกไหม้ได้ - การแทรกซึมของไอน้ำสูง ควรมีวัสดุหุ้มกันน้ำ
ใยเซลลูโลส (Cellulose)	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ไม่เป็นพิษ	-ติดไฟได้ -การดูดซึมน้ำสูง -อาจมีการยุบตัวตามอายุการใช้งาน
โฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene Foam)	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ใช้เป็นตัวผนึกหรือกันซึมได้ - การแทรกซึมของไอน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ - ไม่เป็นพิษ	- ติดไฟได้ - อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 82 องศาเซลเซียส
โฟมโพลียูริเทน (Polyurethane Foam)	- สภาพการนำความร้อนต่ำที่สุด - ใช้เป็นตัวผนึกหรือกันซึมได้ - การแทรกซึมของไอน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ	- ติดไฟได้ - เกิดควันที่เป็นพิษ ขณะลุกไหม้ แก้ไขโดยใส่สารกันไฟลาม
โฟมชนิดยืดหยุ่น (Elastomeric Foam)	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ไม่เป็นพิษ - ติดตั้งง่าย	- ติดไฟได้และเกิดควันมาก - ไวต่อรังสีอัลตราไวโอเลต - อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 105 องศาเซลเซียส
แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate)	- ไม่ติดไฟ - อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 650 องศาเซลเซียส	- สภาพการนำความร้อนปานกลาง - ไอน้ำแทรกซึมได้ง่าย - การดูดซึมน้ำสูง
ชนิดของฉนวน	ข้อดี	ข้อจำกัด
เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite)	- ไม่ติดไฟ - ไม่เป็นพิษ	- สภาพการนำความร้อนสูง - การดูดซึมน้ำสูง - อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 405 องศาเซลเซียส

รูปแบบทางกายภาพ (Physical Forms) ของฉนวนมีหลายรูปแบบให้เลือกใช้งานได้ตามต้องการ เช่น ฉนวนแบบคลุมห่อ, แบบแผ่น, แบบฉีด ฯลฯ การเลือกใช้ฉนวนต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน และตำแหน่งที่ติดตั้งนอกจากนั้นยังต้องพิจารณาปัจจัยด้านค่าใช้จ่ายความแข็งแรงคงทนร่วมด้วย ตัวอย่างการเลือกใช้ฉนวนที่มีรูปแบบทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น ใช้ฉนวนโฟมชนิดพ่นด้านบนหลังคาหรือผนังภายนอกอาคาร เพราะมีความแข็งแรงคงทนมากเป็นพิเศษ กันความร้อนและความชื้น และมีคุณสมบัติในการยึดเกาะกับหลังคาและผนังอาคารได้ดี

ภาพที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน(R)ของวัสดุต่างๆที่ความหนา 1 นิ้ว [4]



ภาพที่ 2.9 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับอากาศ



ภาพที่ 2.10 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของเดือนเมษายนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับอากาศ [4]

2.7 การเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน

ในการออกแบบหรือเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานในส่วนที่เป็นเปลือกอาคารต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานภายในอาคารซึ่งมีผลกระทบต่อการพิจารณาเลือกใช้วัสดุในส่วนนั้นๆ ด้วย เพราะการควบคุมสภาวะภายในอาคารไม่ว่าจะโดยการใช้เครื่องปรับอากาศหรือใช้ระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องนำมาพิจารณาซึ่งระบบควบคุมสภาวะภายในอาคารอาจจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบหลักคือ

1) ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

2) มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

อาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศหมายถึงอาคารที่ใช้ระบบระบายอากาศโดยธรรมชาติ ไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาคาร จะมีความสัมพันธ์กับสภาวะภายนอกมากจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับอาคารในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อเลือกใช้วัสดุต่างชนิดกันเพราะวัสดุผนังที่มีมวลสารแตกต่างกันจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาคารในแต่ละช่วงเวลา ถ้าเป็นวัสดุที่มีมวลสารมาก เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูนหรือผนังคอนกรีตจะทำให้อุณหภูมิภายในมีการเปลี่ยนแปลงไม่รุนแรง เมื่อเปรียบเทียบกับผนังที่มีมวลสารน้อยเพราะมวลสารของผนังจะทำหน้าที่สะสมความร้อนไว้ในช่วงเวลาหนึ่งก่อนจะ

กระจายสู่ภายในอาคารเกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ทำให้ในเวลากลางวันที่ภายนอกมีอากาศร้อนจัดแต่อุณหภูมิภายในจะไม่สูงมากนักซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับการที่อุณหภูมิภายใน “โบสถ์ไทยโบราณ” เย็นสบายในเวลากลางวัน ดังนั้นลักษณะของผนังหรือเปลือกอาคารที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานในอาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคารคือ

- มีความหนาหรือมีมวลสารมาก
- สามารถป้องกันความร้อนได้ดี (มีค่าการต้านทานความร้อน R-Valueสูง)
- มีช่วงการหน่วงเวลาในการส่งผ่านความร้อนกว้าง
- ไม่ดูดซับความร้อนและความชื้น
- มีความจุความร้อน (Thermal Capacity) ต่ำ

เนื่องจากภูมิอากาศประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงเกือบตลอดทั้งปีทำให้เกิดปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบคือ มีความร้อนปริมาณมากเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการที่จะนำเอาความเย็นในช่วงเวลากลางคืนมาใช้ในช่วงเวลากลางวัน โดยอาศัยการหน่วงเวลาของวัสดุนั้นทำได้ยากมากเพราะความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนมีไม่มากพอ ฉะนั้นการลดปริมาณความร้อนให้เข้ามาภายในอาคารให้น้อยที่สุดจะเป็นการช่วยในการปรับสภาวะภายในอาคารได้ดีที่สุด

2.7.1 ภาระความร้อน (Heat Load) ระบบปรับอากาศ

ภาระความร้อนมักจะแบ่งเป็นประเภทตามสถานที่ที่ได้รับความร้อนคือ ภาระความร้อนห้อง (Room Heat Load) และภาระความร้อนอุปกรณ์ (Apparatus HeatLoad) ภาระความร้อนห้อง เช่นความร้อนสัมผัส (HS) และความร้อนแฝง (HL) เป็นปริมาณความร้อนที่อากาศจากเครื่องทำความเย็นได้รับเพื่อที่จะให้ได้อุณหภูมิภายในห้องตามที่ต้องการประกอบด้วย

- ความร้อนที่เข้ามาภายในห้องจากภายนอก
- ความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในห้อง
- ภาระความร้อนอุปกรณ์คือปริมาณความร้อนที่เครื่องปรับอากาศได้รับเพื่อที่จะให้อากาศที่เป่าออกไปจากเครื่องมีอุณหภูมิและความชื้นตามที่กำหนด
- ภาระความร้อนห้อง
- ภาระความร้อนจากอากาศใหม่
- ภาระความร้อนจากกำลังที่ใช้ขับพัดลมและอื่นๆ
- ภาระความร้อนที่รั่วไหลเข้ามาทางท่อลมและอื่นๆ

ภาระความร้อนห้องและภาระความร้อนอุปกรณ์มักจะแบ่งแยกออกเป็นความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงความร้อนแฝงเป็นความร้อนของการระเหยของน้ำมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหย (kg/h) x 597.3 (kcal/kg)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 แนวทางการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตกที่คุ้มค่ากว่าทุน [11]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตกที่มีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยเปรียบเทียบการเลือกใช้วัสดุต่างๆ กับผนังอิฐมอญชั้นเดียวฉาบปูนทั้งสองด้าน ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอาคารพักอาศัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในการศึกษาได้จำลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศของห้องขนาด 4×4 ม. ซึ่งมีผนังภายนอกหันไปทางทิศตะวันตก ส่วนผนังด้านอื่นเป็นผนังภายใน โดยการใช้โปรแกรม Energy Plus วัสดุผนังที่เปรียบเทียบแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) วัสดุที่มีมวลสารมากและมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ คือ ใช้ผนังอิฐมอญ 1 ชั้น และ 2 ชั้น หน่วยความร้อน (2) ผนังที่มีมวลสารน้อยแต่มีความต้านทานความร้อนสูง คือ ผนังที่ใช้โฟมโพลีสไตรีมแบบขยายตัว (Expanded polystyrene,EPS) อยู่ภายนอกอาคารหนา 2 นิ้ว และ 4 นิ้ว และ (3) การใช้วัสดุที่มีมวลสารและค่าความร้อนค่อนข้างสูงคือใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียว และสองชั้น

ผลการศึกษาพบว่า (1) เมื่อเป็นผนังทึบ ปรับอากาศกลางวัน ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ประหยัดพลังงานสูงสุด 15.86 % คืนทุน 8 ปี แต่ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น คืนทุนเร็วสุด 1.1 ปี (2) เมื่อเป็นผนังทึบ ปรับอากาศกลางคืน ผนังโฟม 4 นิ้วประหยัดพลังงานสูงสุด 4.24% แต่คืนทุนนานถึง 56 ปี และน่าสังเกตว่าการเพิ่มความหนา ผนังโฟม 2 นิ้ว เป็น 4 นิ้ว ไม่ช่วยประหยัดพลังงานมากนัก แต่ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวลดการใช้พลังงาน 3.34 % และคืนทุนเร็วสุด 4.1 ปี และจะเห็นว่าอิฐมอญ 2 ชั้น ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 3.93% จึงไม่ควรใช้ผนังในเวลานี้ (3) เมื่อมีหน้าต่างและปรับอากาศกลางวัน ผนังทั้งหมดใช้พลังงานมากขึ้น 17.48% ส่วนค่าก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นจะแพงกว่าผนังชนิดอื่น เพราะมีราคาเอ็นสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากต้องการประหยัดพลังงานและคืนทุนเร็วไม่ควรทำหน้าต่าง ซึ่งลำดับการใช้พลังงานเหมือนกับข้อ 1 คือ ผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นประหยัดพลังงานมากที่สุด 10.57% คืนทุน 16.5 ปี แต่ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวลดการใช้พลังงานได้ 8.62% คืนทุน16.5 ปี แต่ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวลดการใช้พลังงานได้ 8.62% คืนทุนเร็วสุด 2.4 ปี (4) เมื่อมีหน้าต่างและปรับอากาศกลางคืน ผนังโฟม 2 นิ้ว ลดการใช้พลังงานได้ 2.33 % แต่คืนทุนกว่า 60 ปี ส่วนอิฐมอญสองชั้น ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 4.06 % จึงไม่ควรใช้ซึ่งการเพิ่มหน้าต่างนั้น ทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นจึงไม่ควรทำหน้าต่างถ้าไม่จำเป็น (5) เมื่อมีการบังแดด ปรับอากาศกลางวันพบว่า อิฐมอญ 1 ชิ้น มีค่าพลังงานลดลงมากสุดเมื่อเทียบกับผนังทึบถึง 7.66 % ส่วนผนังอื่นๆ 0.22 – 1.90 % จะเห็นว่า ผนังที่กันความร้อนได้ดีอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องบังแดด (6) เมื่อมีการบังแดดปรับอากาศกลางคืน พบว่า อิฐมอญ 2 ชั้น ใช้พลังงานลดลง 3.58 % ส่วนผนังอื่นๆ ลดลงเพียง 0.14 – 1.43 % ซึ่งลำดับการใช้พลังงานเหมือนกับข้อ 2 คือ ผนังโฟม 4 นิ้ว ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดถึง 4.43% ซึ่งผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวคืนทุนได้เร็วสุด 3.5 ปี และเป็นที่น่าสังเกตว่า การใช้อิฐมอญสองชั้น จะใช้พลังงานมากขึ้นจึงไม่ควรใช้ (7) กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน เมื่อเป็นผนังทึบใช้งานกลางวัน พบว่าคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น เหมาะสมที่จะใช้งานมากที่สุด เนื่องจาก Time Lag = 5 ชม. สามารถต้านทานความร้อนได้เป็นอย่าง

ดี (8) กรณีไม่ปรับอากาศ เมื่อเป็นผนังทึบใช้งานกลางคืน พบว่า อิฐมอญ 1 ชั้น เหมาะสมที่สุด แม้ว่าช่วงกลางวันอุณหภูมิอากาศภายในจะสูงมากถึง 35°Cก็ตาม แต่เนื่องจากมีค่า R น้อย (0.26m^2,°C/W) สามารถถ่ายเทความร้อนที่สะสมในตอนกลางวันได้รวดเร็ว (9) กรณีไม่ปรับอากาศ เมื่อเป็นผนังทึบ ใช้งานตลอดทั้งวัน พบว่า คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น มีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในเพียง 2.80 °ซ และค่าก่อสร้างไม่สูงมากสามารถคืนทุนได้เร็วสุด (ราคา 850 บาทต่อตารางเมตร) จึงถือว่าเหมาะสมที่สุด

2.9 สรุปการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในปัจจุบันมีการศึกษาวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้ก่อสร้างในพื้นที่นั้นๆ เพื่อหาแนวทางในการลดความร้อนผ่านผนังด้านทิศตะวันตกลงทุน โดยเปรียบเทียบการเลือกใช้วัสดุต่างๆ ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอาคารพักอาศัยให้ตรงตามจุดประสงค์ของการศึกษาผู้วิจัยจึงเลือกงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและวิธีการศึกษาที่ใกล้เคียงมากที่สุด มาทำการศึกษาต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของผนังภายนอกบ้านเดี่ยวที่นิยมใช้ในปัจจุบันของพื้นที่ภาคกลาง ที่ส่งผลต่อค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยว

โดยการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงซึ่งขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยแบ่งออกได้ 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

ศึกษาวัสดุที่นิยมใช้ทำผนังอาคารในปัจจุบันเป็นขั้นตอนในการสืบค้นข้อมูลวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบันโดยการสืบค้นคู่มือผู้รับผิดชอบพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553 ตอนที่ 3 บทที่ 3 กรอบอาคาร 3.2 ผนังทึบ และเมื่อพิจารณาข้อมูลดังกล่าวแล้วสามารถคัดเลือกวัสดุที่นิยมใช้ทำผนังภายนอกของบ้านเดี่ยวจากสถานที่จริงได้ 5 ประเภท คือ

(1) ผนังไม้ (Wood)

(2) ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน (Brick)

(3) ผนังคอนกรีตบล็อก (Concrete Masonry Unit)

(4) ผนังคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete-ACC)

(5) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Pre cast)

ตารางที่ 3.1 เก็บข้อมูลผนังภายนอกของบ้านเดี่ยวจากสถานที่จริงในพื้นที่ภาคกลางจำนวน 5 หลัง ในพื้นที่ภาคกลาง

ลำดับ	สถานที่	พื้นที่ใช้สอยรวม	ชนิดวัสดุที่ติดตั้ง	เก็บข้อมูลวันที่
1	อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา	47 ตร.ม.	ผนังไม้	11-12 เม.ย. 57
2	อ.เมือง จ.สระบุรี	75 ตร.ม.	ผนังก่ออิฐมอญ	11-12 เม.ย. 57
3	อ.เมือง จ.สระบุรี	65 ตร.ม.	ผนังคอนกรีตบล็อก	11-12 เม.ย. 57
4	อ.เมือง จ.สระบุรี	54 ตร.ม.	ผนังอิฐมวลเบา	11-12 เม.ย. 57
5	อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี	96 ตร.ม.	ผนังคอนกรีตสำเร็จ	11-12 เม.ย. 57

แสดงกรณีศึกษาบ้านเดี่ยวจากสถานที่จริงในพื้นที่ภาคกลางจำนวน 5 หลัง

3.1.1 แสดงบ้านเดี่ยวหลังที่ 1 ติดตั้งด้วยผนังไม้ อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา ลักษณะพื้นที่ใช้สอยในการออกแบบบ้านพักอาศัย ประเภทผนังไม้ (Wood) รวมทั้งหมดของบ้านพักอาศัย มีพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนรับแขก ครัวและส่วนรับประทานอาหาร ห้องน้ำ และห้องนอน

ภาพที่ 3.1 บ้านเดี่ยวก่อสร้างด้วยผนังไม้ อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา

รายระเอียดบ้านพักอาศัยประเภทบ้านผนังไม้ (Wood)

- พื้นที่ใช้สอยรวม 47 ตารางเมตร
- โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงหลังคาเหล็ก
- ผนังไม้ฝาตีนอนซ้อนเกล็ด ½” x 6” ทาสี
- หลังคามุงกระเบื้อง
- ฝ้าเพดานภายในกรุด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- ฝ้าเพดานภายนอกโคร่งเคร่าไม้ระแนง ทาสี
- หน้าต่างไม้ ลูกฟักกระจกใส หนา 3 ม.ม.

แสดงคุณสมบัติของวัสดุผนังไม้ฝา1/2"x6" (Wood)

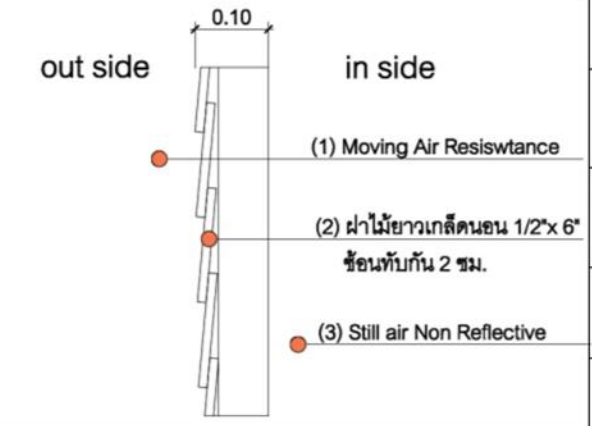
ภาพที่ 3.2 แสดงการติดตั้งผนังไม้ฝาตีซ้อนเกล็ดทางนอน 1/2"x6" (Wood)

ผนังไม้เป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมากในอดีต เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก และมีความสวยงามตามธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันไม้มีราคาสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณน้อยลง ทำให้ผนังไม้ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก ไม้จัดเป็นฉนวนกันความร้อนประเภทหนึ่ง การใช้ในส่วนของผนังภายนอกอาคารจึงทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามามีปริมาณไม่สูงนัก แต่จะต้องมีการติดตั้งที่พิถีพิถันไม่ให้มีช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นไม้ เนื่องจากจะทำให้ความร้อนรั่วซึมเข้ามาได้ อย่างไรก็ตามผู้เลือกใช้ควรทราบว่าไม้เป็นวัสดุที่มีการดูดซับความชื้นสูง ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นผนังของอาคารปรับอากาศ เพราะความชื้นดังกล่าวจะเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศหากต้องการใช้ไม้หรือมีความจำเป็นต้องใช้ผนังไม้ ควรมีการทา เคลือบ หรือปิดทับด้วยวัสดุที่มีการกันความชื้นได้ดี เช่น สี แล็คเกอร์ แผ่นไวนิล ฯลฯ

แสดงคุณสมบัติและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความเป็นฉนวนของผนังไม้ฝาตีนอนซ้อนเกล็ด ½” x 6” หนา 4 นิ้ว

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความเป็นฉนวนของผนังไม้ฝาตีนอนซ้อนเกล็ด ½” x 6” หนา 4 นิ้ว

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
ขนาด (Volume) ($cm.^3$)	½” x 6”
ความหนาแน่น ($kg/m.^3$)	120-240
น้ำหนักต่อตารางเมตร ($kg/m.^2$)	0.75
น้ำหนักรวมไม้ต่อตารางเมตร ($kg/m.^2$)	49.00
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer (W/m.K.)	0.072
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "R" (Resistivity - R value) ($m.^2kg$)	1.74

ผนังไม้ฝาตีนอนซ้อนเกล็ด ½” x 6”	รายการ	BTU / $h.ft^2.{}^\circ F$
	1.ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
	2.ผนังไม้ฝาตีนอนซ้อนเกล็ด ½” x 6	0.40
	3.ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความเป็นฉนวนรวม(∑R)	1.75
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.75

3.1.2 แสดงบ้านเดี่ยวหลังที่ 2 ก่อสร้างด้วยอิฐมอญ

อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ลักษณะพื้นที่ใช้สอยในการออกแบบบ้านพักอาศัยประเภทผนังก่ออิฐมอญ (Brick) เพื่อหาพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมดของบ้านพักอาศัย มีพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนรับแขก ครัวและส่วนรับประทานอาหาร ห้องน้ำ และห้องนอน

ภาพที่ 3.3 บ้านเดี่ยวติดตั้งด้วยอิฐมอญ อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

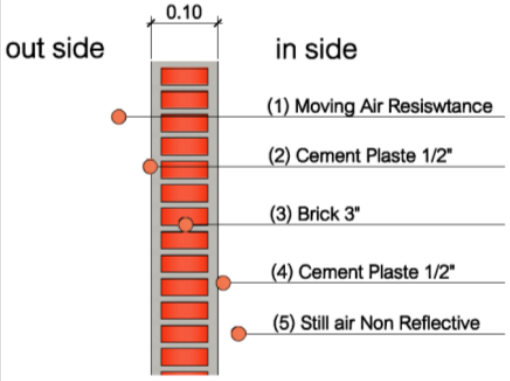
รายละเอียดบ้านพักอาศัยประเภทบ้านผนังก่ออิฐมอญ (Brick)

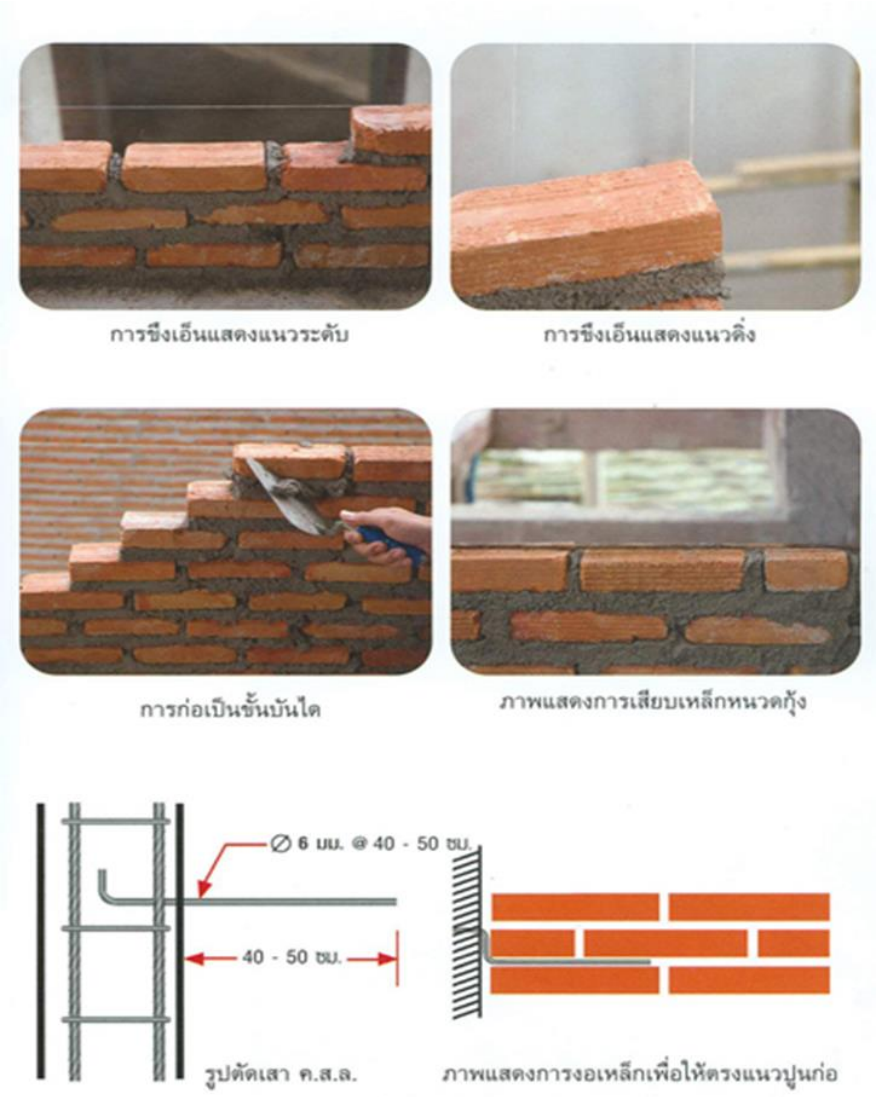
- พื้นที่ใช้สอยรวม 75 ตารางเมตร
- โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงหลังคาเหล็ก
- ผนังก่ออิฐมอญ ทาสี
- หลังคามุงกระเบื้อง
- ฝ้าเพดานภายในกรุแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- ฝ้าเพดานภายนอกกรุแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดชนความชื้น หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- หน้าต่างไม้ ลูกฟักกระจกใส หนา 3 ม.ม.

แสดงคุณสมบัติของวัสดุผนังอิฐมอญ

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนความเป็นฉนวนของผนังอิฐมอญหนา 4 นิ้ว

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
ขนาด (Volume) (cm.^{3})	7x16x3.5
ความหนาแน่น (kg/m.^{3})	1615-1650
น้ำหนักต่อตารางเมตร (kg/m.2)	130
น้ำหนักรวมผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน ต่อตารางเมตร (kg/m.^{2})	180-200
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer (W/m.K.)	30-45
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม"R" (Resistivity - R value) (m.^{2}kg)	0.473

ผนังอิฐมอญฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	รายการ	BTU / h.ft^2. °F
	1.ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
	2.ปูนฉาบ หนา ½ นิ้ว	0.10
	3.ผนังอิฐมอญ หนา 3 นิ้ว	0.45
	4.ปูนฉาบ หนา ½ นิ้ว	0.10
	5.ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความเป็นฉนวนรวม (∑R)	1.58
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(U-Value)	0.63



ภาพที่ 3.4 แสดงการติดตั้งผนังผนังอิฐมอญ หนา 4นิ้ว

ผนังอิฐมอญ เป็นผนังภายนอกอาคารที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความคงทนแข็งแรง และนิยมใช้กันมาตั้งแต่ในอดีต ผนังก่ออิฐฉาบปูนมีมวลสารมาก จึงมีการดูดกลืนความร้อนสูง หากก่อสร้างให้มีความหนาที่พอเหมาะ ผนังชนิดนี้จะมีความเหมาะสมสำหรับอาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ เนื่องจากสามารถช่วยให้เกิดการหน่วงความร้อนไม่ให้เข้าไปภายในอาคารได้ในเวลากลางวัน ซึ่งอากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง ภายในอาคารจึงเย็นกว่าภายนอก แต่หากเป็นอาคารที่มีการปรับอากาศ ผนังชนิดนี้ก็ไม่เหมาะสม เนื่องจากความร้อนที่ถูกดูดกลืนและสะสมเอาไว้จะเพิ่มภาระการทำความเย็น ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการนำความร้อนออกจากผนังก่ออิฐมอญ ผนังชนิดนี้ยังมีข้อเสียในเรื่องของการดูดซับความชื้นสูง

3.1.3 แสดงบ้านเดี่ยวหลังที่ 3 ก่อสร้างด้วยผนังคอนกรีตบล็อก

อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ลักษณะพื้นที่ใช้สอยในการออกแบบบ้านพักอาศัยประเภทผนังคอนกรีตบล็อก (Concrete Masonry Unit) เพื่อหาพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมดของบ้านพักอาศัยมีพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนรับแขก ครัวและส่วนรับประทานอาหาร ห้องน้ำ และห้องนอน

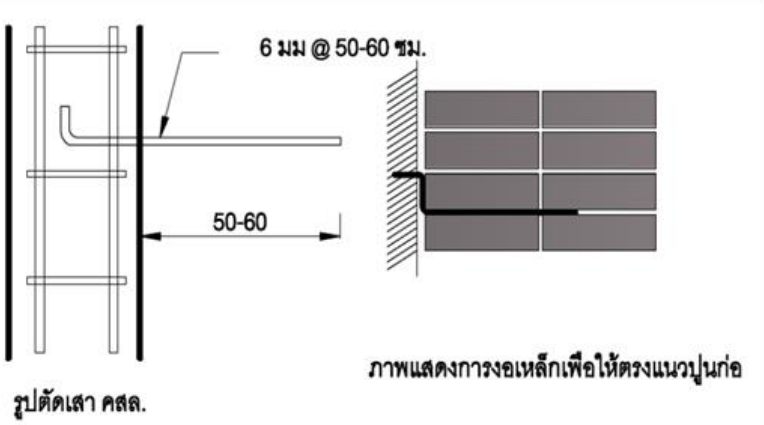
ภาพที่ 3.5 บ้านเดี่ยวติดตั้งด้วยผนังคอนกรีตบล็อก อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายระเอียดบ้านพักอาศัยประเภทบ้านผนังคอนกรีตบล็อก (Concrete Masonry Unit)

- พื้นที่ใช้สอยรวม 65 ตารางเมตร
- โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงหลังคาเหล็ก
- ผนังคอนกรีตบล็อก ทาสี
- หลังคามุงกระเบื้อง
- ฝ้าเพดานภายในกรุแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- ฝ้าเพดานภายนอกกรุแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดกันความชื้น หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- หน้าต่างไม้ ลูกฟักกระจกใส หนา 3 ม.ม.

แสดงการก่อ แสดงการฉาบปูนผนัง



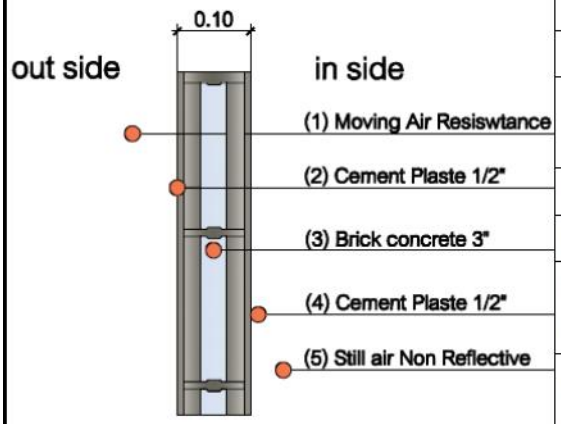
ภาพที่ 3.6 แสดงการก่อฉาบคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว

คอนกรีตบล็อก มีลักษณะกลวง (Hollow Concrete Block) เป็นที่นิยมใช้มากเนื่องจากมีราคาถูกหาซื้อได้ง่ายและไม่มีปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้างเนื่องจากช่างมีความเคยชินในการทำงานอยู่แล้วอีกทั้งยังสามารถทำงานได้เร็ว เพราะมีขนาดก้อนใหญ่กว่าอิฐมอญและจากลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในนั้นเป็นฉนวนในการกันความร้อนที่ดี แต่ข้อเสียคือจะเปราะและแตกง่ายการตอกตะปูยึดพุกต้องทำที่ปูนก่อหรือเสาเอ็นคานเอ็นน้ำจะซึมได้ดีกว่าอิฐมอญ และบล็อกที่ขายกันทั่วไปคุณภาพต่ำข้อเสียคือ มันรับน้ำหนักแขวนมากไม่ได้ เปราะแตกง่ายจึงไม่เหมาะกับบ้านที่คิดจะเดินซ่อนท่อไฟท่อประปาในผนัง ยกเว้นว่าจะเดินลอยหรือเน้นประหยัดงบประมาณ

แสดงคุณสมบัติของวัสดุผนังคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความเป็นฉนวนของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
ขนาด (Volume) ($cm.^3$)	7x19x39
ความหนาแน่น ($kg/m.^3$)	765
น้ำหนักต่อตารางเมตร (kg/m.2)	90
น้ำหนักรวมผนังคอนกรีตบล็อก ต่อตารางเมตร ($kg/m.^2$)	130
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer (W/m.K.)	30-40
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม"R" (Resistivity - R value) ($m.^2kg$)	0.519

ผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว	รายการ	BTU / $h.ft^2.\ ^\circ F$
	1.ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
	2.ปูนฉาบ หนา ½ นิ้ว	0.10
	3.ผนังคอนกรีตบล็อก หนา 3 นิ้ว	0.84
	4.ปูนฉาบ หนา ½ นิ้ว	0.10
	5.ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความเป็นฉนวนรวม (∑R)	1.97
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.50

3.1.4 แสดงบ้านเดี่ยวหลังที่ 4 ก่อสร้างด้วยผนังอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบา

อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ลักษณะพื้นที่ใช้สอยในการออกแบบบ้านพักอาศัยประเภทผนังอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete-ACC) เพื่อหาพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมดของบ้านพักอาศัย มีพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนรับแขก ครัวและส่วนรับประทานอาหาร ห้องน้ำ และห้องนอน

ภาพที่ 3.7 บ้านเดี่ยวติดตั้งผนังอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบา อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

รายละเอียดบ้านพักอาศัยประเภทบ้านผนังอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete-ACC)

- พื้นที่ใช้สอยรวม 54 ตารางเมตร
- โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงหลังคาเหล็ก
- ผนังคอนกรีตมวลเบา ทาสี
- หลังคามุงกระเบื้อง
- ฝ้าเพดานภายในกรุแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- ฝ้าเพดานภายนอกกรุแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดทนความชื้น หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- หน้าต่างอลูมิเนียม ลูกฟักกระจกใส หนา 3 ม.ม.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

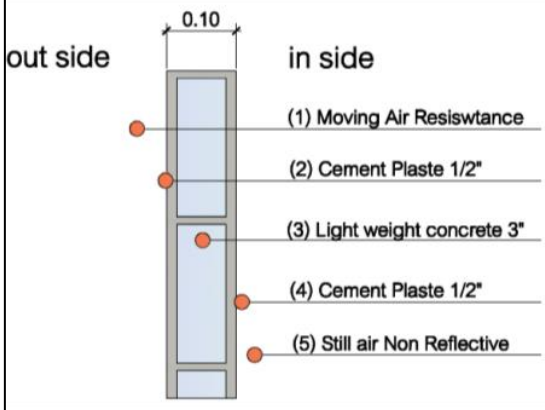
ภาพที่ 3.8 แสดงการก่อฉาบคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว

คอนกรีตมวลเบา เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำ ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ยิปซัม มีฟองอากาศมากประมาณ 75% ทำให้เบาความเบาก็จะทำให้ประหยัดโครงสร้างเป็นฉนวนความร้อน ค่าการต้านทานความร้อนดีกว่าเมื่อฉาบจะแตกร้าวน้อยกว่าก่ออิฐฉาบปูน เนื่องจากตัวบล็อกกับปูนฉาบมีส่วนผสมที่ใกล้เคียงกัน มีน้ำหนักเบากว่าอิฐมอญ 2-3 เท่า และเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่า ส่งผลให้ประหยัดค่าก่อสร้างโครงสร้างอาคารและเสาเข็มลงได้อย่างมาก แต่อาคารยังคงมีความแข็งแรงใช้งานง่าย มีขนาดมิติเที่ยงตรงแน่นอน ได้ชิ้นงานที่เรียบ สวยงาม มีหลายขนาดให้เลือกประหยัดวัสดุและแรงงานในการก่อฉาบ ก่อสร้างเร็ว

แสดงคุณสมบัติของวัสดุผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความเป็นฉนวนของผนังอิฐมวลเบา หนา 4 นิ้ว

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
ขนาด (Volume) (cm.^{3})	7.5x20x60
ความหนาแน่น (kg/m.^{3})	550-640
น้ำหนักต่อตารางเมตร (kg/m.2)	46.5
น้ำหนักรวมคอนกรีตมวลเบา ต่อตารางเมตร (kg/m.^{2})	90-100
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer (W/m .K.)	32-42
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม"R" (Resistivity - R value) (m.^{2}kg)	0.089-0.132

คอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว	รายการ	BTU / h.ft^2. °F
	1.ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
	2.ปูนฉาบ หนา ½ นิ้ว	0.10
	3.คอนกรีตมวลเบา หนา 3 นิ้ว	2.16
	4.ปูนฉาบ หนา ½ นิ้ว	0.10
	5.ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความเป็นฉนวนรวม (∑R)	3.29
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.30

3.1.5 แสดงบ้านเดี่ยวหลังที่ 5 ก่อสร้างด้วยผนังคอนกรีตสำเร็จ (Pre cast)
อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ลักษณะพื้นที่ใช้สอยในการออกแบบบ้านพักอาศัยประเภทผนังคอนกรีตสำเร็จ (Pre cast) เพื่อหาพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมดของบ้านพักอาศัย มีพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนรับแขก ครัวและส่วนรับประทานอาหาร ห้องน้ำ และห้องนอน

ภาพที่ 3.9 บ้านเดี่ยวติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จ (Pre cast) อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

รายระเอียดบ้านพักอาศัยประเภทบ้านผนังคอนกรีตสำเร็จ (Pre cast)

- พื้นที่ใช้สอยรวม 96 ตารางเมตร
- โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงหลังคาเหล็ก
- ผนังคอนกรีตสำเร็จ ทาสี
- หลังคามุงกระเบื้อง
- ฝ้าเพดานภายในกรุแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- ฝ้าเพดานภายนอกกรุแผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดทนความชื้น หนา 9 ม.ม. ฉาบเรียบ ทาสี
- หน้าต่างอลูมิเนียม ลูกฟักกระจกใส หนา 3 ม.ม.

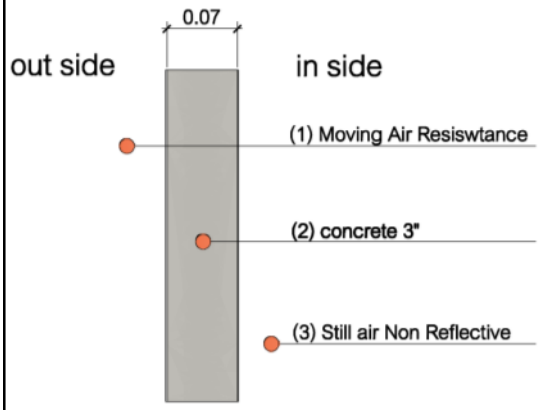
ภาพที่ 3.10 แสดงการติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จ (Precast) หนา 3 นิ้ว

ผนังคอนกรีตสำเร็จ (Precast) มีทั้งแบบที่สร้างแบบแล้วหล่อขึ้นมาเองและแบบสำเร็จรูปจะผลิตด้วยวิธีผลิตขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของผู้ผลิตหรือก่อสร้างของแต่ละราย อัตราส่วนของส่วนประกอบต่างๆโดยระบบคอมพิวเตอร์โดยมีลักษณะเป็นชิ้นๆมาประกอบ เช่น คาน เสา พื้น ผนังสำเร็จแล้วมาประกอบpre-cast เป็นชื่อเรียกชิ้นของโครงสร้างคือ เช่น บ้าน pre-cast จะไม่มีเสาและคานโดยใช้ผนังรับน้ำหนักแทนโครงสร้าง สร้างได้รวดเร็วกันความร้อนได้ดี

แสดงคุณสมบัติของวัสดุผนังคอนกรีตสำเร็จ

ตารางที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความเป็นฉนวนของผนังคอนกรีตสำเร็จ หนา 3 นิ้ว

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
ขนาด (Volume) (cm.^{3})	7.5x100x100
ความหนาแน่น (kg/m.^{3})	2,400
น้ำหนักต่อตารางเมตร (kg/m.2)	180
น้ำหนักรวมคอนกรีตสำเร็จ ต่อตารางเมตร (kg/m.^{2})	180-200
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer (W/m. K.)	32-42
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม"R" (Resistivity - R value) (m.^{2}kg)	0.089-0.132

ผนังคอนกรีตสำเร็จ หนา 3 นิ้ว	รายการ	BTU / h.ft^2. $^\circ$F
	1.ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
	2.ผนังคอนกรีตสำเร็จ หนา 3 นิ้ว	0.33
	3.ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความเป็นฉนวนรวม (∑R)	1.26
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.79

3.2 ศึกษาตัวแปรที่ใช้

สรุปตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาที่มีผลต่อการออกแบบและก่อสร้างจริงของบ้านเดี่ยว ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรหรือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสบายทางด้านกายภาพที่นำมาศึกษามีดังนี้

3.2.1 การพิจารณาการเลือกใช้วัสดุผนังภายนอก

พิจารณาถึงตัวแปรของคุณสมบัติค่าการต้านทานความร้อน ค่า R-Value สูงไม่สะสมความร้อนหรือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม ค่า U- Value ต่ำ และสามารถพิจารณาได้ว่าผนังภายนอกแต่ละประเภทแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

3.2.1 ประเภทที่มีค่ามวลสารน้อย (Low thermal mass)

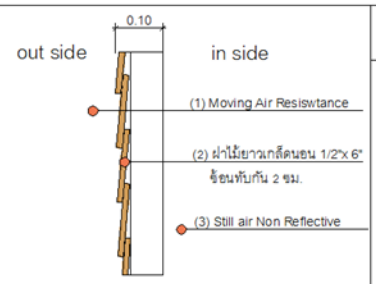
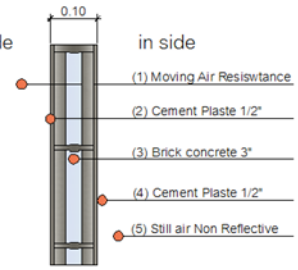
มีน้ำหนัก 0-125 กิโลกรัม/ตารางเมตร ในด้านการถ่ายเทความร้อน คือ ผนังไม้ และผนังคอนกรีตมวลเบา

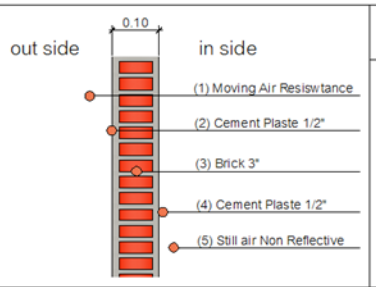
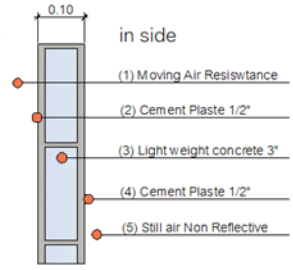
3.2.2 ประเภทที่มีค่ามวลสารปานกลาง (medium thermal mass)

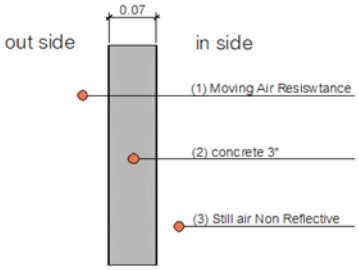
มีน้ำหนัก 126-195 กิโลกรัม/ตารางเมตร ในด้านการถ่ายเทความร้อน คือ ผนังคอนกรีตบล็อก และ ผนังอิฐมอญ

การวิเคราะห์ค่า U - Value (สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร) ของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภทดังนี้

ภาพที่ 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร 5 ประเภท

ผนังไม้ฝาตีเกล็ดนอน หนา 4 นิ้ว		ผนังคอนกรีตบล็อก (Concrete Masonry Unit) หนา 4 นิ้ว	
	($ft^2.h.^\circ F/Btu$) 0.25 0.40 0.68		($ft^2.h.^\circ F/Btu$) 0.25 0.10 0.84 0.10 0.68
ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	1.33	ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	1.97
	($Btu/h.ft^2.^\circ F$)		($Btu/h.ft^2.^\circ F$)
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.75	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.50

ผนังก่ออิฐฉาบปูน (Brick) หนา 4 นิ้ว		ผนังคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete-ACC) หนา 4 นิ้ว	
	($ft^2.h.^\circ F/Btu$) 0.25 0.10 0.45 0.10 0.68		($ft^2.h.^\circ F/Btu$) 0.25 0.10 2.16 0.10 0.68
ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	1.58	ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	3.29
	($Btu/h.ft^2.^\circ F$)		($Btu/h.ft^2.^\circ F$)
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.63	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.30

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (หนา 3 นิ้ว)	
	($ft^2.h.^\circ F/Btu$) 0.25 0.33 0.68
ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	1.26
	($Btu/h.ft^2.^\circ F$)
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.79

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

3.3.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิววัสดุ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิววัสดุด้วยรังสีอินฟราเรด รุ่น testo 860-T2 สามารถเปลี่ยน ค่าอีมีสซิวิตี้ (emissivity value) ของผิววัสดุได้ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (^{o}C)

-ระยะในการวัดมาตรฐาน (standard optical) มีความสัมพันธ์ 60:1

-ระยะในการวัดแบบใกล้ (close focus optical) มีความสัมพันธ์ 50:1

-ย่านในการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -50 ถึง 500^{o}C

-ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -5 ถึง 500^{o}C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 1% ของค่าที่ อ่านได้ หรือ +/- 1^{o}C

-ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -30 ถึง -5^{o}C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 1.5 ^{o}C

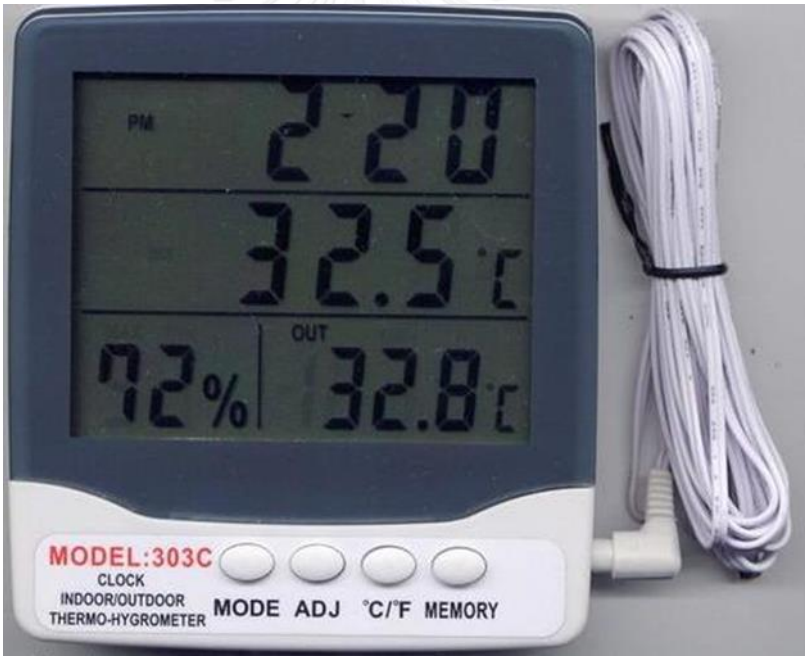
-ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -50 ถึง -30^{o}C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่+/- 2^{o}C

วิธีการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิของพื้นผิววัสดุภายนอก กระทำได้โดยปรับตั้งค่าอีมิสซิวิตีตามลักษณะของพื้นผิวที่ต้องจะทำการวัด และให้ทำการวัดโดยให้รังสีอินฟราเรดตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุผนังภายนอกนั้น

ภาพที่ 3.12 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิผิววัสดุด้วยรังสีอินฟราเรด รุ่น testo 860-T2

3.3.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติรุ่น Model: 303C การวัดอุณหภูมิมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (^{o}C) และองศาฟาเรนไฮต์ (^{o}F) การวัดความชื้นสัมพัทธ์มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

- การวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -20 ถึง 50^{o}C (-68 ถึง 122^{o}F) มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 0.1^{o}C (+/- 1 ถึง +/-33.8^{o}F) ค่าความละเอียดภายในอยู่ที +/- 0.5^{o}C (+/- 32.9^{o}F)
- การวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง10% ถึง 95 % มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 5 ค่าความละเอียดภายในอยู่ที 1%
- ค่าอุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งานอยู่ระหว่าง -35 ถึง 80^{o}C (-31 ถึง 176^{o}F)
- อัตราการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 5 วินาที ถึง 36 ชั่วโมง
- พลังงาน 1.5 V



ภาพที่ 3.13 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น DIGICON Model: 303C

ขั้นตอนที่ 2

ศึกษาการคำนวณคุณสมบัติของผนังภายนอกผ่านโปรแกรม Microsoft-Excel โดยอ้างอิงสูตรจากหนังสือ ASHRAE Fundamentals Handbook ปี 1989 เพื่อทราบถึงคุณสมบัติของผนังภายนอกแต่ละประเภทที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (โปรแกรมแสดงในภาคผนวก) เพื่อวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท ทั้ง 4 ทิศทางของอาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

- วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่นิยมใช้ทำผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท เพื่อทราบถึงผลกระทบต่อค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ของวัสดุแต่ละประเภท
- เปรียบเทียบความแตกต่างในด้านค่าภาระการทำความเย็นของผนังทดสอบเดิมและผนังที่ทำการปรับปรุงโดยการติดฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 4 นิ้ว ในด้านทิศตะวันตก (ทิศที่ได้รับผลกระทบด้านความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด)
- สรุปผลความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน และข้อเสนอแนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

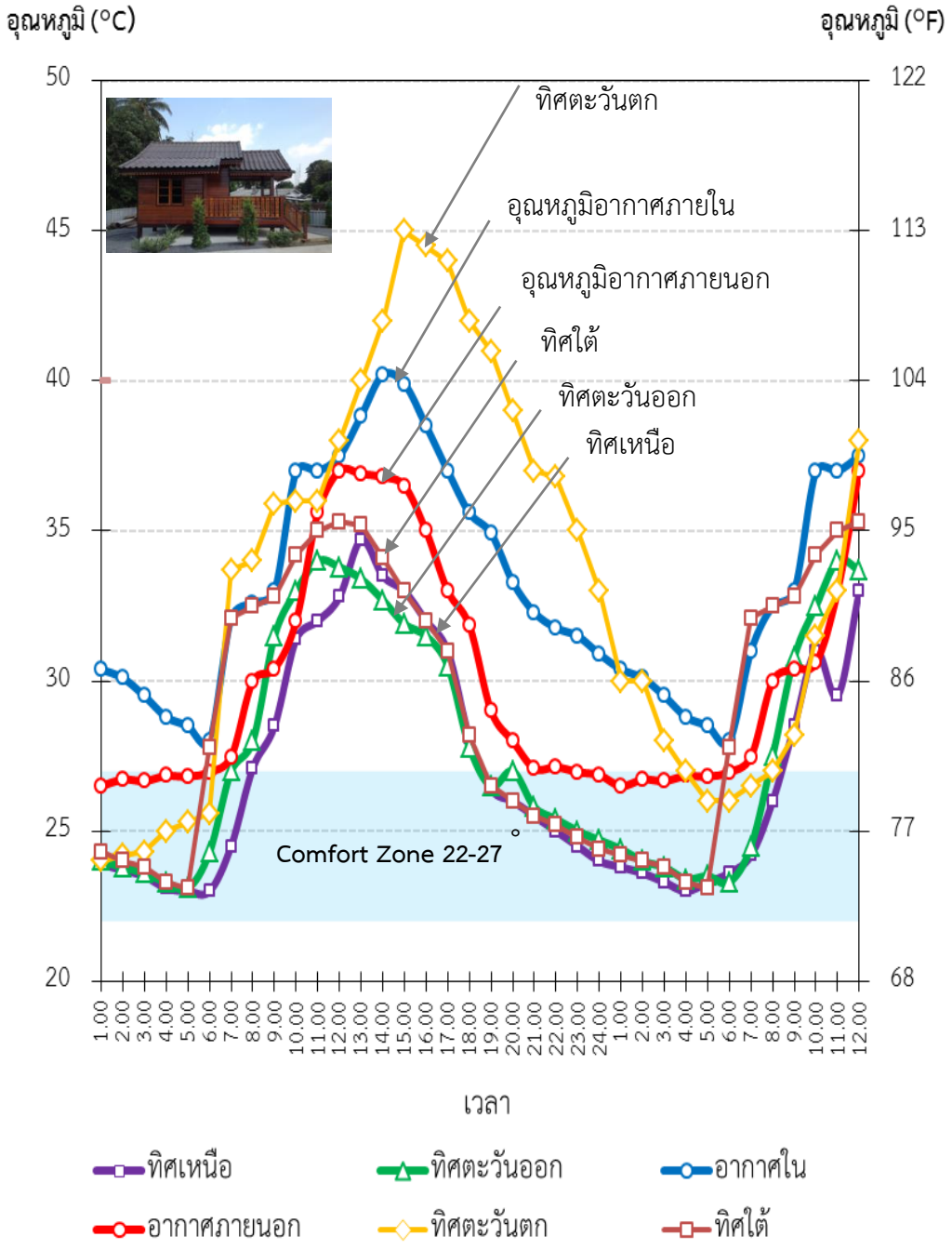
บทที่ 4
วิเคราะห์ผลการวิจัย

งานวิจัยศึกษาถึงวัสดุที่นิยมใช้ในการสร้างบ้านเดี่ยวในปัจจุบัน ทั้ง 5 ประเภทจากสถานที่จริงในพื้นที่ภาคกลางจำนวน 5 หลัง เพื่อทราบถึงสาเหตุของการเลือกใช้วัสดุ ด้านการป้องกันความร้อนของวัสดุ ซึ่งเลือกวัสดุที่นิยมใช้ในการก่อสร้างมาทำการวิเคราะห์เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานทั้งด้านการประหยัดพลังงาน

4.1 ผลการเก็บข้อมูลคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยว โดยการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง

สรุปผลการทดสอบเก็บข้อมูลตัวแปรของอุณหภูมิผิวผนังภายนอก – ผิวผนังภายในบ้านเดี่ยว ทั้ง 5 ประเภท จากพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่นิยมใช้ในการก่อสร้าง พบว่าวัสดุที่นิยมใช้ทำผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท เป็นผนังมวลสารน้อย (ผนังไม้) มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอย่างรวดเร็ว และมวลสารปานกลาง (ผนังอิฐมอญ , ผนังคอนกรีตบล็อก , ผนังคอนกรีต มวลเบา, ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป) เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในตามอุณหภูมิอากาศภายนอกช้ากว่าผนังมวลสารน้อยเนื่องจากการต้านทานความร้อนในผนังที่สูงตามขนาดความหนาของวัสดุที่นำมาติดตั้งผนัง ส่งผลให้เกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อนภายในผนัง ทำให้อุณหภูมิผิวภายในทั้งหมดมีความร้อนสะสมที่ผิวผนังสูง โดยวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผิวผนังของอุณหภูมิผิวภายนอก อุณหภูมิผิวภายใน ผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท ทั้ง 4 ทิศทาง ตามที่แสดงในแผนภูมิ 4.1 – 4.5 ดังนี้

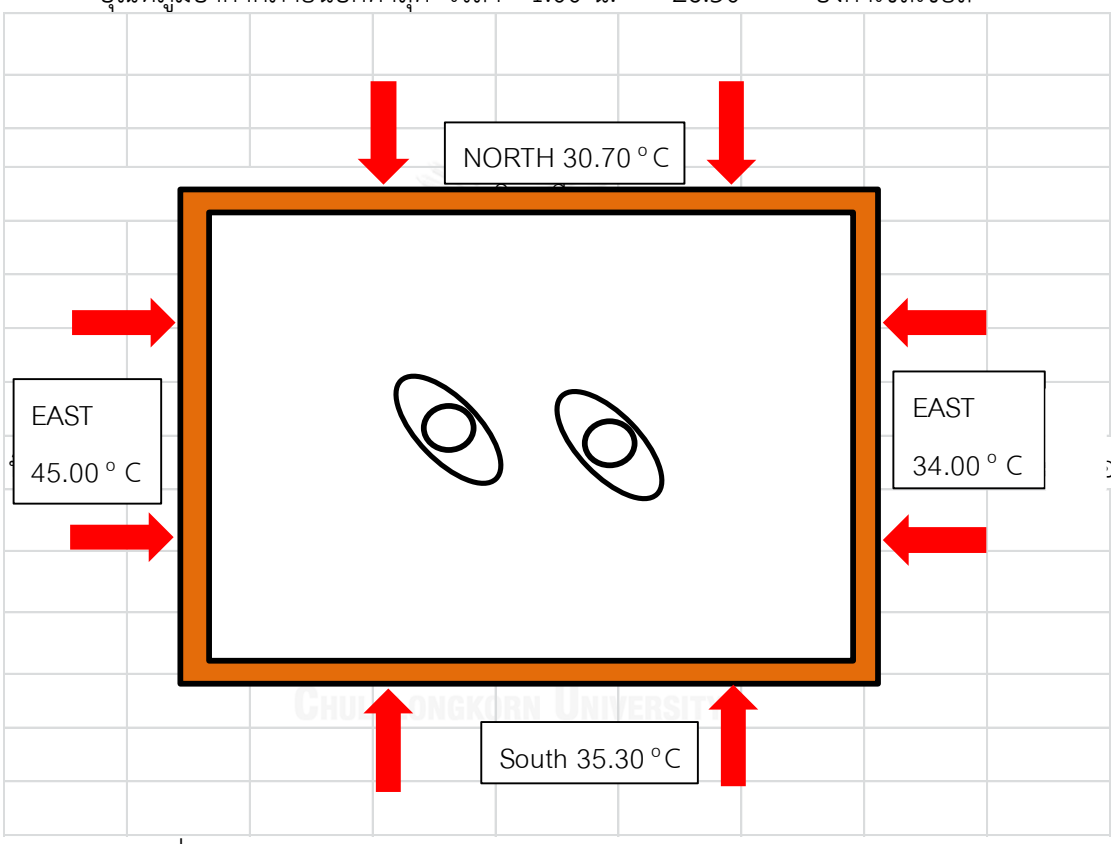
4.1.1 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิผิวภายนอก – ภายใน ของผนังไม้ (Wood) หนา 4” ทั้ง 4 ทิศ เดือนเมษายน



ภาพที่ 4.1 แสดงเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังไม้ ทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

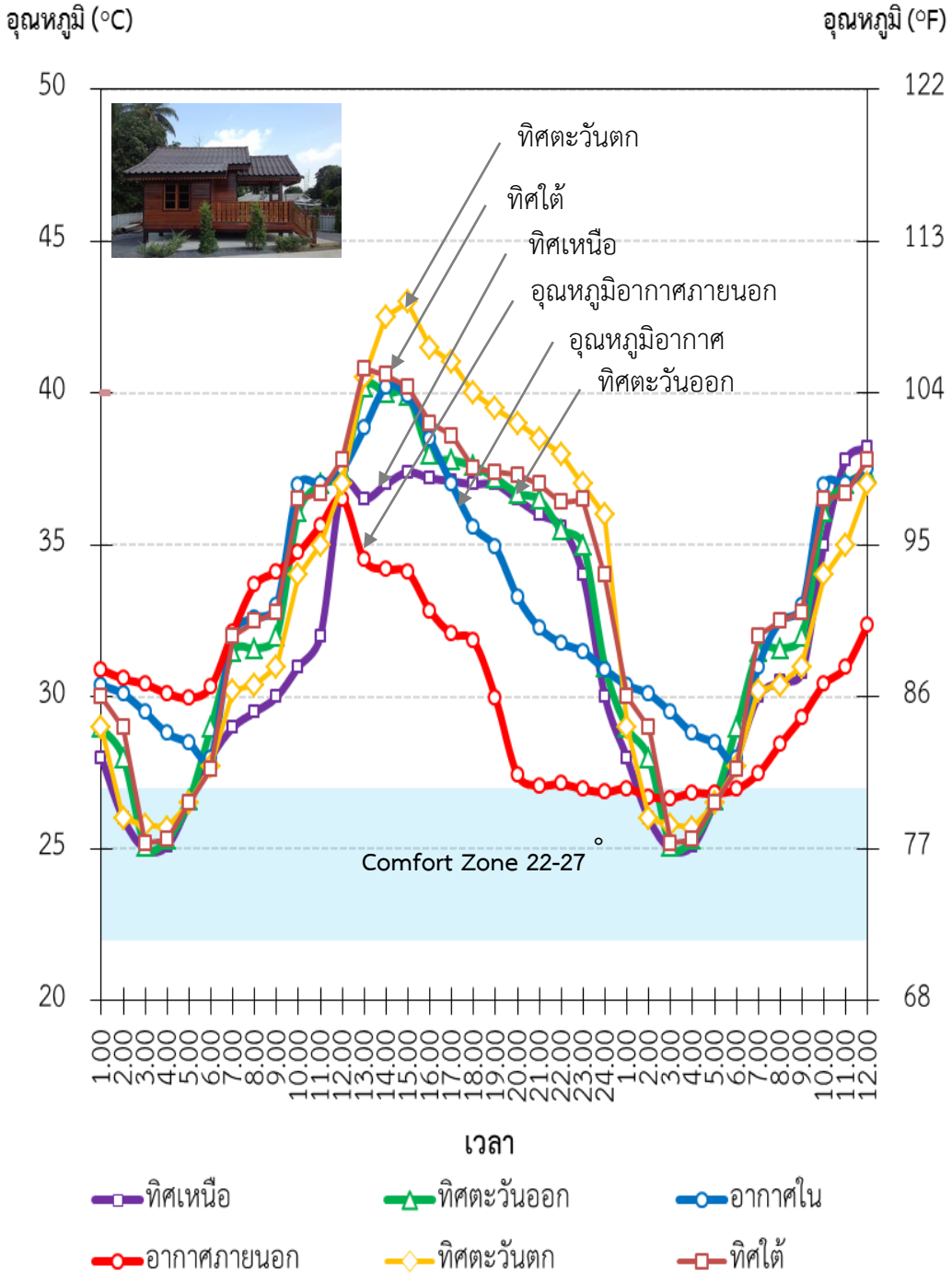
อุณหภูมิผิวภายนอกในแต่ละด้านของผนังไม้หนา 4” ในแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

ผนังภายนอกทิศเหนือ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 13:00 น. 30.70 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศตะวันออก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 11:00 น. 34.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศตะวันตก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 15:00 น. 45.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศใต้ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 12:00 น. 35.30 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 29.92 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด เวลา 12:00 น. 37.00 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด เวลา 1:00 น. 26.50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังไม้ หนา 4”

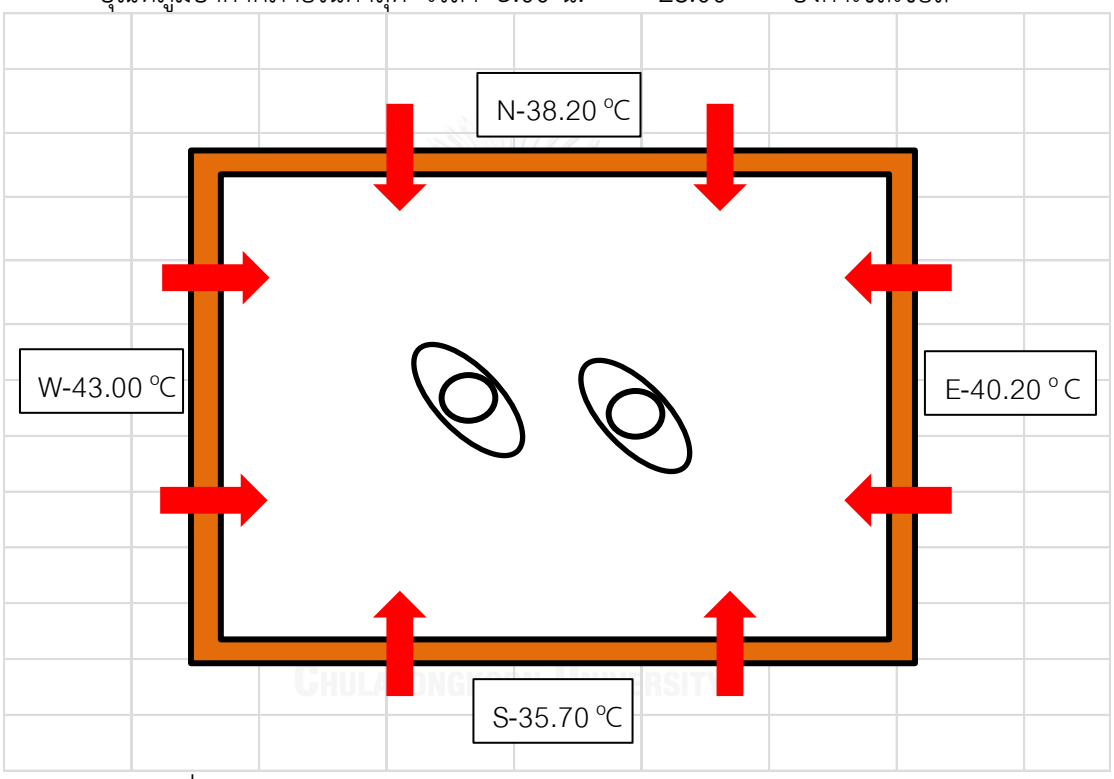
พบว่าอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังไม้ มีอุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนสูงสุดในช่วงเช้า เวลา 10:00 – 15:00 น. เนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ช่วงเช้าที่เริ่มมีแสงแดดบริเวณผิวผนังไม้ เวลา 12:00 น.มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 37.00 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสูงสุดเวลา 15:00 น.อุณหภูมิอากาศ 45.00 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังไม้ ซึ่งเป็นผนังที่มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณน้อยทำให้เกิดการถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตรารวดเร็ว



ภาพที่ 4.3 แสดงเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายในของผนังไม้ทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

อุณหภูมิผิวผนังไม้ภายในแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

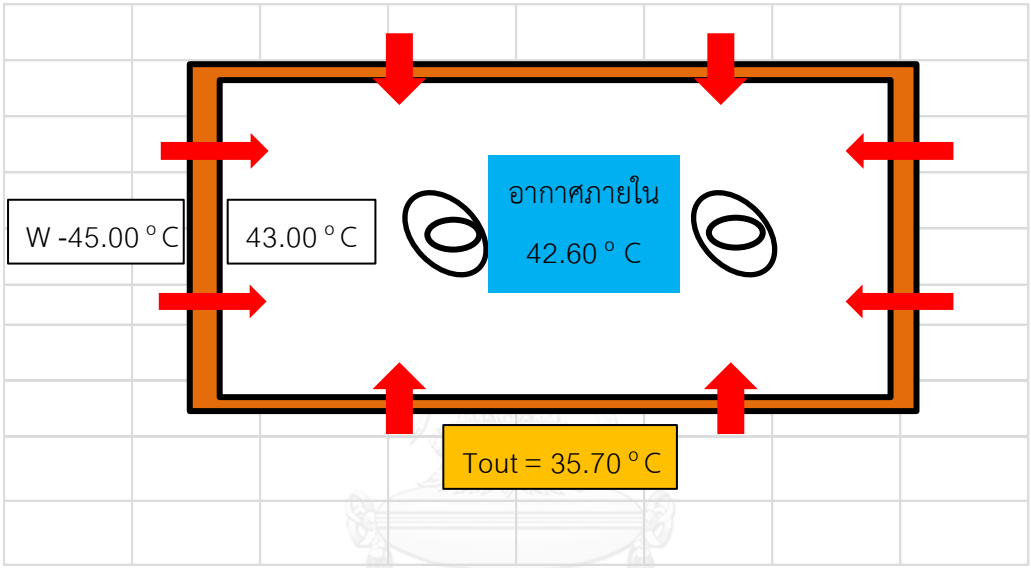
ผนังภายในทิศเหนือ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 12:00 น.	38.20	องศาเซลเซียส
ผนังภายในตะวันออก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 13:00 น.	40.20	องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศตะวันตก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 15:00 น	43.00	องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศใต้ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 13:00 น.	40.80	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย 24 ชั่วโมง		40.20	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด	เวลา 14:00 น.	42.60	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด	เวลา 3:00 น.	28.00	องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังไม้ หนา 4”

อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังไม้ มีอุณหภูมิอากาศภายในร้อนสูงสุดในช่วงบ่าย เวลา 15:00 น. มีอุณหภูมิสูงสุด 43.00 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสุดเวลา 15:00 น.อุณหภูมิอากาศ 45.00 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิซึ่งภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังไม้ เป็นผนังที่มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณน้อยทำให้เกิดการถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตรารวดเร็ว

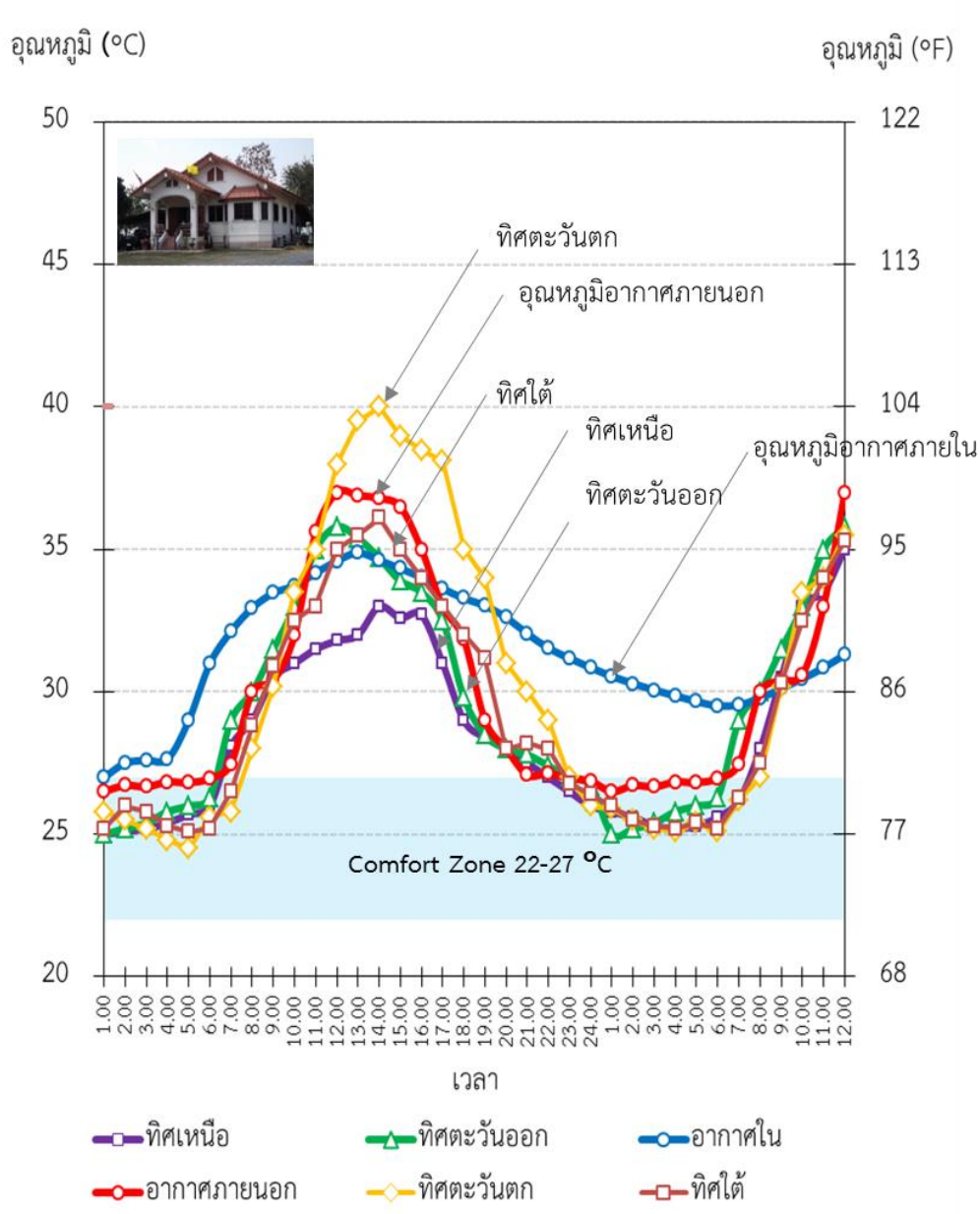
แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในพบว่าของผนังไม้ อุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันออกเริ่มมีอุณหภูมิสูงในช่วงเช้า ช่วงเวลา 10:00 – 15:00 น. เนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่มีการโคจรอ้อมทางทิศใต้ และอุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนขึ้นสูงสุดที่เวลา 12:00 น.ในช่วงเช้าที่เริ่มมีแสงแดดบริเวณผิวผนังไม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนัง และมีการรั่วซึมของอากาศภายนอกส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวภายในทำให้อุณหภูมิผนังภายในสูงสุดที่เวลา 13:00 น.ในช่วงกลางคืนผิวผนังมีการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำลงได้เร็วจากผนังมีการรั่วซึมของอากาศสูง



ภาพที่ 4.5 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังไม้

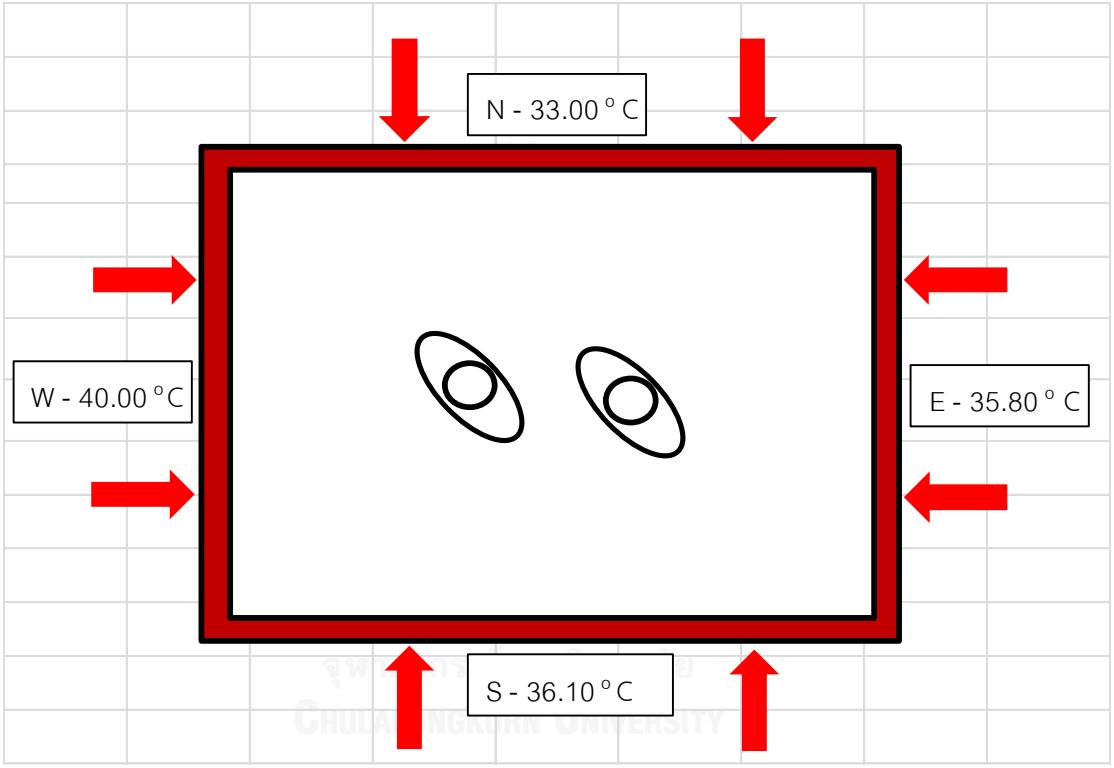
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิผิวภายนอก – ภายใน ของผนังก่ออิฐมอญ (Brick)



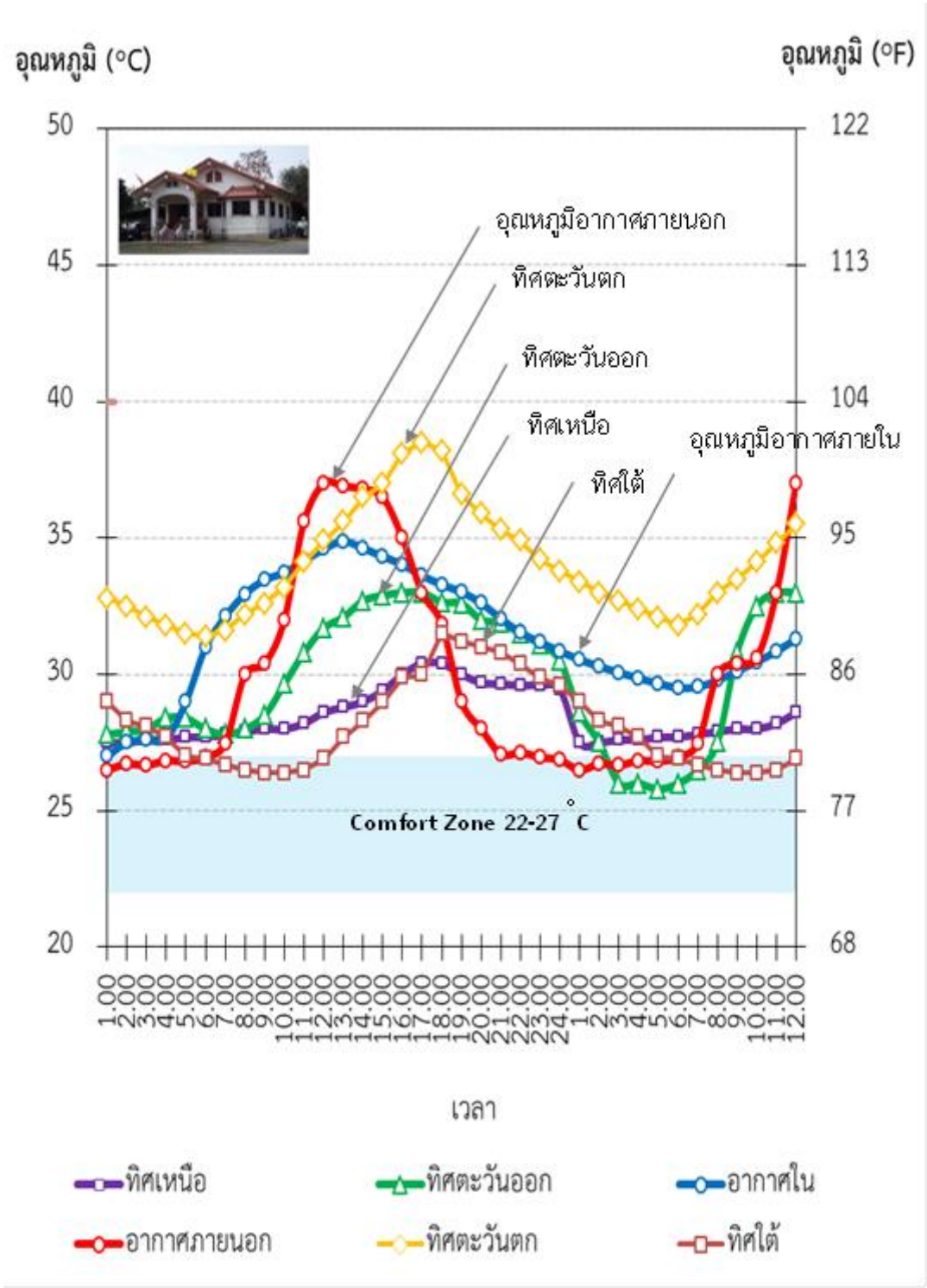
ภาพที่ 4.6 แสดงเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังก่ออิฐมอญทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

ผนังภายนอกทิศเหนือ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 14:00 น. 33.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกตะวันออก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 12:00 น. 35.80 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศตะวันตก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 14:00 น. 40.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศใต้ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 14:00 น. 36.10 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 30.34 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด เวลา 12:00 น. 37.00 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด เวลา 1:00 น. 26.50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.7 แสดงค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังอิฐมอญ หนา 4”

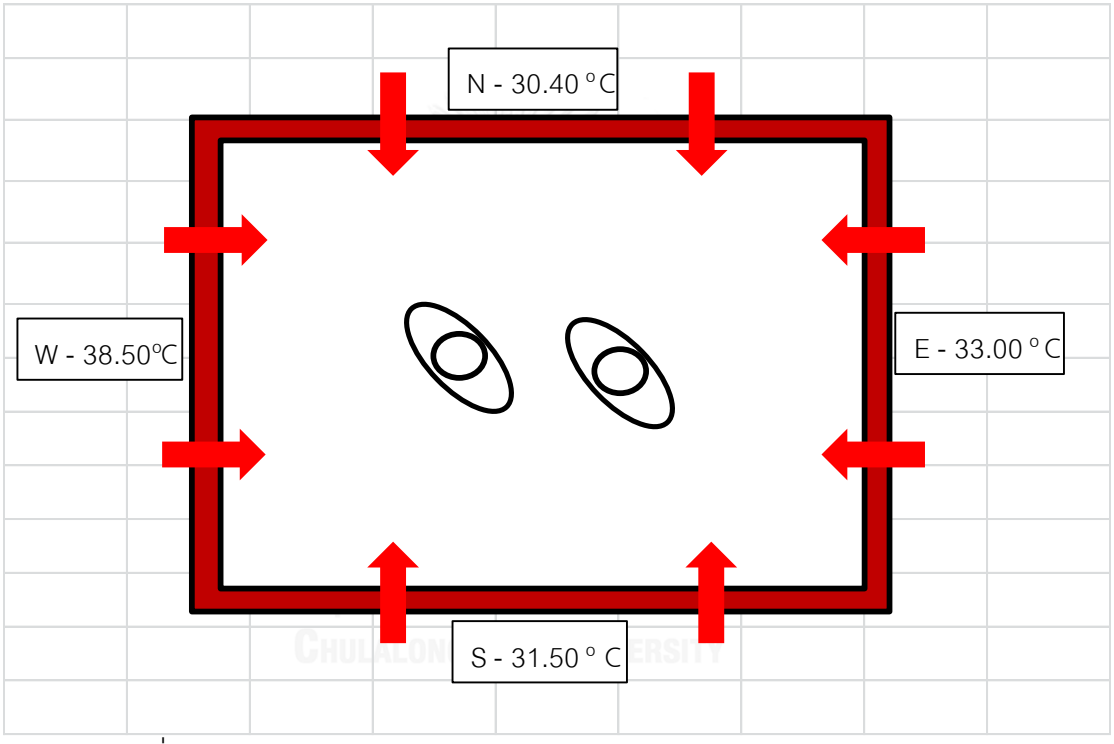
อุณหภูมิผิวสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังอิฐมอญ พบว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนสูงสุดในช่วงเช้า เวลา 10:00 – 14:00 น. เนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเช้าที่เริ่มมีแสงแดดบริเวณผิวผนังอิฐมอญ เวลา 12:00 น. มีอุณหภูมิสูงสุด 35.80 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสุดเวลา 14:00 น.อุณหภูมิอากาศ 40.00 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังอิฐมอญ เป็นผนังที่มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณมากทำให้เกิดการถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตราช้า



ภาพที่ 4.8 แสดงเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายในของผนังอิฐมอญ ทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

อุณหภูมิผิวผนังอิฐมอญภายในแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

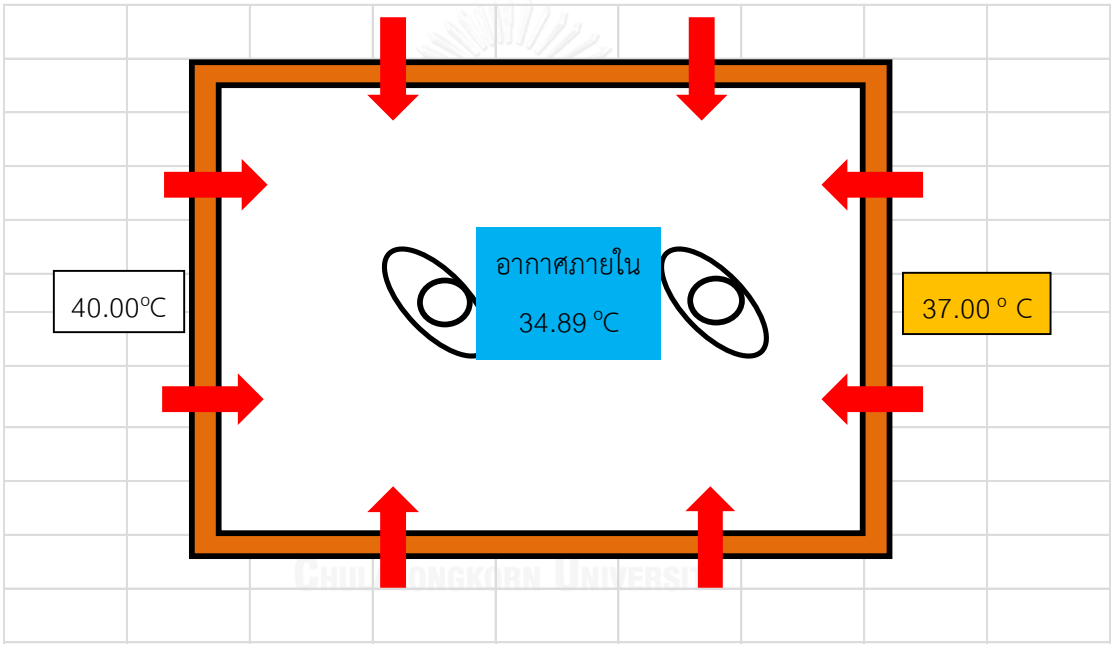
ผนังภายในทิศเหนือ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 17:00 น. 30.40 องศาเซลเซียส
ผนังภายในตะวันออก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 13:00 น. 33.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศตะวันตก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 17:00 น 38.50 องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศใต้ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 18:00 น. 31.50 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 31.95 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด เวลา 13:00 น. 34.89 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด เวลา 1:00 น. 27.00 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.9 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังอิฐมอญ หนา 4”

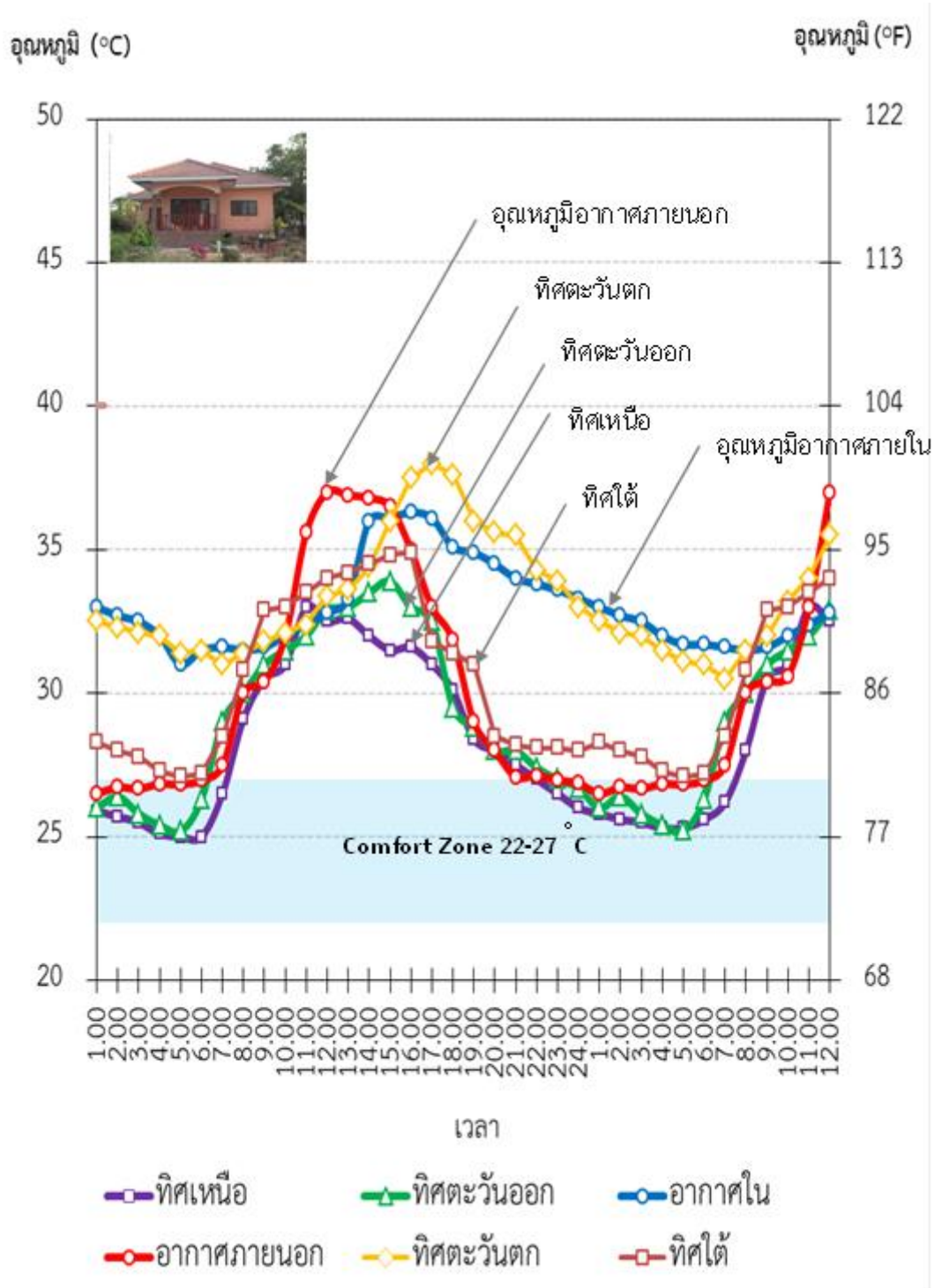
อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังอิฐมอญ พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในร้อนสูงสุดในช่วงบ่าย เวลา 13:00 น. มีอุณหภูมิสูงสุด 34.89 องศาเซลเซียส เนื่องจาก อุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสูงสุดเวลา 17:00 น.อุณหภูมิอากาศ 38.50 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่าย อุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังอิฐมอญอุณหภูมิภายในบ้านจะสูงกว่าภายนอกเกือบตลอดในแง่ของประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง

แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังภายนอกสู่ผิวภายในพบว่าผนังอิฐมอญ อุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันออกร้อนสูงสุดในช่วงเช้า เวลา 10:00 – 13:00 น. เนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่มีการโคจรอ้อมทางทิศใต้ และอุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนขึ้นสูงสุดที่เวลา 12:00 น.ในช่วงเช้าที่เริ่มมีแสงแดด บริเวณผิวผนังก่ออิฐมอญมีอุณหภูมิสูงที่สุดเวลา 14:00 น. ตามอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังอิฐมอญซึ่งเป็นผนังที่มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณมากทำให้เกิดระยะเวลา (Time Lag) ที่ความร้อนถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตราช้า และการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวภายในทำให้อุณหภูมิผนังภายในสูงสุดที่เวลา 13:00 น.ในช่วงกลางคืนผิวผนังมีการถ่ายเทความร้อนสู่ภายใน



ภาพที่ 4.10 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังอิฐมอญ

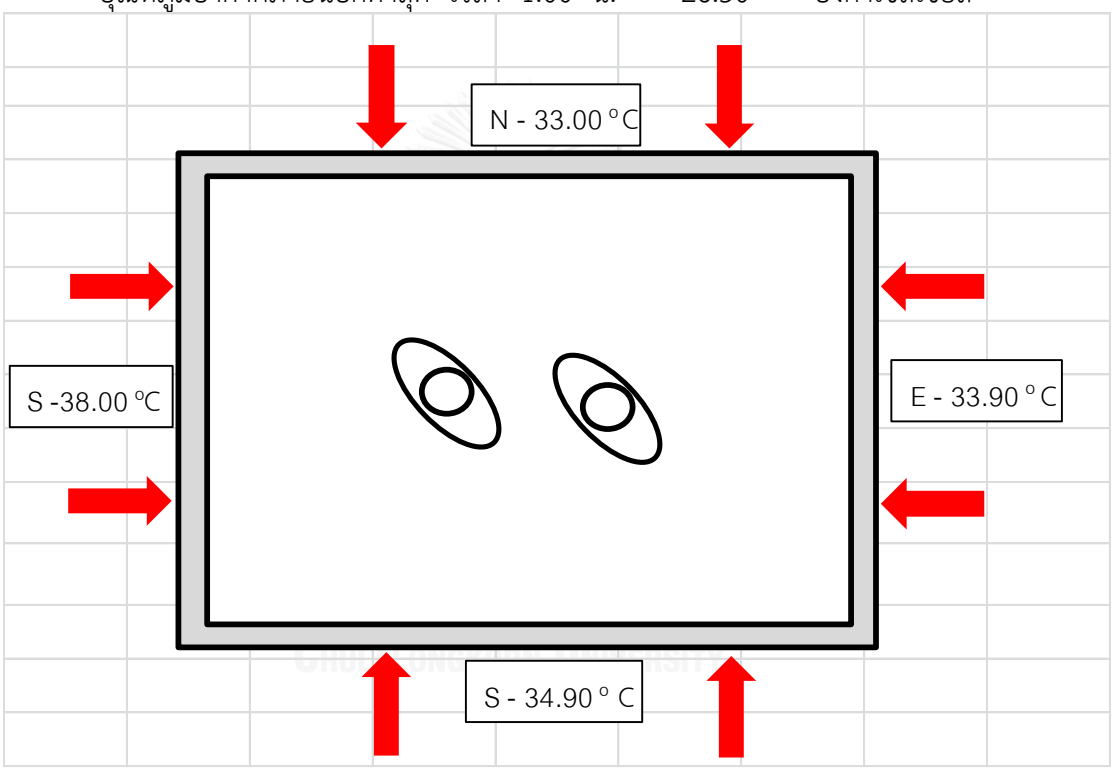
4.1.3 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิผิวภายนอก – ภายใน ของผนังคอนกรีตบล็อก (Concrete Masonry Unit)



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของคอนกรีตบล็อก ด้านทิศตะวันตก ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

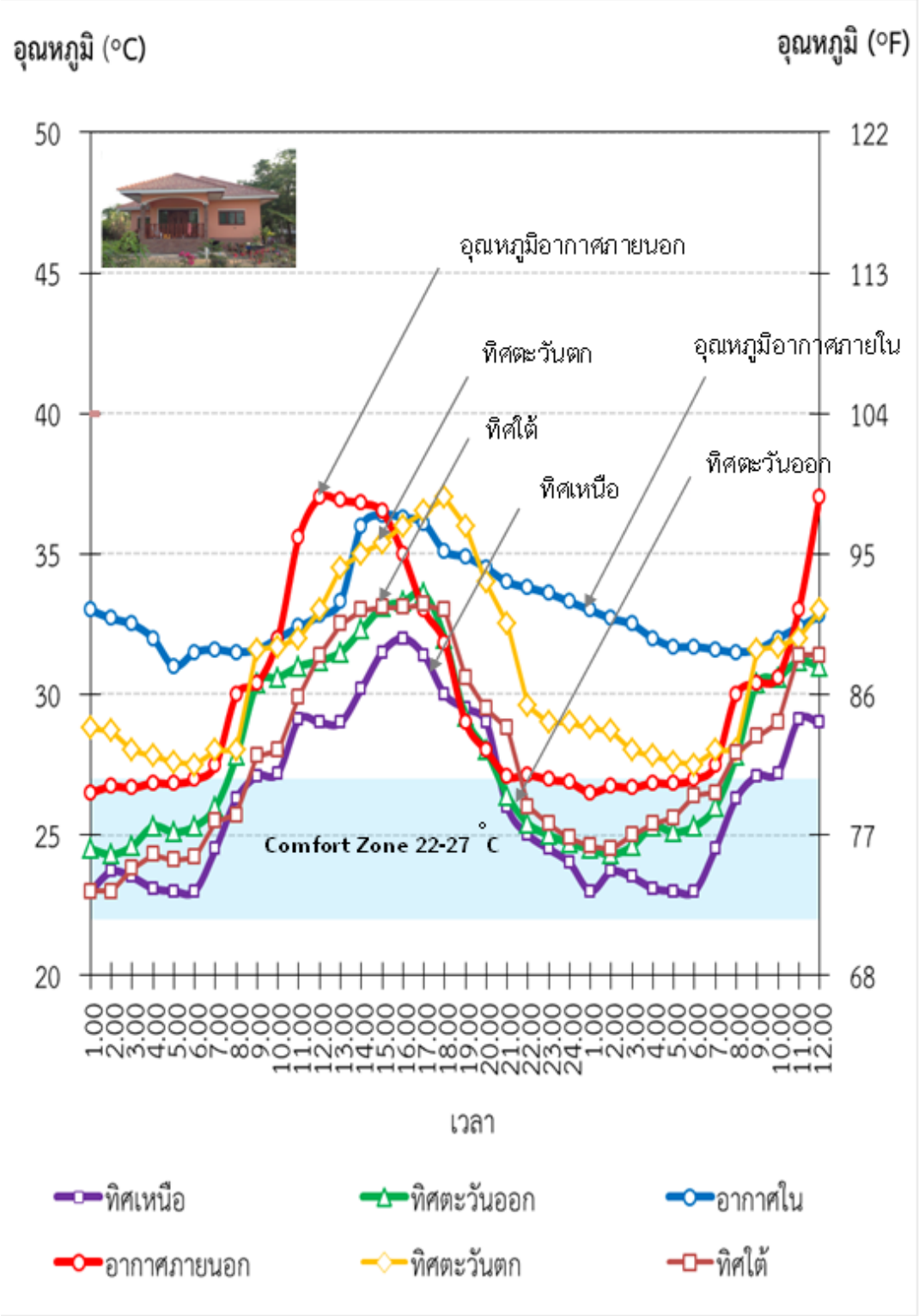
อุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตบล็อกภายนอกแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

ผนังภายนอกทิศเหนือ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 11:00 น. 33.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกตะวันออก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 15:00 น. 33.90 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศตะวันตก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 17:00 น. 38.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศใต้ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 16:00 น. 34.90 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 30.34 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด เวลา 12:00 น. 37.00 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด เวลา 1:00 น. 26.50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.12 แสดงค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4”

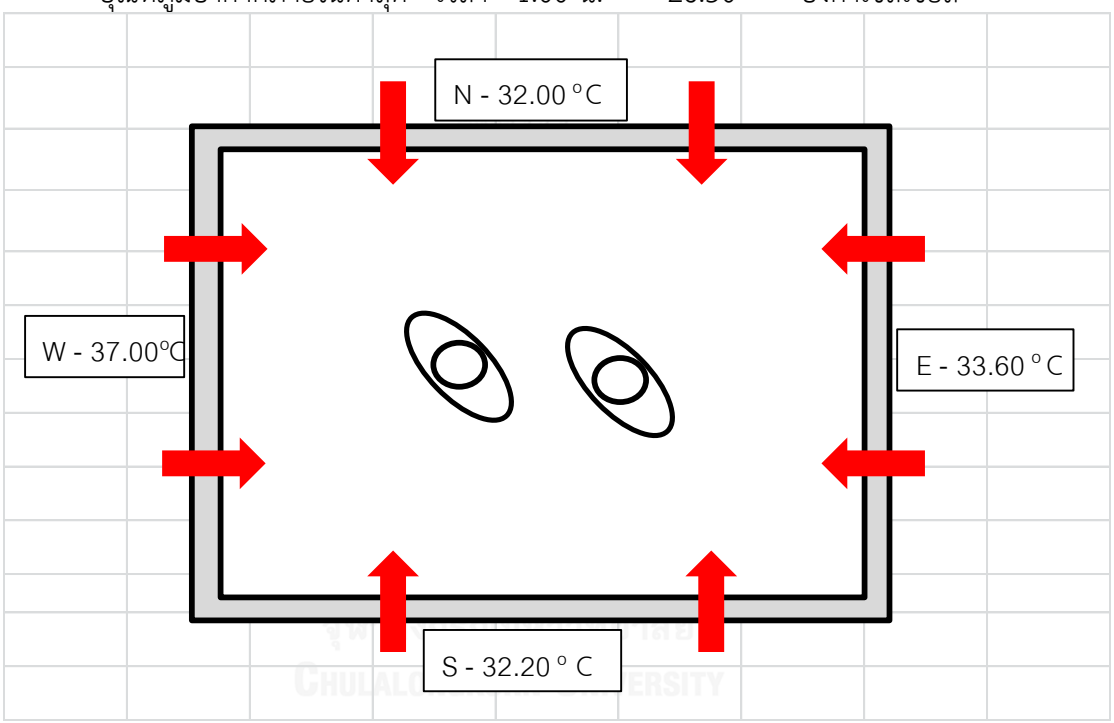
พบว่าอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังคอนกรีตบล็อก พบว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนสูงสุดในช่วงเวลา 11:00 – 17:00 น. เนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่บริเวณผิวผนังคอนกรีตบล็อก เวลา 17:00 น.มีอุณหภูมิสูงสุด 38.00 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสูงสุดเวลา 17:00 น.อุณหภูมิอากาศ 38.00 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังคอนกรีตบล็อก เป็นผนังที่มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณน้อยทำให้เกิดการถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตรารวดเร็ว



ภาพที่4.13 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนังและอุณหภูมิผิวภายในของผนังคอนกรีตบล็อก ทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

อุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตบล็อกภายในแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

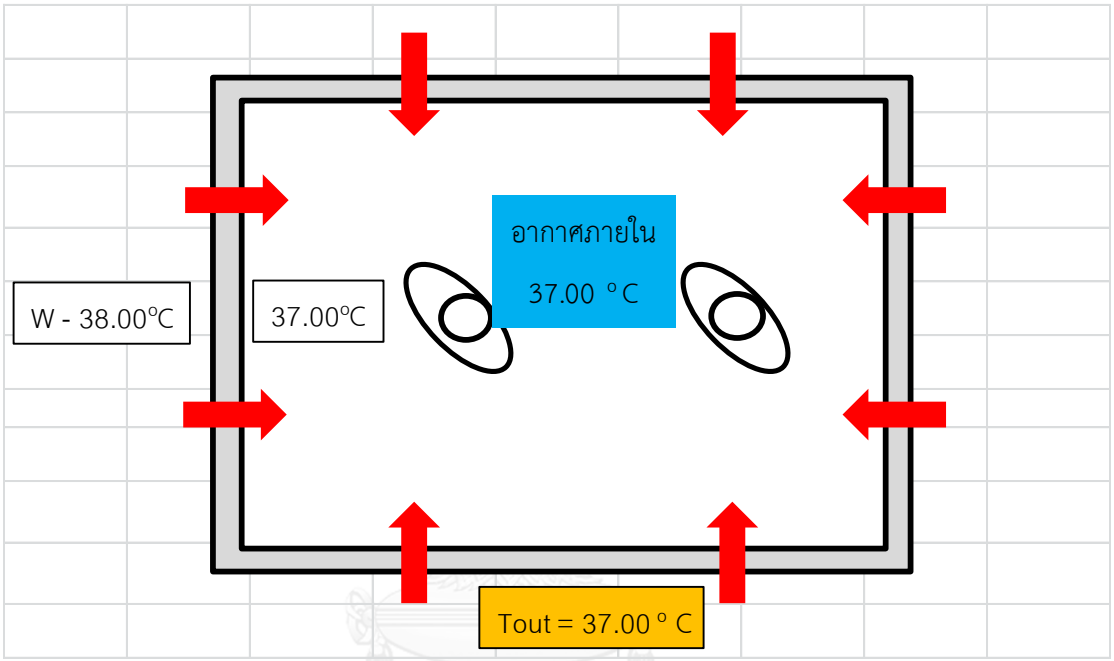
ผนังภายในทิศเหนือ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 16:00 น.	32.00	องศาเซลเซียส
ผนังภายในตะวันออก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 17:00 น.	33.60	องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศตะวันตก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 18:00 น	37.00	องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศใต้ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 17:00 น.	33.20	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย 24 ชั่วโมง		31.95	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด	เวลา 12:00 น.	37.00	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด	เวลา 1:00 น.	26.50	องศาเซลเซียส



ภาพที่4.14 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4”

อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตบล็อก พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในร้อนสูงสุดในช่วงบ่าย เวลา 13:00 น. มีอุณหภูมิสูงสุด 35.00 องศาเซลเซียส เนื่องจาก อุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสุดเวลา 18:00 น.อุณหภูมิอากาศ 38.50 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังคอนกรีตบล็อก อุณหภูมิภายในบ้านจะสูงกว่าภายนอกเกือบตลอดในแง่ของประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง

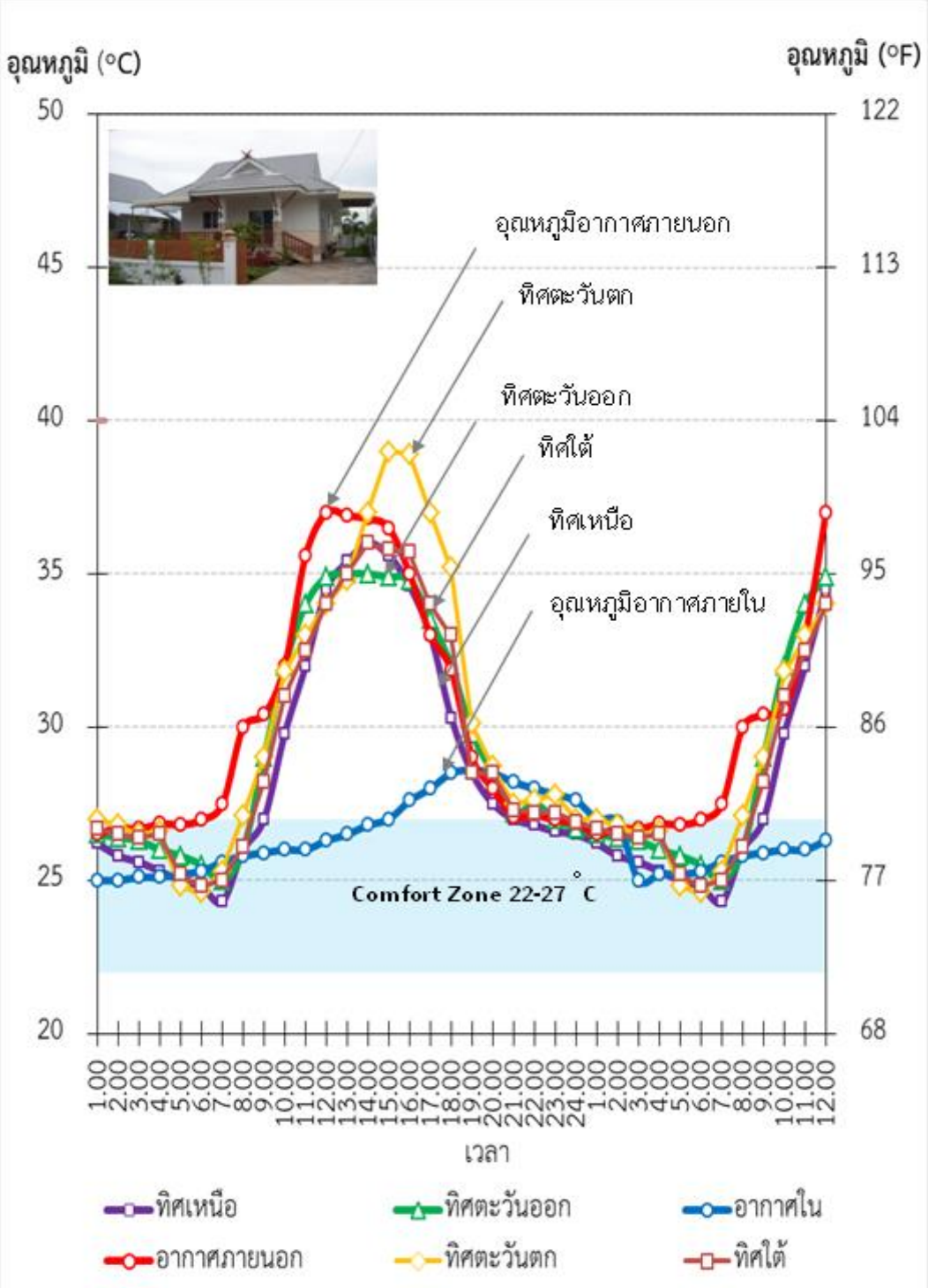
แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังคอนกรีตบล็อก อุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนขึ้นสูงสุดที่เวลา 12:00 น.ในช่วงอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันออกร้อนสูงสุดในช่วงเช้า เวลา 12:00 – 16:00 น. จากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่บริเวณผิวผนังคอนกรีตบล็อกมีอุณหภูมิสูง ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังคอนกรีตบล็อกเป็นผนังที่มีคุณสมบัติไม่กักเก็บความร้อน และการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวภายในทำให้อุณหภูมิผนังภายในสูงสุดที่เวลา 18:00 น.



ภาพที่4.15 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังคอนกรีตบล็อก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

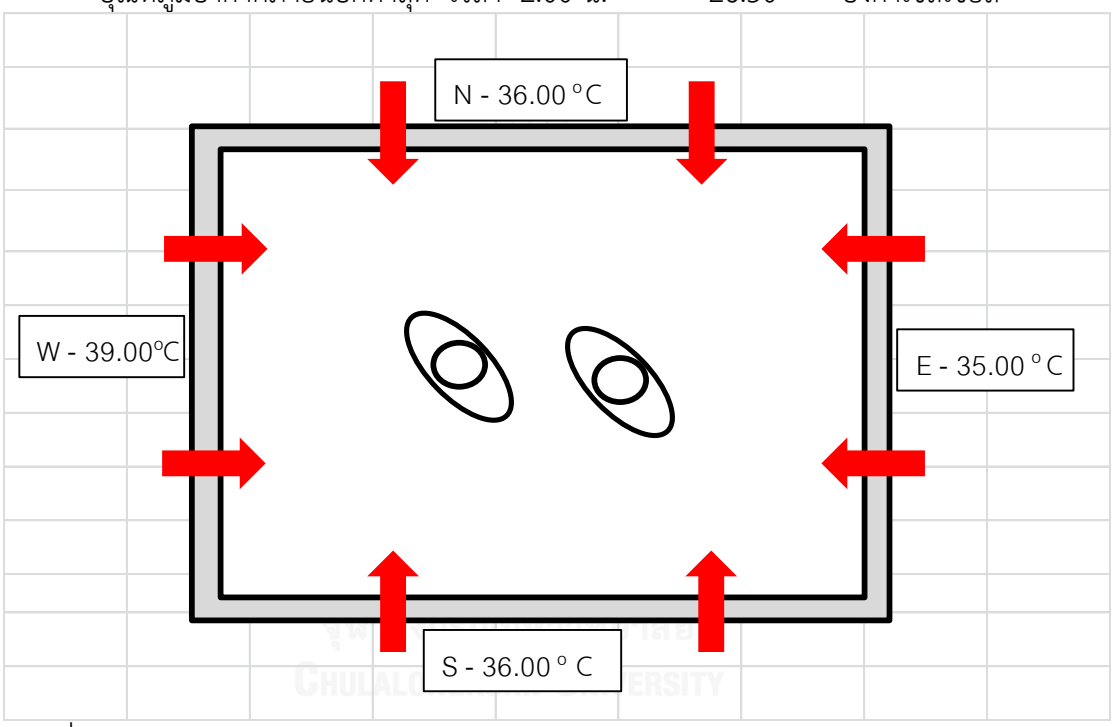
4.1.4 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิผิวภายนอก – ภายใน ของผนังคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete-ACC)



ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังคอนกรีตมวลเบา ทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

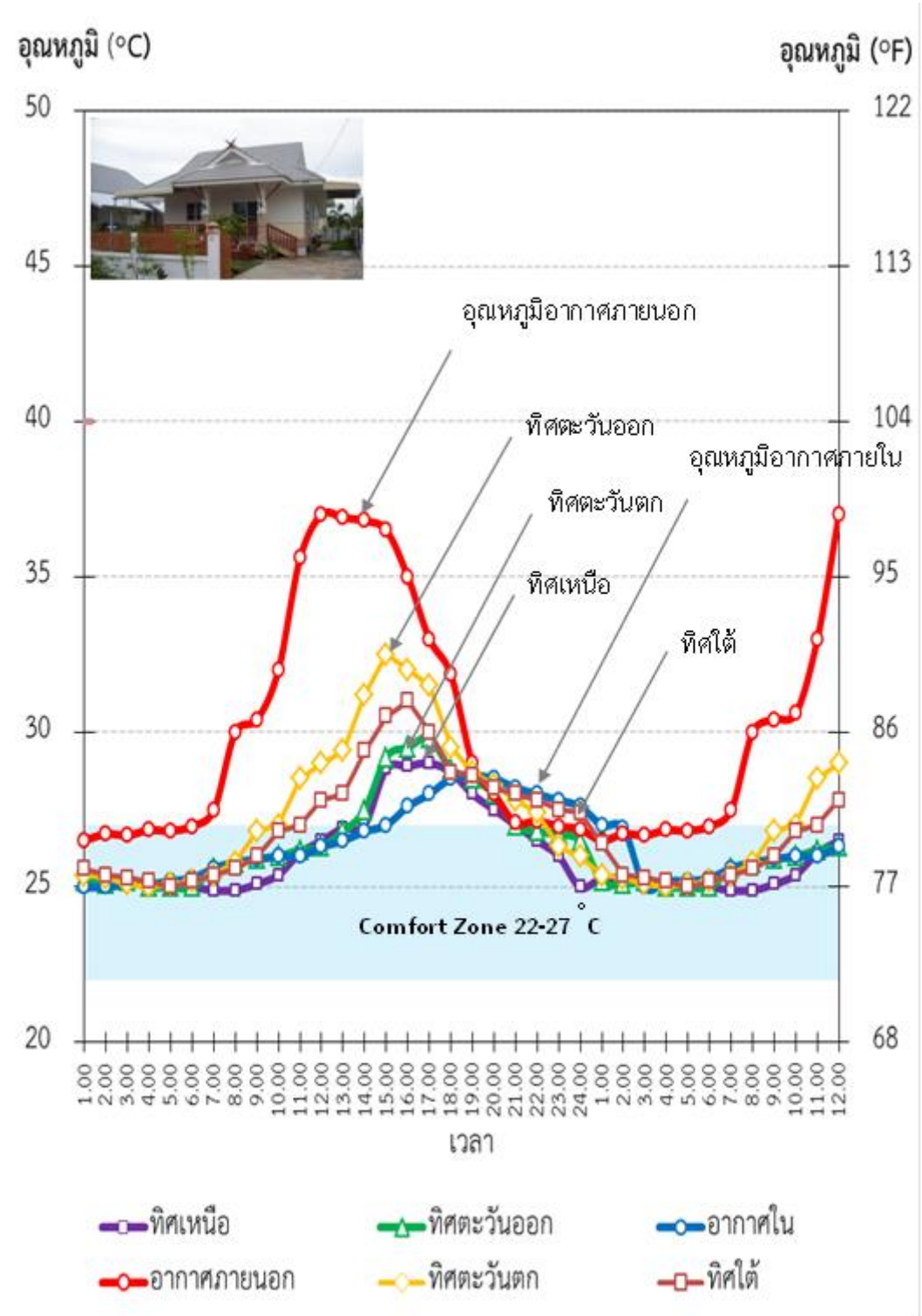
อุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตมวลเบาภายนอกแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

ผนังภายนอกทิศเหนือ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 14:00 น. 36.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกตะวันออก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 14:00 น. 35.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศตะวันตก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 15:00 น. 39.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศใต้ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 14:00 น. 36.00 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 31.40 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด เวลา 12:00 น. 37.00 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด เวลา 2:00 น. 26.50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.17 แสดงค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4”

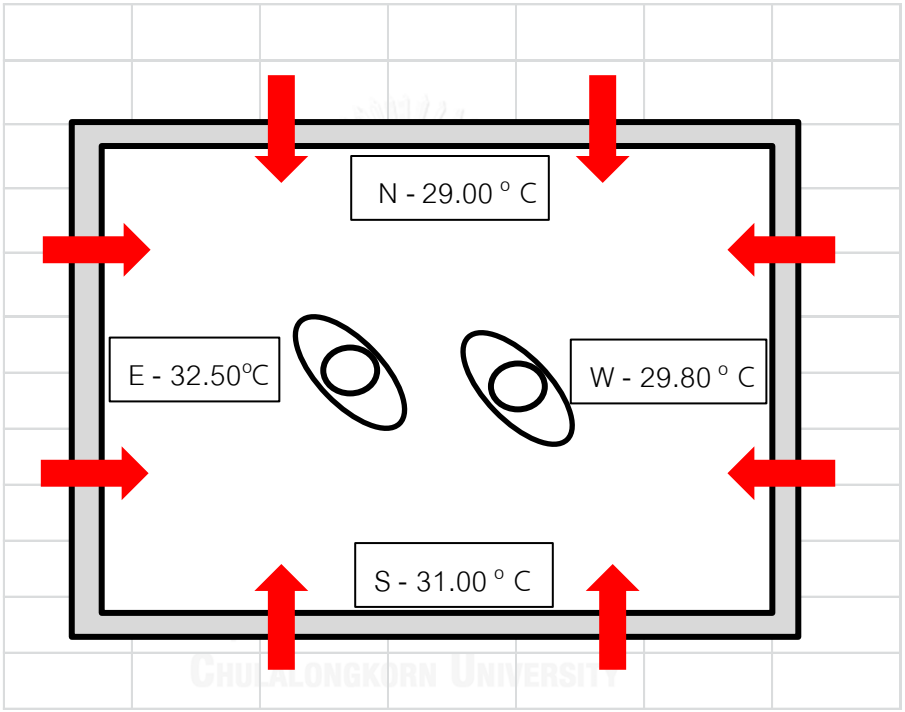
อัตราความร้อนที่ผ่านผนังและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังคอนกรีตมวลเบา พบว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนสูงสุดในช่วงเวลา 11:00 – 15:00 น. เนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่บริเวณผิวผนังคอนกรีตมวลเบา เวลา 14:00 น.มีอุณหภูมิสูงสุด 35.00 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสุดเวลา 15:00 น.อุณหภูมิอากาศ 39.00 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังคอนกรีตมวลเบา เป็นผนังที่มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณน้อยทำให้เกิดการถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตรารวดเร็ว



แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนัง และอุณหภูมิผิวภายในของผนังคอนกรีตมวลเบา ทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

อุณหภูมิผิวผนังอิฐมอญภายในแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

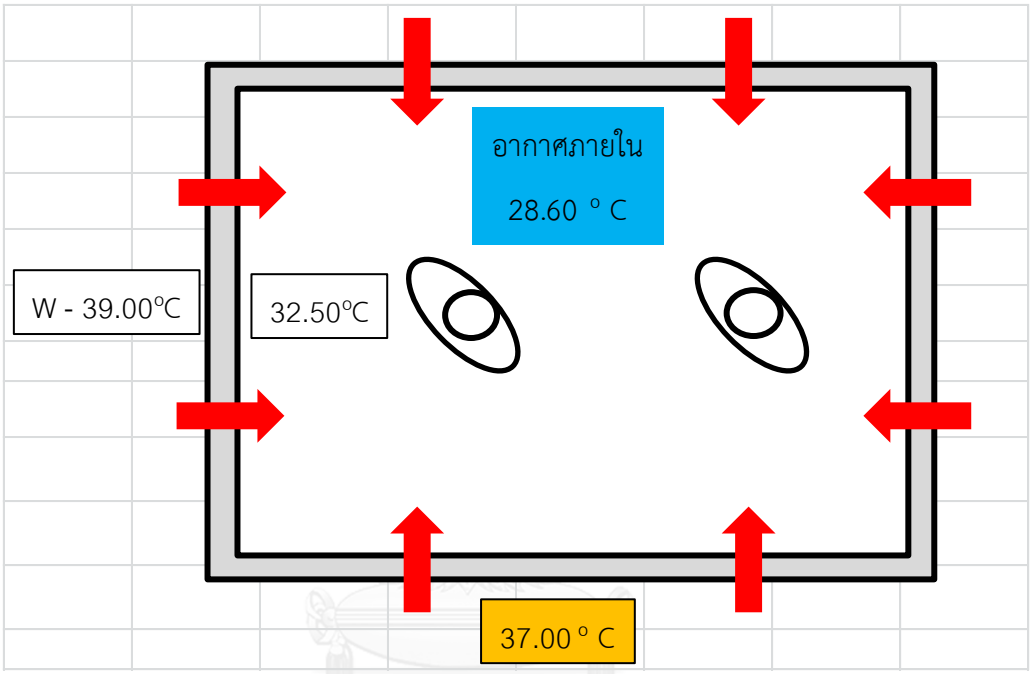
ผนังภายในทิศเหนือ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 17:00 น. 29.00 องศาเซลเซียส
ผนังภายในตะวันออก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 17:00 น. 29.80 องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศตะวันตก มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 15:00 น. 32.50 องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศใต้ มีอุณหภูมิผิวสูงสุด เวลา 16:00 น. 31.00 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 26.38 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด เวลา 19:00 น. 28.60 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ที่เวลา 3:00 น. 25.00 องศาเซลเซียส



ภาพที่4.18 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4”

อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตมวลเบา พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในร้อนสูงสุดในช่วงบ่าย เวลา 13:00 น. มีอุณหภูมิสูงสุด 35.00 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสุดเวลา 18:00 น.อุณหภูมิอากาศ 38.50 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังคอนกรีตมวลเบา จึงทำให้อุณหภูมิภายในบ้านจะสูงกว่าภายนอกเกือบตลอดในแง่ของประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง

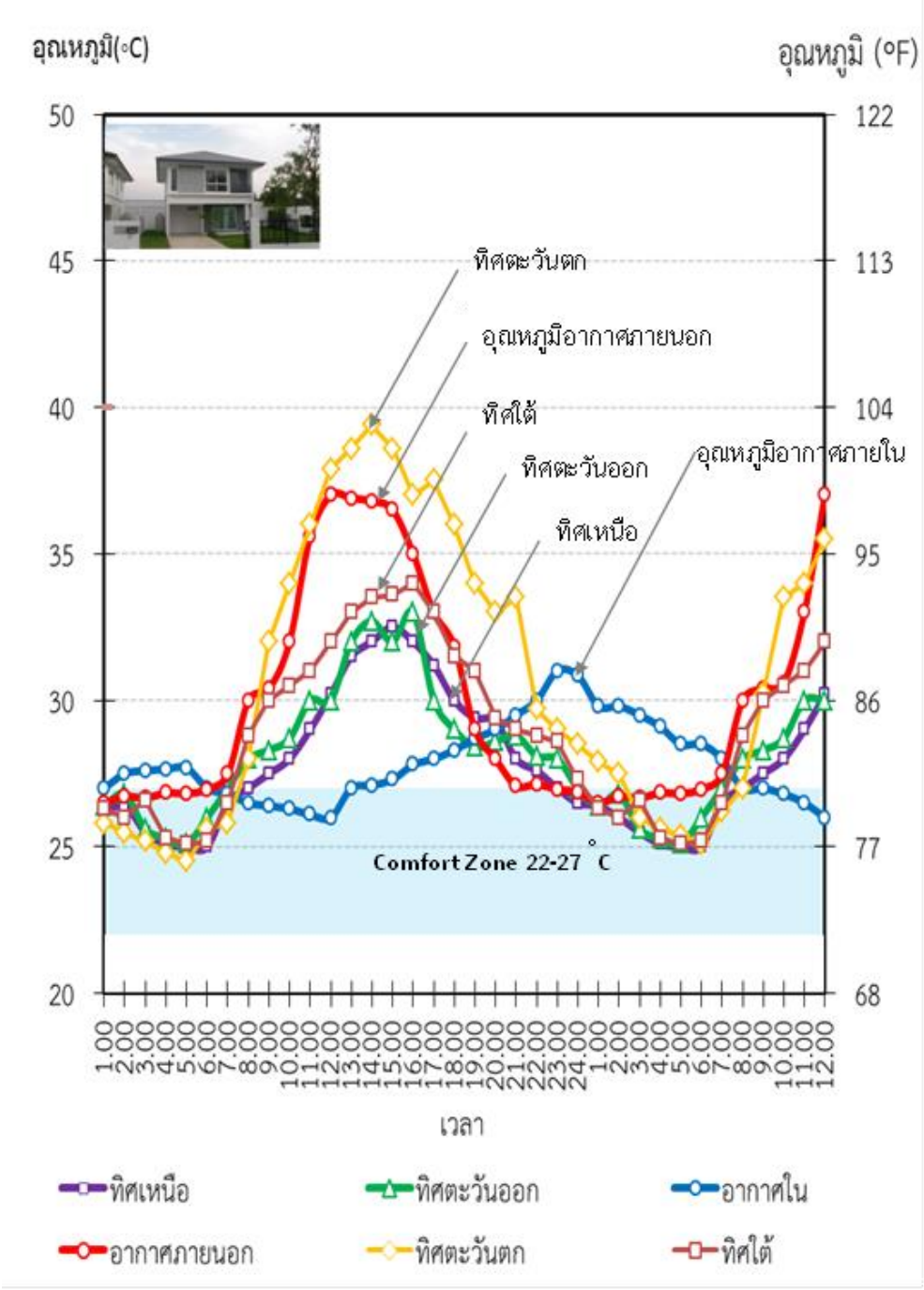
แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังคอนกรีตมวลเบา อุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนขึ้นสูงสุดที่เวลา 12:00 น.และอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันออกร้อนสุดในช่วงเช้า เวลา 12:00 – 16:00 น. จากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่บริเวณผิวผนังคอนกรีตบล็อกมีอุณหภูมิสูง ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังคอนกรีตบล็อกเป็นผนังที่มีคุณสมบัติไม่กักเก็บความร้อน และการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวภายในทำให้อุณหภูมิผนังภายในสูงสุดที่เวลา 15:00 น.



ภาพที่ 4.19 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังคอนกรีตมวลเบา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

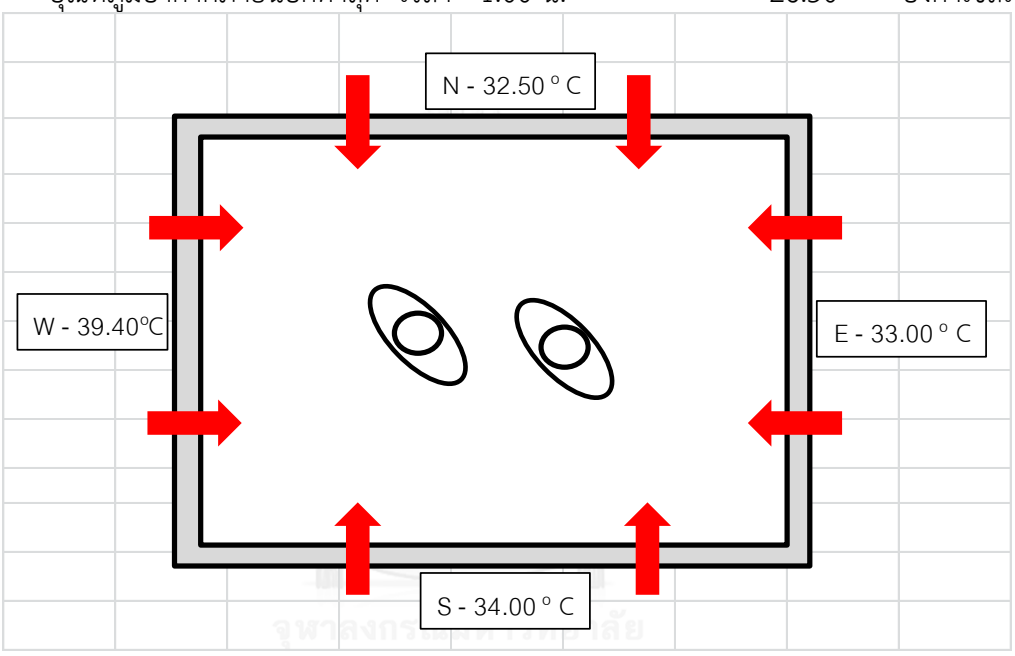
4.1.5 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิผิวภายนอก – ภายใน ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Pre cast)



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนัง และอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

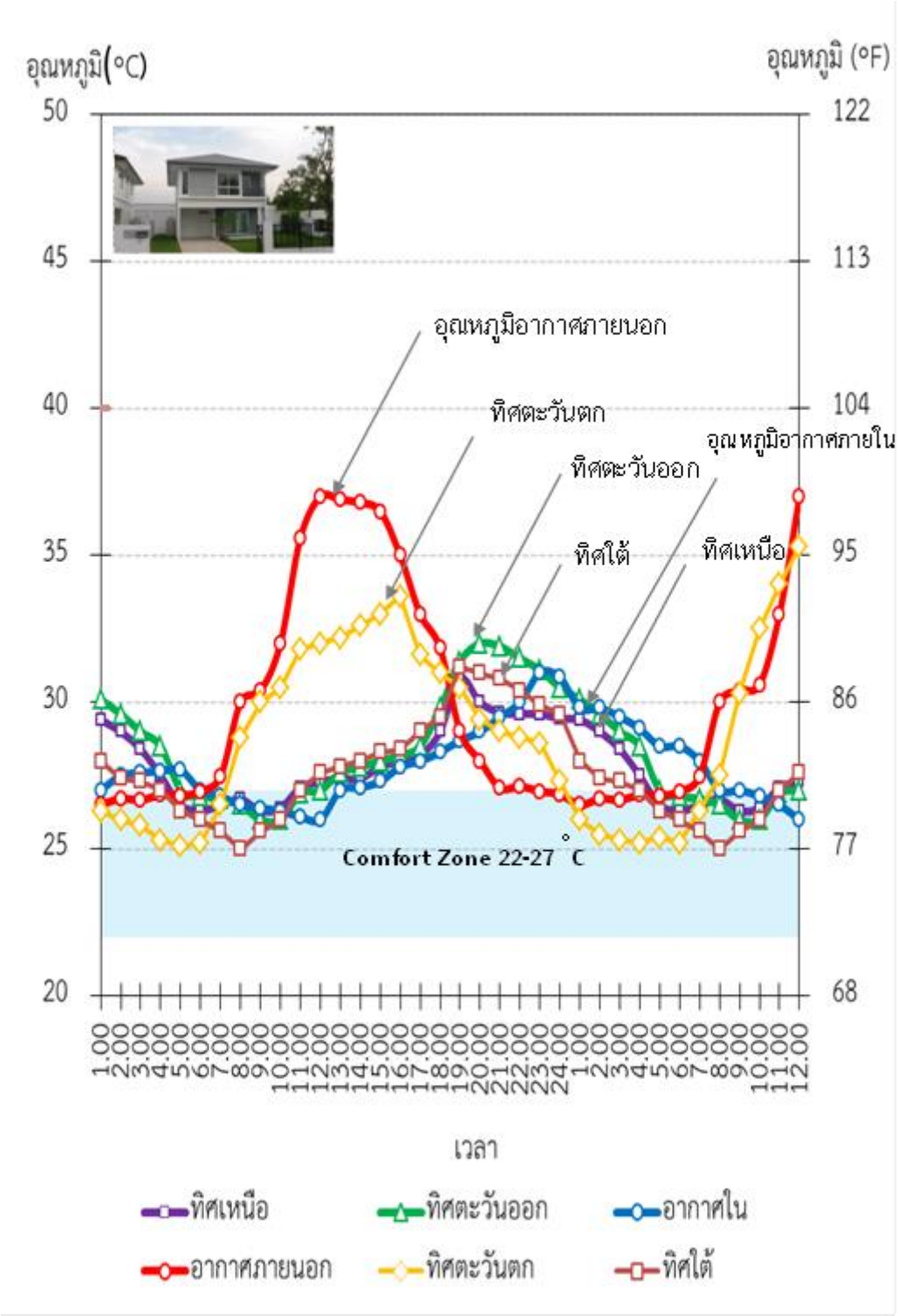
อุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตสำเร็จรูปภายนอกแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

ผนังภายนอกทิศเหนือ	มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 15:00 น.	32.50	องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกตะวันออก	มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 16:00 น.	33.00	องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศตะวันตก	มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 14:00 น.	39.40	องศาเซลเซียส
ผนังภายนอกทิศใต้	มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 16:00 น.	34.00	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย			29.92	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด	เวลา 12:00 น.		36.40	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด	เวลา 1:00 น.		26.50	องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.21 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปหนา 3”

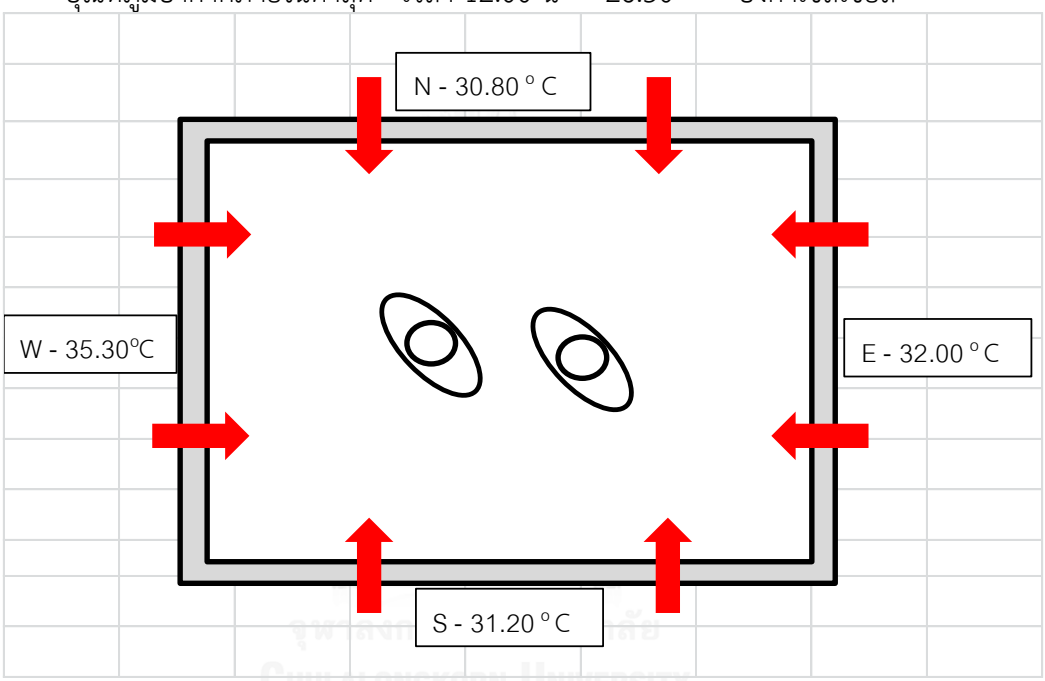
อุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในร้อนสูงสุดในช่วงบ่าย เวลา 13:00 น. มีอุณหภูมิสูงสุด 35.00 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสูงสุดเวลา 18:00 น.อุณหภูมิอากาศ 38.50 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป อุณหภูมิภายในบ้านจะสูงกว่าภายนอกเกือบตลอดในแง่ของประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง



ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผิวผนังและอุณหภูมิผิวภายในของ ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทั้ง 4 ทิศ ของวันที่ 11 – 12 เมษายน 2557

อุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตสำเร็จรูปภายในแต่ละด้านมีอุณหภูมิดังนี้

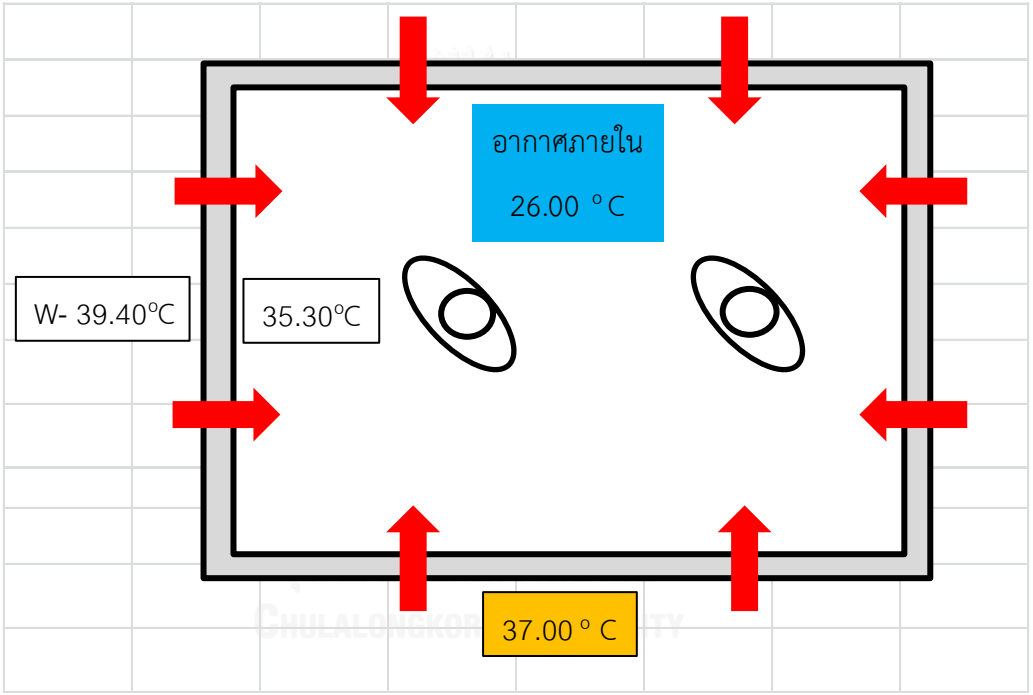
ผนังภายในทิศเหนือ	มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 19:00 น.	30.80	องศาเซลเซียส
ผนังภายในตะวันออก	มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 20:00 น.	32.00	องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศตะวันตก	มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 14:00 น.	35.30	องศาเซลเซียส
ผนังภายในทิศใต้	มีอุณหภูมิผิวสูงสุด	เวลา 19:00 น.	31.20	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย			27.88	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด	เวลา 23:00 น.		37.00	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด	เวลา 12:00 น		26.50	องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.23 แสดงค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3”

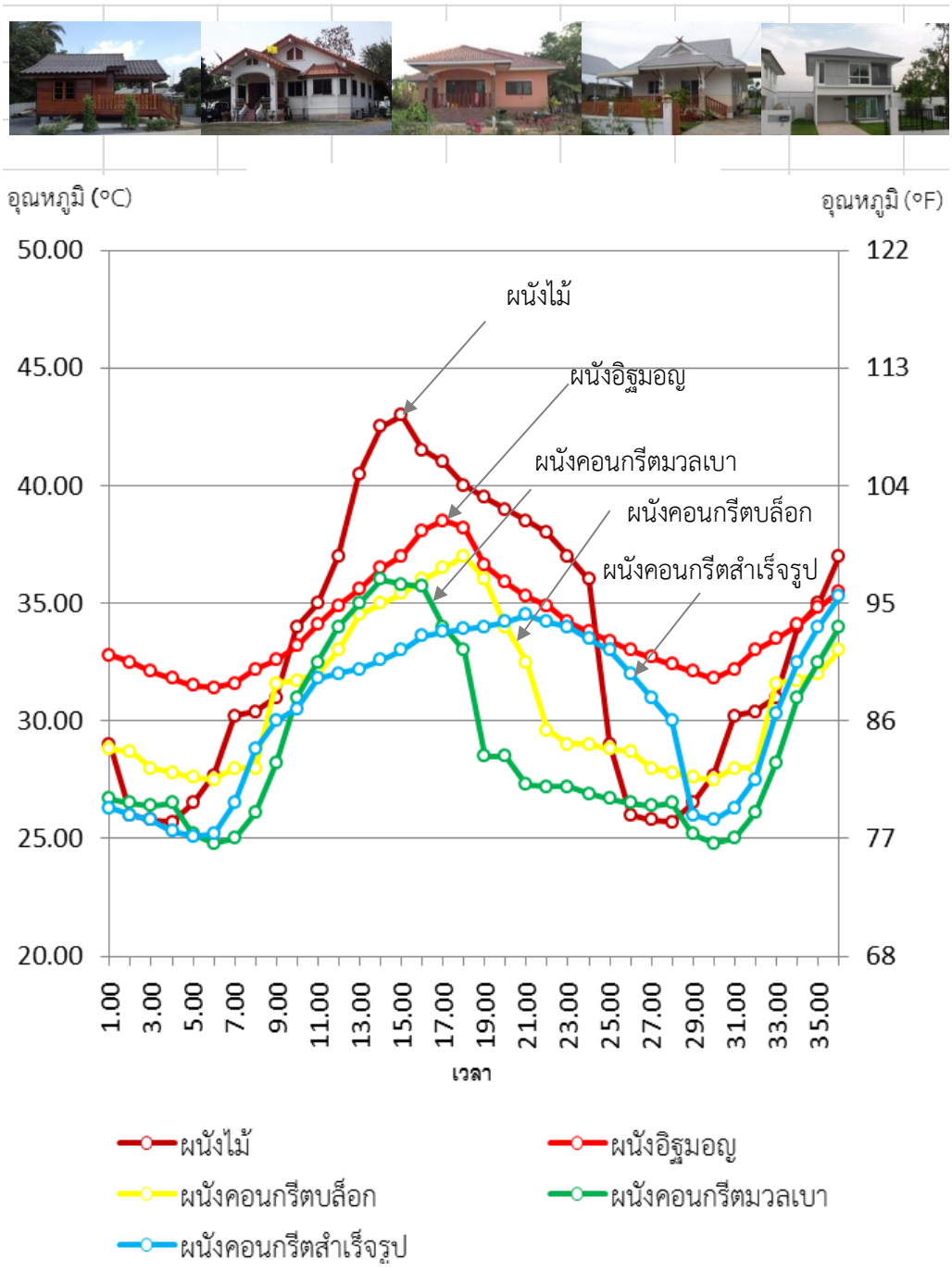
อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผิวโดยรอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในร้อนสูงสุดในช่วงบ่าย เวลา 13:00 น. มีอุณหภูมิสูงสุด 33.00 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันตกร้อนสุดเวลา 14:00 น.อุณหภูมิอากาศ 35.30 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป อุณหภูมิภายในบ้านจะสูงกว่าภายนอกเกือบตลอดในแง่ของประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง

แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในพบว่าโคจรอ้อมทางทิศใต้และอุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนขึ้นสูงสุดที่เวลา 14:00 น.ในช่วงอุณหภูมิผิวผนังภายนอกทางทิศตะวันออกร้อนสุดในช่วงเช้า เวลา 12:00 – 16:00 น. เนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ช่วงเช้าที่เริ่มมีแสงแดด บริเวณผิวผนังภายนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงบ่ายอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลต่อการสะสมความร้อนที่ผิวผนังที่มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณมากทำให้เกิด ระยะเวลา (Time Lag) ที่ความร้อนถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตราช้าและการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวภายในทำให้อุณหภูมิผนังภายในสูงสุดที่เวลา 24:00 น.ในช่วงกลางคืนผิวผนังมีการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศภายในทำให้ผู้ใช้อาคารต้องเพิ่มอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ

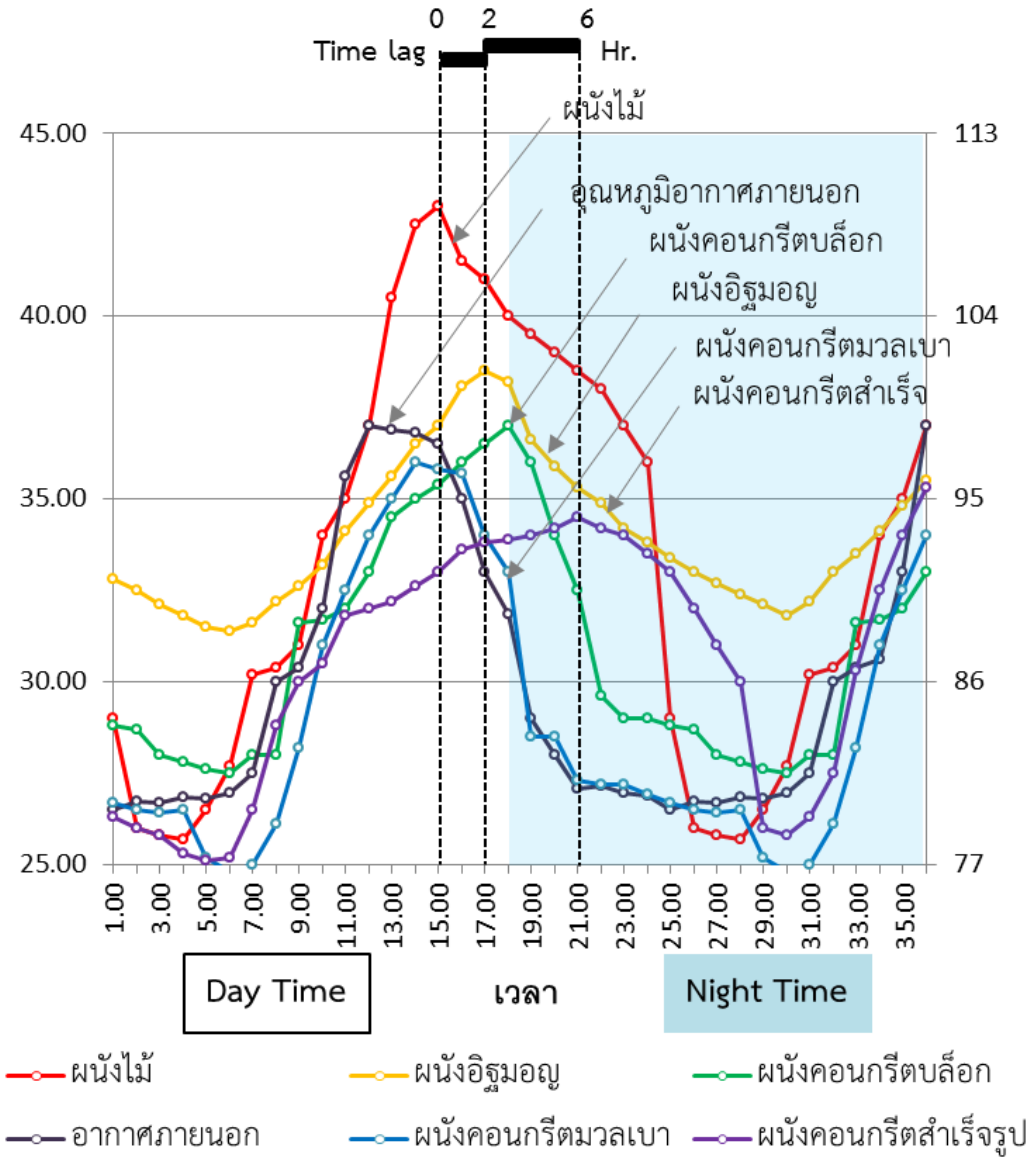


ภาพที่ 4.24 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกสู่ผิวภายในของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3”

4.1.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน ของผนังทั้ง 5 ประเภทด้านทิศตะวันตกเดือนเมษายน



ภาพที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของผนังทั้ง 5 ประเภทด้านทิศตะวันตก เดือนเมษายน



ภาพที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ของผนังทั้ง 5 ประเภท ด้านทิศตะวันตก ในช่วงเวลากลางวัน - กลางคืน ของเดือนเมษายน

จากภาพที่ 4.25 และ 4.26 พบว่าผนังไม้ ½”x 6 นิ้ว มีอุณหภูมิความร้อนสูงที่สุด 43.00 องศาเซลเซียส เวลา15.00 น. (เวลากลางวัน) เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ต่ำ และมวลสารน้อยที่ทำให้คลายความร้อนเร็ว แต่ใน (เวลากลางคืน) อุณหภูมิผนังไม้จะเย็นตามอุณหภูมิอากาศภายนอกได้เร็วเนื่องจากไม่มีการสะสมความร้อนในเวลากลางวัน

ผนังอิฐมอญ มีอุณหภูมิความร้อนสูงที่สุด 38.50 องศาเซลเซียส เวลา 17.00 น. เนื่องจากมีมวลสารปานกลางสามารถหน่วงเวลาความร้อนในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้นานขึ้น และในช่วงเวลากลางคืนความร้อนที่สะสมในผนังเวลากลางวันจะคลายออกมาช้า

ผนังคอนกรีตบล็อก มีอุณหภูมิความร้อนสูงที่สุด 37.00 องศาเซลเซียส เวลา 18.00 น. มีมวลสารปานกลางและมีลักษณะกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในเป็นฉนวนในการกันความร้อน และสังเกตจากแผนภูมิพบว่าเย็นเร็วในช่วงเวลากลางคืนเพราะไม่เก็บกักในเวลากลางวัน

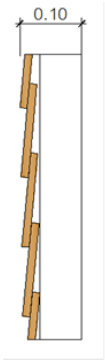
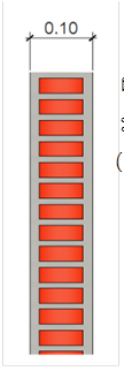
คอนกรีตมวลเบา มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 36 องศาเซลเซียส เวลา 14.00 น. มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้ดีเนื่องจากเนื้อวัสดุมีความพรุน แต่ด้วยเนื้อของวัสดุที่มีมวลสารปานกลาง จึงทำให้หน่วงความร้อนได้น้อยกว่าอิฐมอญ และในช่วงเวลากลางคืนจะเริ่มคายความร้อนได้เร็ว ซึ่งเริ่มคายความร้อนที่เวลา17.00 น. และในช่วงเวลาเดียวกันอิฐมอญกลับมีอุณหภูมิที่สูงสุด

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 34.5 องศาเซลเซียส เวลา 21.00 น. มีคุณสมบัติในการเก็บความร้อนสูง สามารถหน่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนได้นาน และค่อยๆ ถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอก และใช้เวลานานในการคายความร้อน เนื่องจากวัสดุมีความหนาแน่นสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

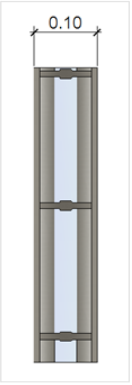
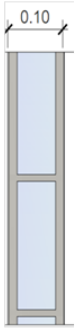
4.1.7 วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่นิยมใช้ทำผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท เพื่อทราบถึงผลกระทบต่อค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติด้านการประหยัดพลังงานของผนังแต่ละประเภท

ประเภทผนัง	คุณสมบัติด้านการประหยัดพลังงาน
 ผนังไม้ ประเภทมีผนังมวลสารน้อย (Low Mass Material)	- ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ต่ำและมวลสารน้อยทำให้คลายความร้อนเร็ว พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) 0.75 Btu/h ft^2 - ในแง่ของการประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงยกเว้นจะใช้ร่วมกับวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน
 ผนังก่ออิฐมอญ ประเภทมีมวลสารปานกลาง (medium thermal mass)	- ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ปานกลางและมวลสารปานกลางทำให้คลายความร้อนช้าพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) 0.63 Btu/h ft^2 - ในแง่ของการประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงยกเว้นจะใช้ร่วมกับวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1แสดงคุณสมบัติด้านการประหยัดพลังงานของผนังแต่ละประเภท (ต่อ)

ประเภทผนัง	คุณสมบัติของผนัง
 ผนังคอนกรีตบล็อก ประเภทมี มวลสารปานกลาง (medium thermal mass)	- เป็นผนังที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเนื่องจาก ทำงานง่ายหาซื้อได้ตามท้องตลาดแต่ราคาไม่แพง - ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ปานกลางและมวลสารปานกลาง ทำให้คลายความร้อนช้า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) 0.50 Btu/h ft^2 ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารจะสูงกว่าภายนอกในช่วงเวลากลางคืน - ในแง่ของการประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง ยกเว้นจะใช้ร่วมกับวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน
 ผนังคอนกรีตมวลเบา ประเภทมี มวลสารปานกลาง (medium thermal mass	- เป็นผนังที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเนื่องจาก ทำงานง่ายหาซื้อได้ตามท้องตลาดแต่ราคาแพง - ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ปานกลางและมวลสารปานกลาง ทำให้คลายความร้อนช้า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) 0.30 Btu/h ft^2 ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารจะสูงกว่าภายนอกช่วงเวลากลางคืน - ในแง่ของการประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง ยกเว้นจะใช้ร่วมกับวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ประเภทมีมวลสารมาก (High Mass Material)	- เป็นผนังที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเนื่องจาก ทำงานง่ายหาซื้อได้ตามท้องตลาดแต่ราคาแพงมาก - ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนมีคุณสมบัติในการเก็บกักความร้อนในอัตราช้าแต่มีปริมาณมากซึ่งเหมาะกับภูมิอากาศแบบร้อนแห้งมากกว่า (Hot Arid Climates) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) 0.79 Btu/h ft^2 ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารจะสูงกว่าภายนอกช่วงเวลากลางคืน - ในแง่ของการประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง ยกเว้นจะใช้ร่วมกับวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภท

ใช้วิธีการคำนวณคุณสมบัติของผนังภายนอกผ่านโปรแกรม Microsoft-Excel โดยอ้างอิงสูตรจากหนังสือ ASHRAE Fundamentals Handbook ปี 1989 เพื่อทราบถึงคุณสมบัติของผนังภายนอกแต่ละประเภทที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ เพื่อทราบถึงสาเหตุของการเลือกใช้วัสดุด้านการป้องกันความร้อนของวัสดุ ซึ่งเลือกวัสดุที่นิยมใช้ในการก่อสร้างมาทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมกับคุณสมบัติทางด้านการประหยัดพลังงาน เช่น

- การต้านทานความร้อนของวัสดุ ค่า R -Value สูง
- มีคุณสมบัติการกันสะสมความร้อน
- ไม่การสะสมความชื้น
- การกันน้ำ/กันความชื้น
- ป้องกันการรั้วซึมของอากาศ เป็นต้น
- การเลือกประเภทฉนวน เช่น โฟม EIFS ,โฟม EPS (พ่น/สเปรย์) มี่เหมาะสม
- เปิดเครื่องปรับอากาศค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (ค่า U - Value) ต่ำ

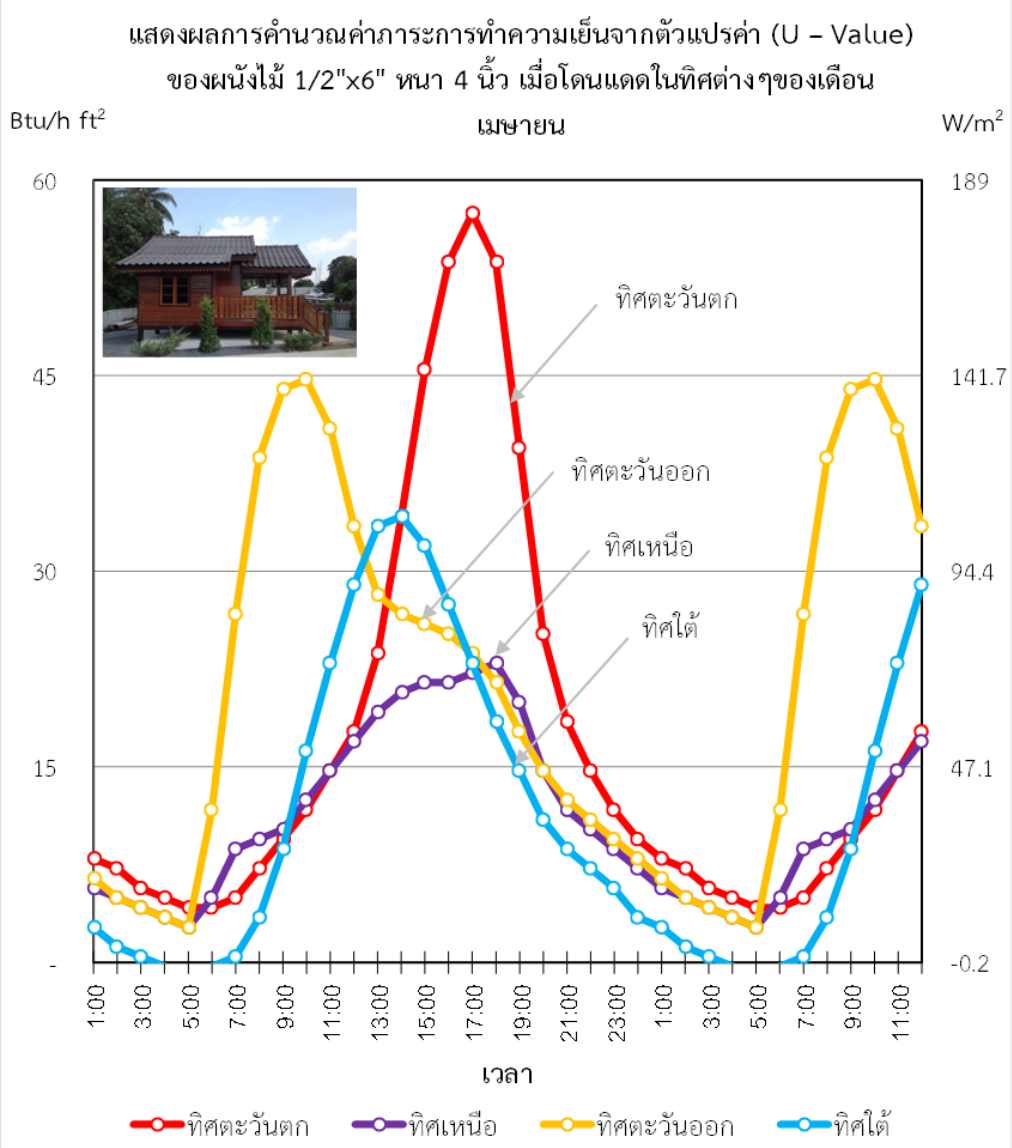
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Values) ของแต่ละวัสดุที่นิยมสร้างบ้านพักอาศัยในปัจจุบันทั้ง 5 ประเภท

ประเภทที่	ผนังแต่ละประเภท	R-Value	U-Value (Btu/hft^2)
1	ผนังไม้ ½" x 6 นิ้ว หนา 4 นิ้ว	1.33	0.75
2	ผนังอิฐมอญ หนา 4 นิ้ว	1.58	0.63
3	ผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว	1.97	0.50
4	ผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว	1.58	0.30
5	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast) หนา 3 นิ้ว	1.26	0.79

4.2.1 ผลการวิเคราะห์การคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่เกิด

จากคุณสมบัติของผนังภายนอกเพื่อหาแนวทางการออกแบบโดยกำหนดให้อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส และขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของเดือนเมษายน ปี 2556

(1) ผนังไม้ หนา ½”x 6 นิ้ว

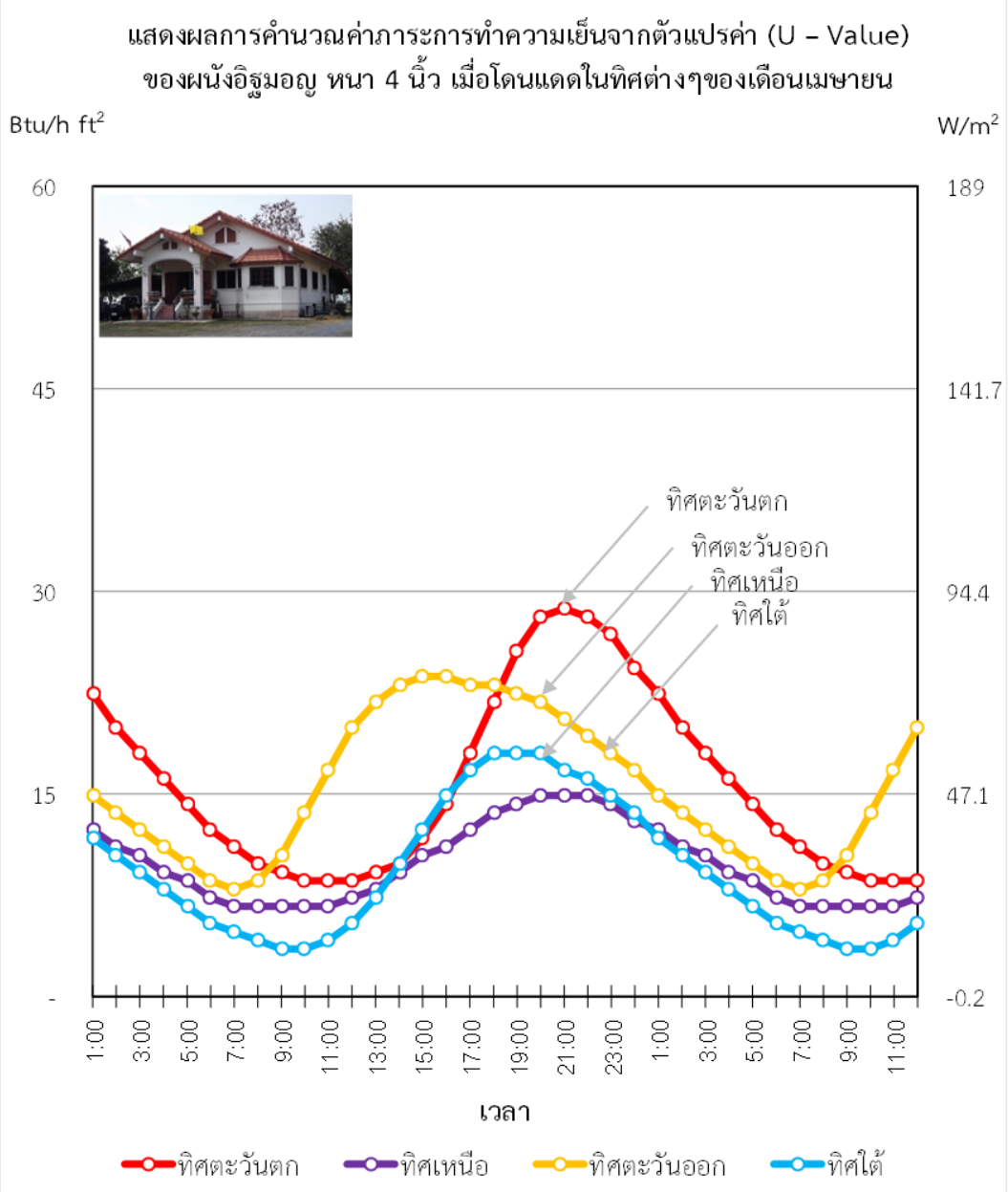


ภาพที่ 4.27 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังไม้ หนา หนา ½”x 6 นิ้ว

จากภาพที่ 4.27 จะพบว่าอัตราความร้อนที่ผ่านผนังไม้ หนา ½”x 6 นิ้ว มีความร้อนด้านทิศตะวันตกมีค่าความร้อนสูงสุด ประมาณ 57.45 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 17.00 น

เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ต่ำและมวลสารน้อยทำให้คลายความร้อนเร็วและมีการรั่วซึมของอากาศสูงทำให้เพิ่มภาระการทำความเย็นสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

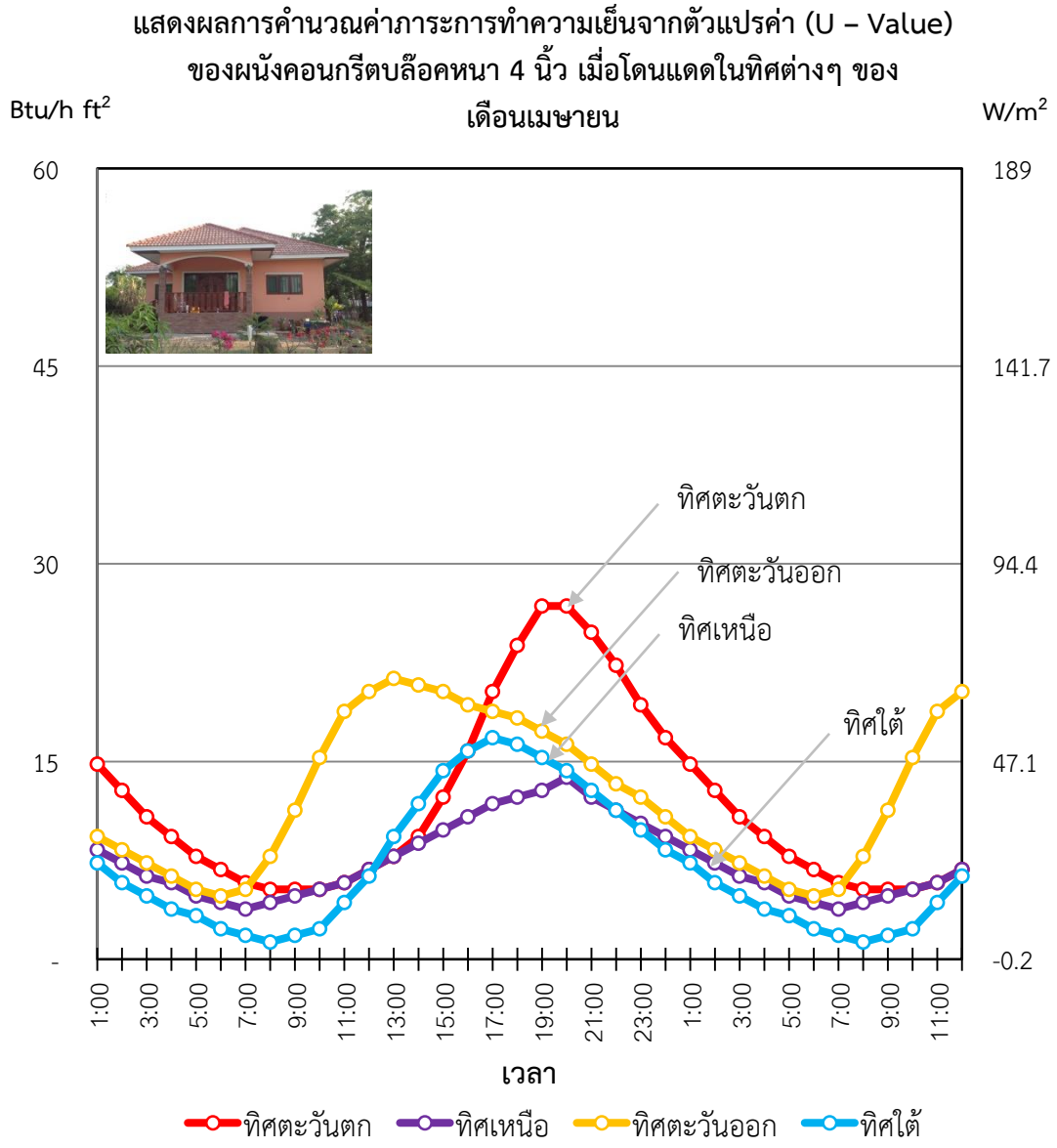
(2) ผนังอิฐมอญ หนา 4 นิ้ว



ภาพที่ 4.28 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังอิฐมอญ หนา 4 นิ้ว

จากภาพที่ 4.28 จะพบว่าอัตราความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐมอญ หนา 4 นิ้ว มีความร้อนด้านทิศตะวันตกมีค่าความร้อนสูงสุด ประมาณ 28.73 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 21.00 น. เนื่องจากผนังอิฐมอญเป็นผนังที่มีมวลสารมาก (High Mass Material) มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณมากทำให้ความร้อนถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตราช้ามาก

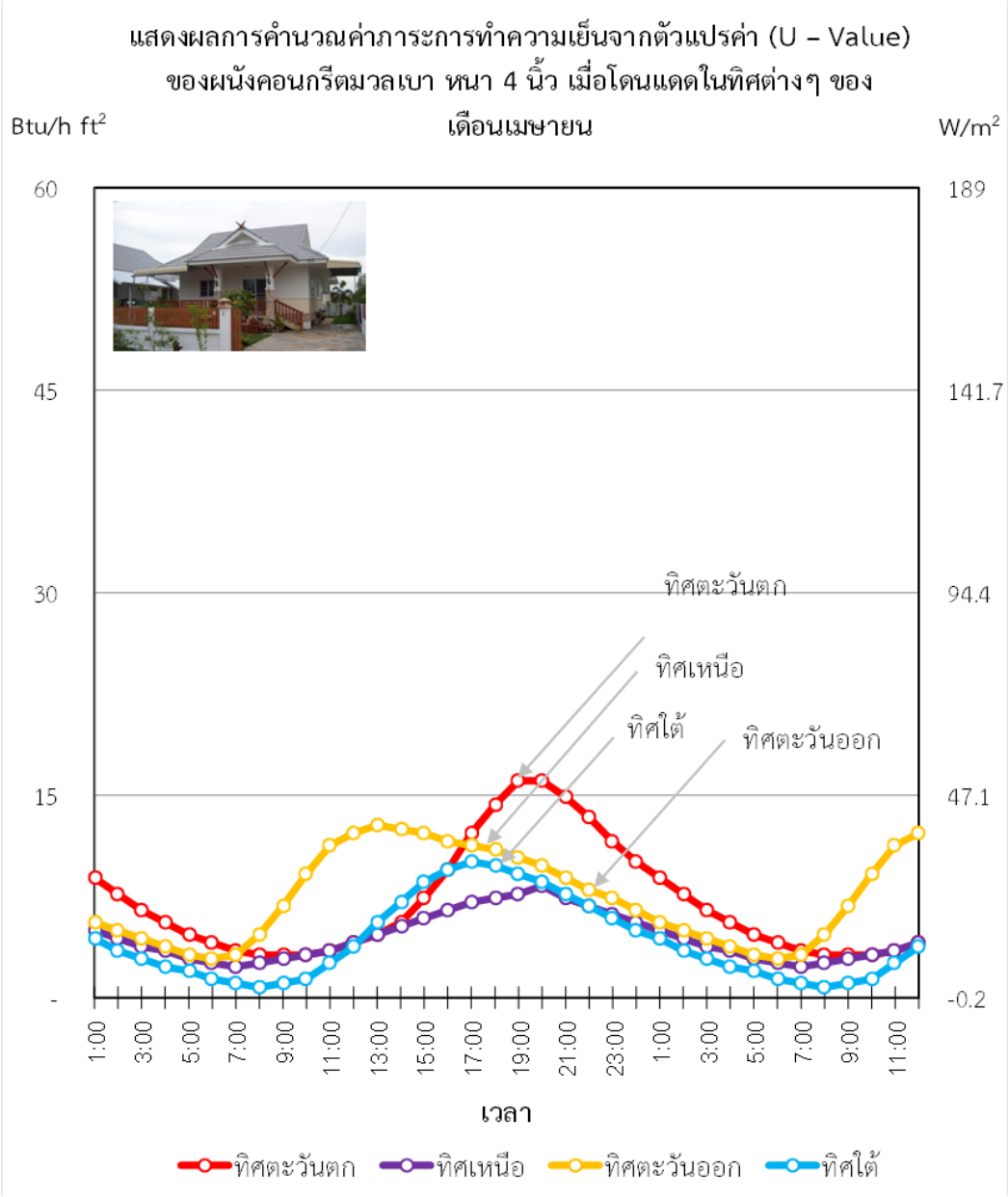
(3) ผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว



ภาพที่ 4.29 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value)
ของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว

จากภาพที่ 4.29 จะพบว่าอัตราความร้อนที่ผ่านผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว มีความร้อนด้านทิศตะวันตกมีค่าความร้อนสูงสุด ประมาณ 26.80 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 20.00 น. เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ต่ำและมวลสารน้อยทำให้คลายความร้อนเร็วและมีการรั่วซึมของอากาศสูงทำให้เพิ่มภาระการทำความเย็นสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

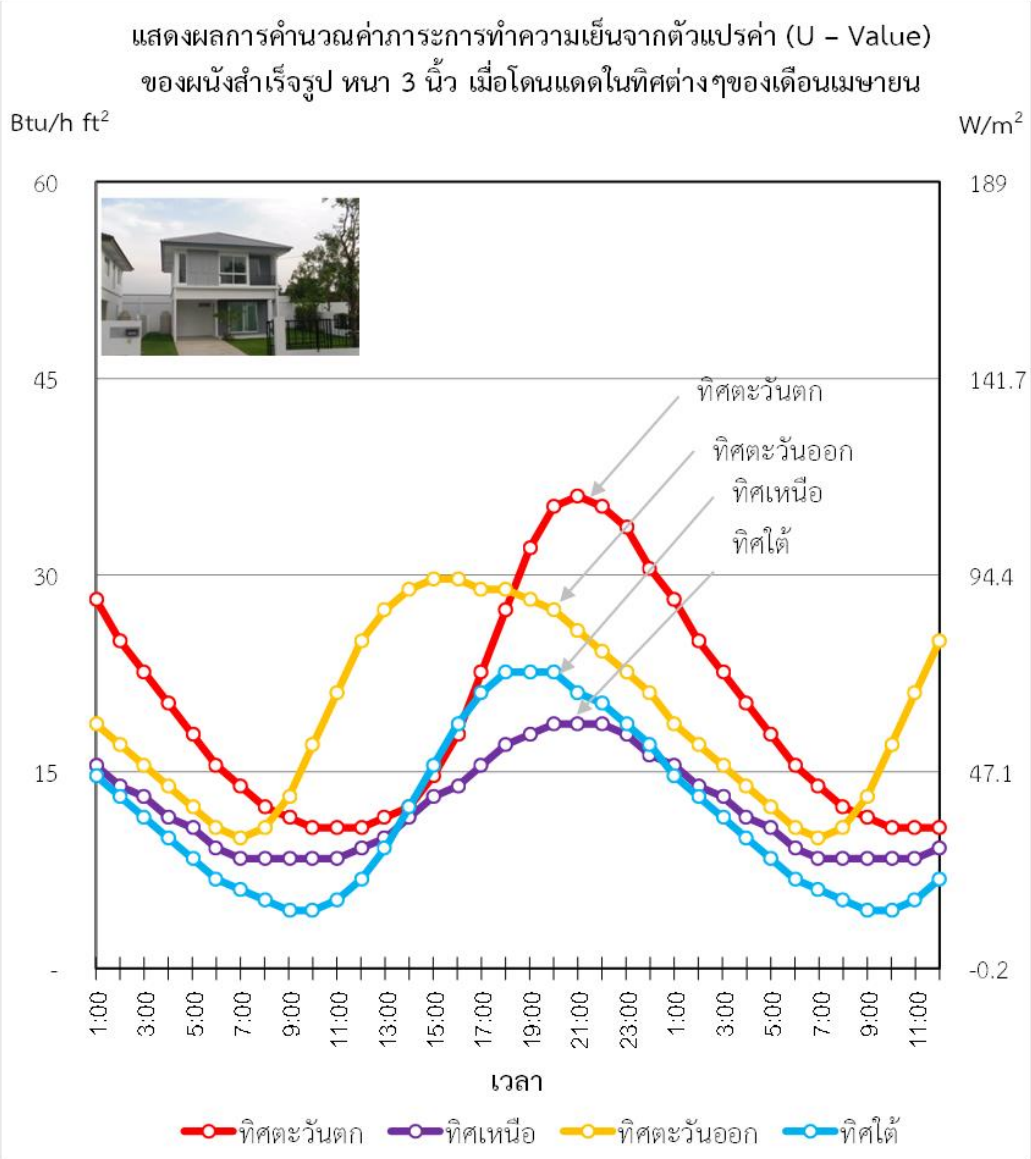
(4) ผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว



ภาพที่ 4.30 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว

จากภาพที่ 4.30 จะพบว่าอัตราความร้อนที่ผ่านผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว มีความร้อนด้านทิศตะวันตกมีค่าความร้อนสูงสุด ประมาณ 16.08 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 20.00 - 21.00 น.เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ต่ำและมวลสารน้อยทำให้คลายความร้อนเร็วและมีการรั่วซึมของอากาศสูงทำให้เพิ่มภาระการทำความเย็นสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

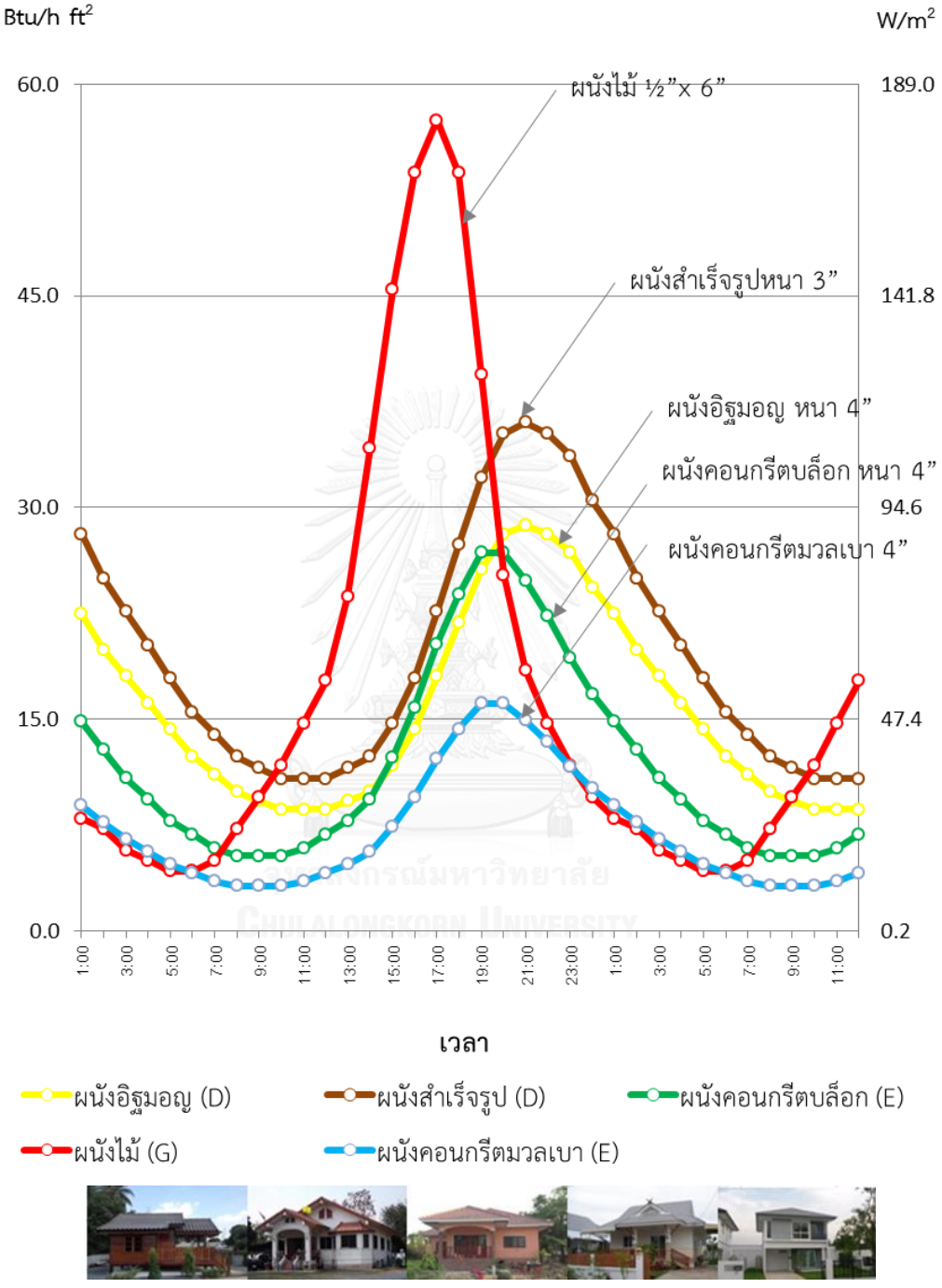
(5) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3 นิ้ว



ภาพที่ 4.31 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3 นิ้ว

จากภาพที่ 4.31 จะพบว่าอัตราความร้อนที่ผ่านผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3 นิ้ว มีความร้อนด้านทิศตะวันตกมีค่าความร้อนสูงสุดประมาณ 36.02 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุตเวลา 21.00 น. เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ต่ำและมวลสารน้อยทำให้คลายความร้อนเร็วและมีการรั่วซึมของอากาศสูงทำให้เพิ่มภาระการทำความเย็นสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

4.2.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากคุณสมบัติของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภททางทิศตะวันตก เดือนเมษายน



ภาพที่ 4.32 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจากตัวแปรค่า (U – Value) ของผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภททางทิศตะวันตก เดือนเมษายน

สรุปผลการถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอก ทั้ง 5 ประเภท จากภาพที่ 4.32 พบว่าอัตราค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของผนัง ทั้ง 5 ประเภท ช่วงเดือนเมษายน โดยเรียงลำดับจากค่าน้อย – ค่ามาก

(1) ผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว มีความร้อนด้านทิศตะวันตกมีค่าความร้อนสูงสุด 16.08 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 19.00 น.เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ต่ำและมวลสารน้อยทำให้คลายความร้อนเร็ว

(2) ผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4 นิ้ว มีความร้อนด้านทิศตะวันตก มีค่าความร้อนสูงสุด 26.80 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 19.00 น. เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน(Heat capacity) ต่ำและมวลสารน้อยทำให้คลายความร้อนเร็ว

(3) ผนังอิฐมอญ หนา 4 นิ้ว มีค่าความร้อนด้านทิศตะวันตก พบว่าความร้อนสูงสุด 28.73 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 21.00 น.เนื่องจากผนังอิฐมอญเป็นผนังที่มีมวลสารมาก (High Mass Material) มีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณมากทำให้หน่วงเหนี่ยวระยะเวลา (Time Lag) การถ่ายเทความร้อนจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตราช้า

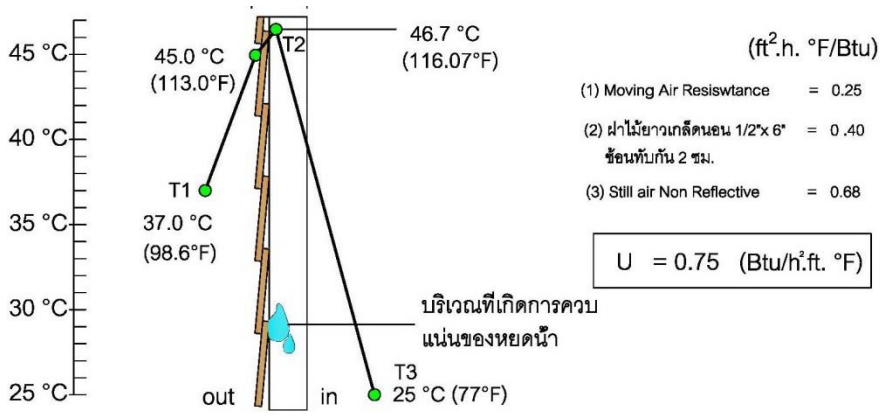
(4) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast) หนา 3 นิ้ว มีค่าความร้อนด้านทิศตะวันตกพบว่าความร้อนสูงสุด 36.02 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 21.00 น.มีมวลสารมากมีคุณสมบัติการเก็บกักความร้อนปริมาณมากทำให้หน่วงเหนี่ยวระยะเวลา (Time Lag) การถ่ายเทความร้อนจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังในอัตราช้ามาก

(5) ผนังไม้ ½” x 6”หนา 4 นิ้ว มีค่าความร้อนด้านทิศตะวันตก พบว่าความร้อนสูงสุดประมาณ 47.45 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต เวลา 17.00 น. เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ต่ำและมวลสารน้อยทำให้คลายความร้อนเร็ว

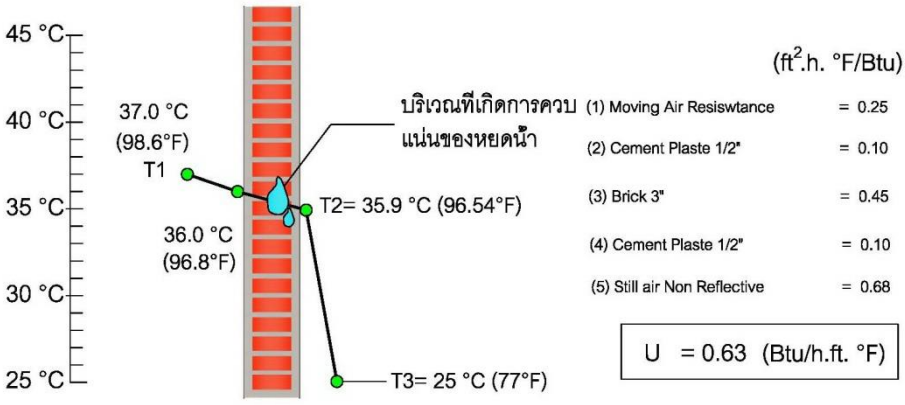
การถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอก ทั้ง 5 ประเภท ยังพบว่าก่อการเกิดความชื้นในผนังเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบต่ออาคาร เพราะความชื้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเนื้อวัสดุก่อให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุ และทำให้เกิดการแตกร้าว ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงความชื้นในอากาศที่เกิดขึ้นในสภาวะที่อุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารต่างกัน ทำให้เกิดการกลั่นตัวของอากาศ เป็นละอองน้ำหรือหยดน้ำ และดูดซึมโดยวัสดุที่มีความพรุนของผนังอาคารและจากการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุที่นิยมใช้ในการทำผนังทั้ง 5 ประเภท ดังภาพที่ 4.27 – 4.31 สามารถอธิบายได้ว่ายิ่งเนื้อวัสดุมีความพรุนมากก็ยิ่งดูดซับน้ำได้มากกว่าวัสดุที่มีความพรุนน้อยเช่น ผนังไม้ และผนังอิฐมอญ คอนกรีตบล็อก ผนังคอนกรีตมวลเบา มีเนื้อพรุนที่มีรูเหมือนท่อเล็กๆ ต่อเนื่องกัน จึงทำให้สามารถดูดซึมน้ำ หรือความชื้นได้มาก ส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จะมีรูพรุนที่ไม่ต่อเนื่องกันจึงสามารถกันน้ำได้ดีกว่าวัสดุทำผนังอื่นๆ แต่เมื่อกล่าวถึงการสะสมความชื้น รูปแบบผนังเบาโครงเคร่าไม้ช่วยลดการสะสมความชื้น ลดการควบแน่น และมีการระเหยความชื้นได้ดีกว่าผนังก่ออิฐต่างๆ

จากปัจจัยข้างต้นที่ทำให้เกิดการการควบแน่นของหยดน้ำสามารถแก้ไขได้โดยการปรับอุณหภูมิห้องให้เย็นน้อยลง หรือผิวผนังภายในห้องที่เย็นด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนแบบเซลล์แบบปิด (บทที่ 2 ข้อ 2.6 การเลือกใช้วัสดุฯ)

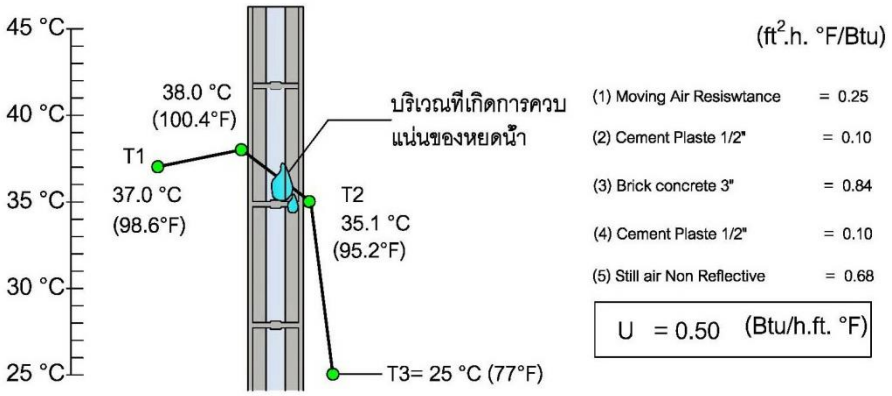
4.2.2 วิเคราะห์การควบแน่นของหยดน้ำในผนังทั้ง 5 ประเภท



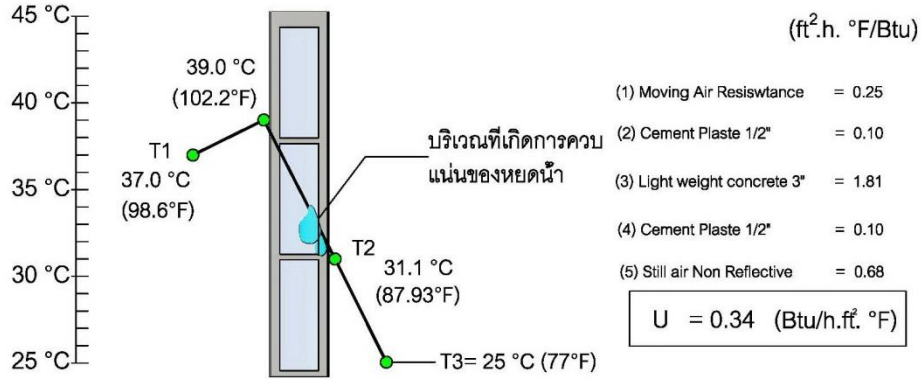
ภาพที่ 4.33 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังไม้ ½”x 6”



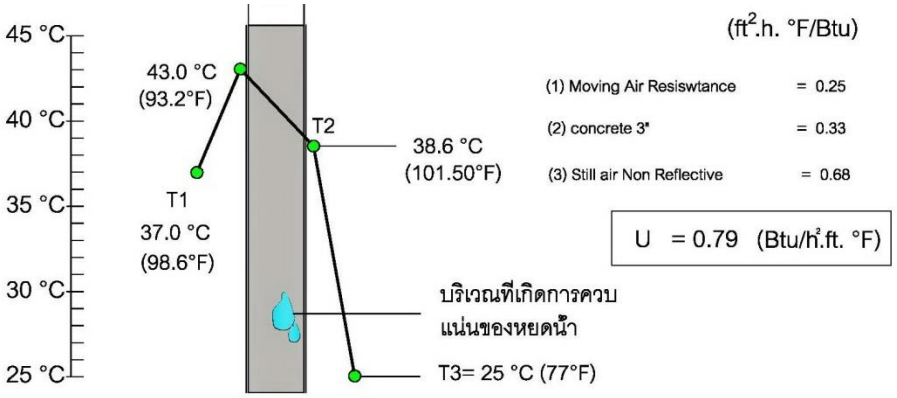
ภาพที่ 4.34 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังอิฐมอญหนา 4”



ภาพที่ 4.35 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4”



ภาพที่ 4.36 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4”



ภาพที่ 4.37 แสดงการควบแน่นของหยดในผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 4”

สรุปผลวิเคราะห์สาเหตุการควบแน่นของหยดในผนังทั้ง 5 ประเภท

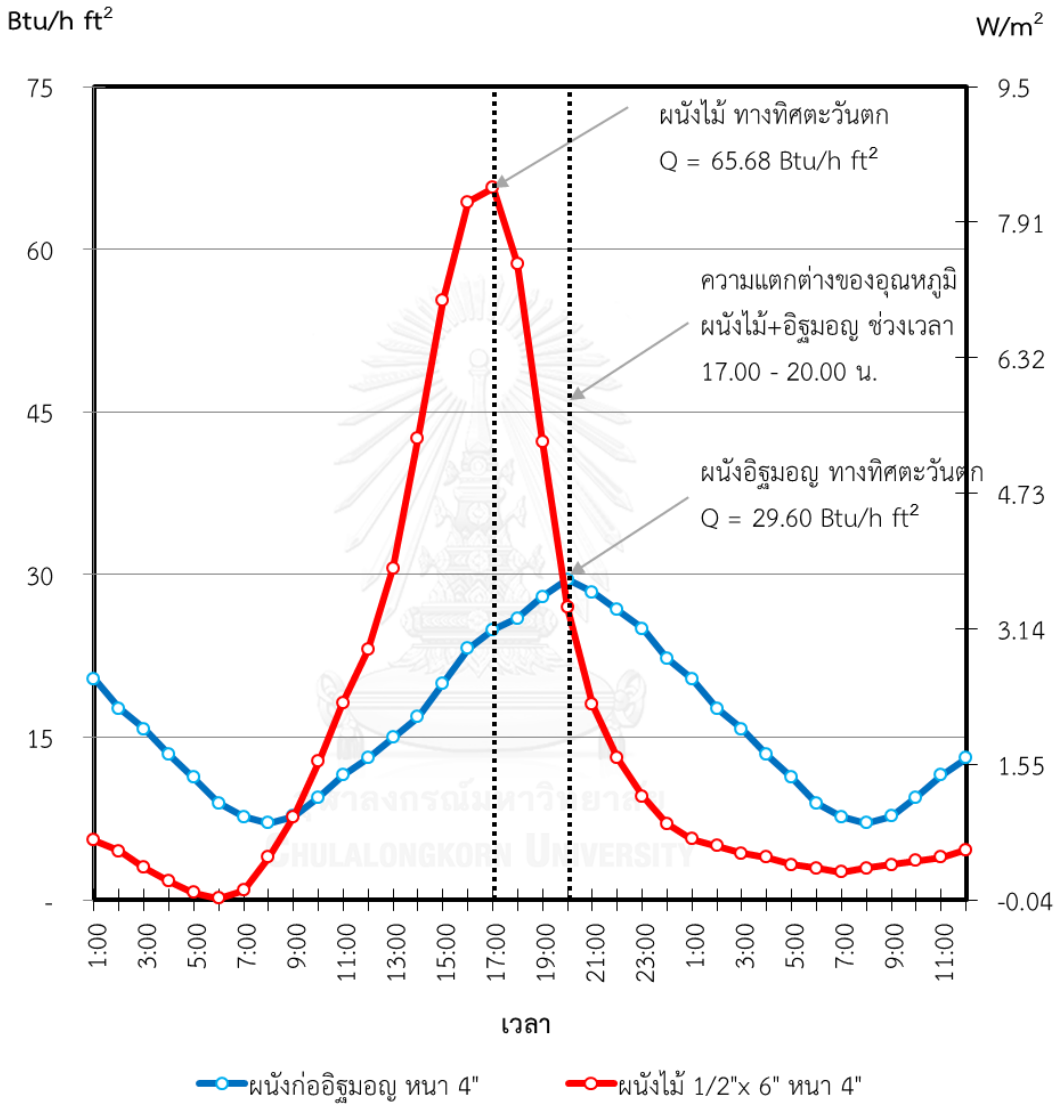
- ผนังไม้จะเกิดการควบแน่นของหยดน้ำในบริเวณที่เป็นรอยต่อของแผ่นไม้ เมื่ออุณหภูมิขิงผิวผนังสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกและมีการปรับความเย็นภายในที่ 25°C ด้วยคุณสมบัติของผนังไม้ที่ป้องกันความชื้นได้ต่ำ เนื่องจากมีมวลสารน้อย แ ละมีช่องว่างในการเชื่อมต่อของแผ่นไม้ ทำให้ความชื้นสามารถแทรกซึมผ่านได้มาก

- ผนังคอนกรีตบล็อกหนา 4” เกิดการควบแน่นของหยดน้ำในบริเวณที่เป็นรูกลวงของคอนกรีตบล็อก และเนื่องจากคอนกรีตบล็อกมีความพรุนของวัสดุมากส่งผลให้ความชื้นสามารถแทรกซึมเข้ามาได้มากเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในต่างกัน

- ผนังอิฐมอญหนา 4” มีโอกาสเกิดการควบแน่นสูง โดยอุณหภูมิภายในผนังสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก และเนื่องด้วยอิฐมอญมีความหนาแน่นสูง ช่องว่างบริเวณผิวผนังน้อยทำให้ความชื้นแทรกซึมผ่านผนังเข้ามาในอาคารน้อยกว่าผนังชนิดอื่นๆ

4.2.3 วิเคราะห์สภาวะน่าสบาย (MRT) ของอุณหภูมิผิวผนังไม้ และผนังอิฐมอญ

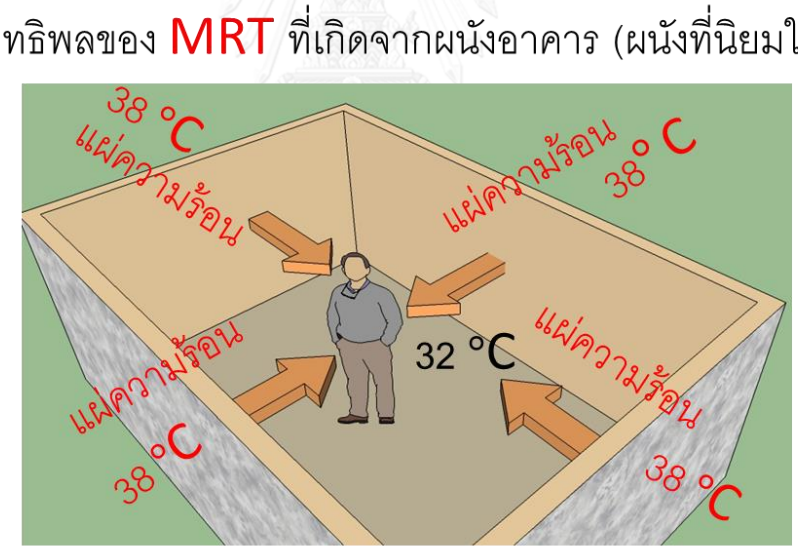
อิทธิพลของ MRT ที่เกิดจากผิวผนังภายนอก – ผิวภายในบ้านพักอาศัยในช่วงเวลา 17.00-20.00 น. (เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุด) ทิศตะวันตก เดือน เมษายน



ภาพที่ 4.38 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวผนังภายนอก – ผิวภายในของผนังอิฐมอญหนา 4” กับผนังไม้1/2”x 6” หนา 4” ในช่วงเวลา 17.00-20.00 น. (เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุด) ทิศตะวันตก เดือน เมษายน

สรุปผลวิเคราะห์ผนังอิฐมอญหนา 4” กับผนังไม้1/2”X6” หนา 4” ในช่วงเวลา 17.00-20.00 น. ผนังไม้จะร้อนสูงสุดในเวลา 17.00 น.และคายความร้อนทันทีเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกซึ่งเป็นการคายความร้อนที่เร็วมากเมื่อสังเกตที่แผนภูมิที่เป็นลักษณะแนวดิ่ง ในขณะเดียวกันผนังอิฐมอญกลับมีความร้อนที่สูงสุดที่เวลา 20.00 น. และค่อยๆคายความร้อนในเวลาต่อมา สามารถกล่าวได้ว่า ผนังไม้มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงตามอุณหภูมิอากาศภายนอกในเวลากลางวัน แต่เนื่องจากไม้ไม่มีการกักเก็บความร้อน

เมื่ออุณหภูมิภายนอกเย็นก็ส่งผลให้อุณหภูมิภายในอาคารเย็นขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกด้านหนึ่งคือผนังอิฐมอญที่มีการสะสมความร้อนในเวลากลางวัน และคุณสมบัติที่สามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานในเวลากลางวันของอิฐมอญก็ส่งผลให้ช่วงเวลากลางคืน ผนังอิฐมอญคายความร้อนออกมา ต้องใช่เวลานานในการปรับอุณหภูมิภายในให้มีสภาวะน่าสบาย MRT (ตามดังภาพที่ 4.38)



ภาพที่ 4.39แสดงอิทธิพลของ MRT สูง ที่เกิดจากผนังอาคาร (ที่นิยมใช้)

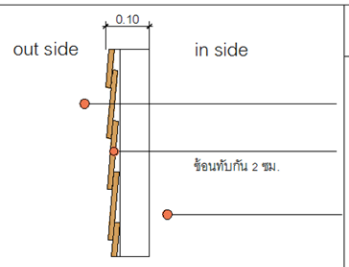
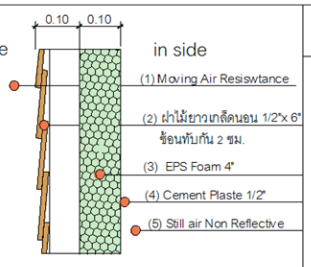
4.3 สรุปแนวทางการเลือกใช้ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสม

จากการศึกษาผนังภายนอก ทั้ง 5 ประเภท พบว่ายังไม่มีผนังภายนอกใดที่เข้าเขตสภาวะน่าสบาย MRT ต่ำ ถ้าเปิดเครื่องปรับอากาศ 25 °C ต้องใช้เวลานานเนื่องจากอุณหภูมิผิวของผนังแต่ละประเภทมีอุณหภูมิผิวที่แตกต่างกันมากที่มีผลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่แตกต่างกัน จึงพิจารณาต้องใช้ควบคู่กับฉนวนจึงจะสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

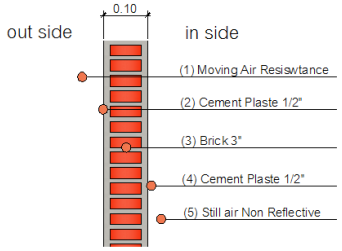
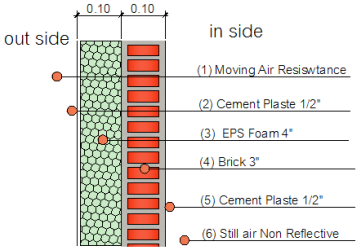
ดังนั้น การปรับปรุงผนังภายนอกเพื่อให้ภาระการทำความเย็นลดลง ด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 4 นิ้วในด้านทิศตะวันตก (เนื่องจากเป็นทิศที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนมากที่สุด) พบว่าอุณหภูมิผิวภายในผนังเดิมสูงกว่าผนังที่ปรับปรุงโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน ดังต่อไปนี้

4.3.1 การเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของผนังเดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อนรวม (ค่า R –Value ต่ำ และค่า R –Value สูง)

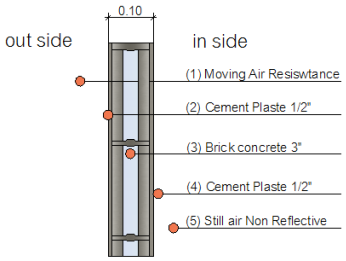
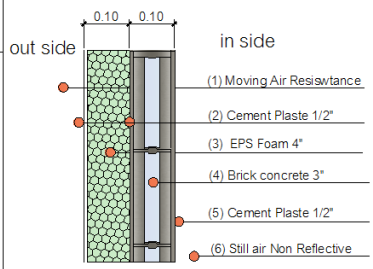
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (ค่า R –Value ต่ำและค่า R –Value สูง) ของผนังไม้ ½”x 6”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4”

ผนังไม้ฝาตีเกล็ดนอน หนา 4 นิ้ว		ผนังไม้ฝาตีเกล็ดนอน +ฉนวนกันความร้อน หนา 4 "	
	($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$) 0.25 0.81 0.68		($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$) 0.25 0.40 16.00 0.10 0.68
ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	1.74	ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	17.43
	($Btu/h.ft^2.^{\circ}F$)		($Btu/h.ft^2.^{\circ}F$)
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.75	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.075

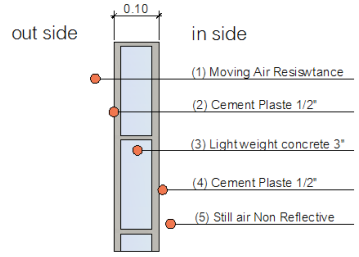
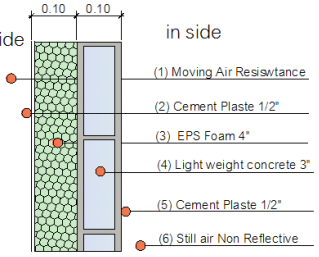
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ค่า R –Value ต่ำ และ ค่า R –Value สูง) ของผนังอิฐมอญ หนา 4”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4”

ผนังก่ออิฐฉาบปูน (Brick) หนา 4 "		ผนังฉนวนกันความร้อน + ผนังอิฐมอญ หนา 4 "	
	($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$)		($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$)
	0.25		0.25
	0.10		0.10
	0.45		16.00
	0.10		0.45
	0.68		0.10
			0.68
ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	1.58	ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	17.58
	($Btu/h.ft^2.^{\circ}F$)		($Btu/h.ft^2.^{\circ}F$)
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.63	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.056

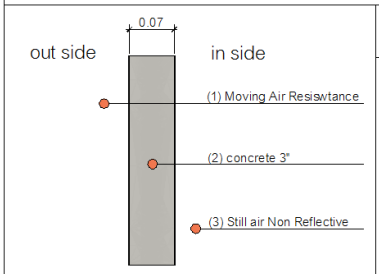
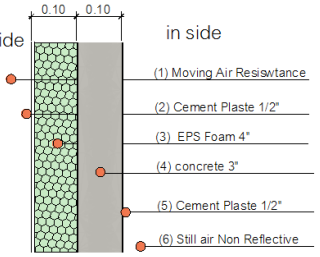
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ค่า R –Value ต่ำ และ ค่า R –Value สูง) ของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4”

ผนังคอนกรีตบล็อก (Concrete Masonry Unit) หนา 4 นิ้ว		ผนังฉนวนกันความร้อน + ผนังคอนกรีตบล๊อค หนา 4 "	
	($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$)		($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$)
	0.25		0.25
	0.10		0.10
	0.71		16.00
	0.10		0.71
	0.68		0.10
			0.68
ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	1.84	ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	17.84
	($Btu/h.ft^2.^{\circ}F$)		($Btu/h.ft^2.^{\circ}F$)
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.54	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.056

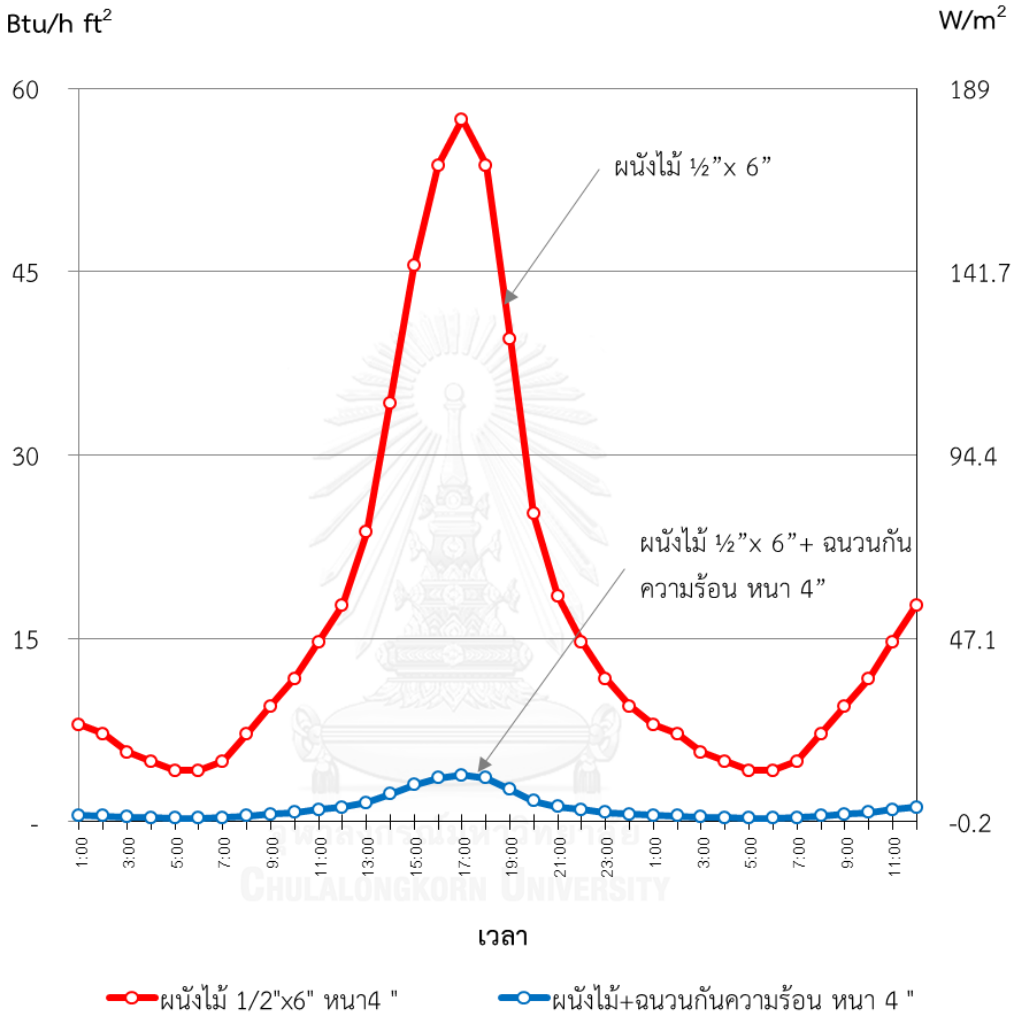
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ค่า R –Value ต่ำ และ ค่า R –Value สูง) ของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4”

ผนังคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete-ACC) หนา 4 นิ้ว		ผนังฉนวนกันความร้อน + ผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 "	
	($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$) 0.25 0.10 1.27 0.10 0.68		($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$) 0.25 0.10 16.00 1.27 0.10 0.68
ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	2.40	ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	18.40
	($Btu/h.ft.^{\circ}F$)		($Btu/h.ft.^{\circ}F$)
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.41	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.054

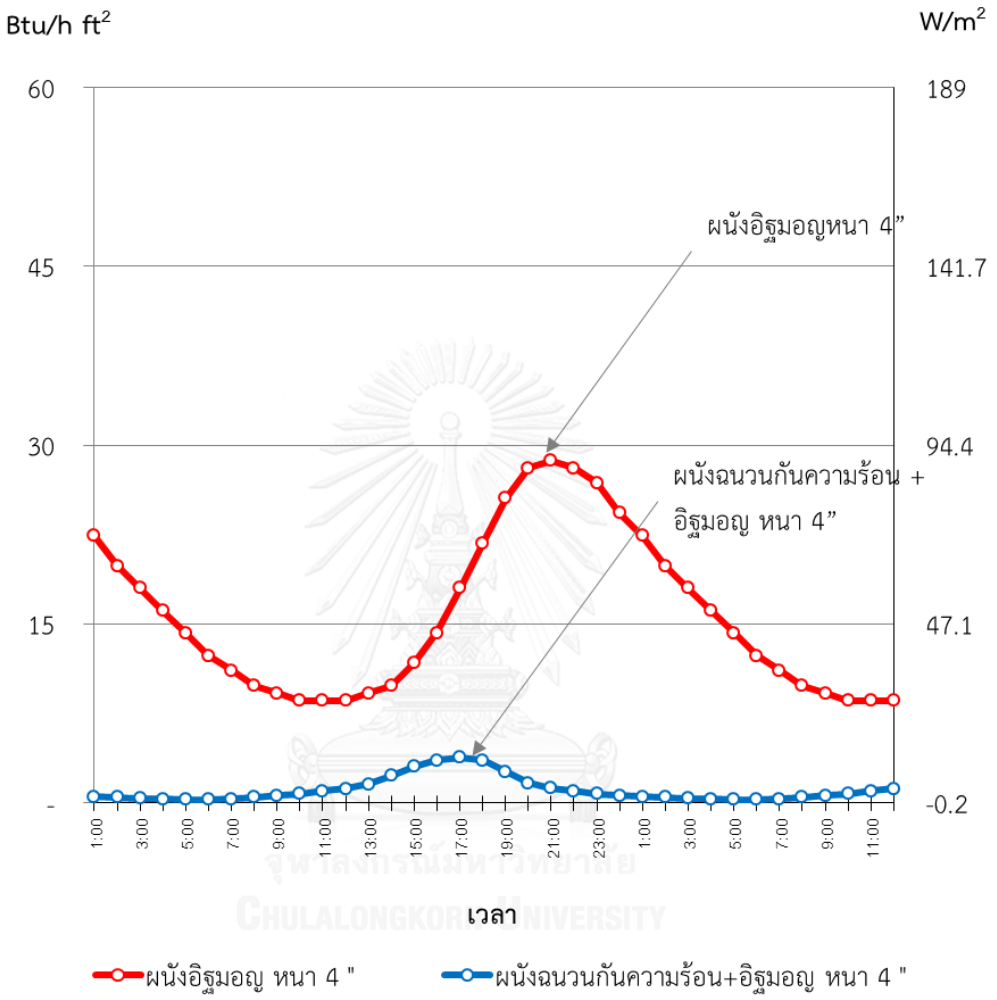
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ค่า R –Value ต่ำ และ ค่า R –Value สูง) ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน 4”

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast) หนา 3"		ผนังฉนวนกันความร้อน + ผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 "	
	($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$) 0.25 0.33 0.68		($ft^2.h.^{\circ}F/Btu$) 0.25 0.10 16.00 0.33 0.10 0.68
ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	1.26	ค่าความเป็นฉนวนรวม ($\sum R$)	17.46
	($Btu/h.ft.^{\circ}F$)		($Btu/h.ft.^{\circ}F$)
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.79	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	0.057

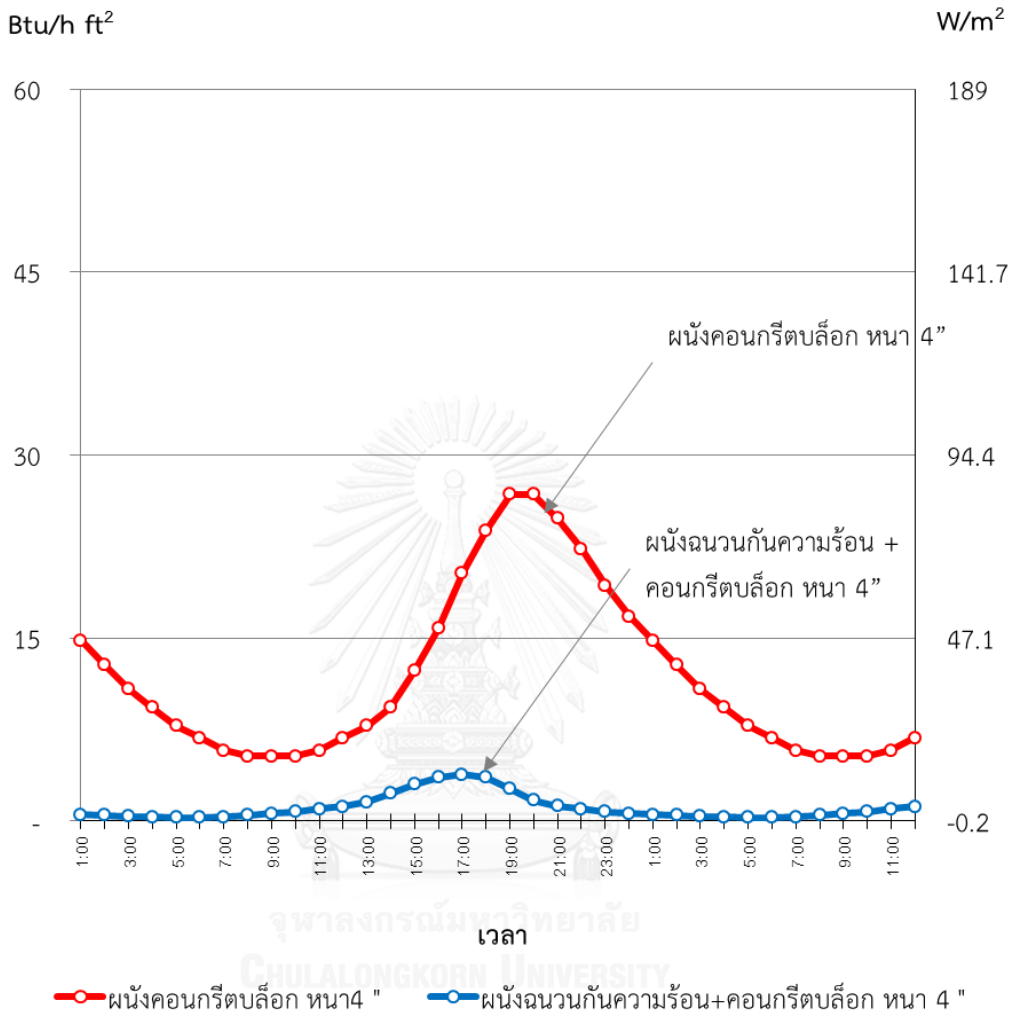
4.3.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังเดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน ตามที่แสดงในแผนภูมิ 4.23 – 4.27 ดังนี้



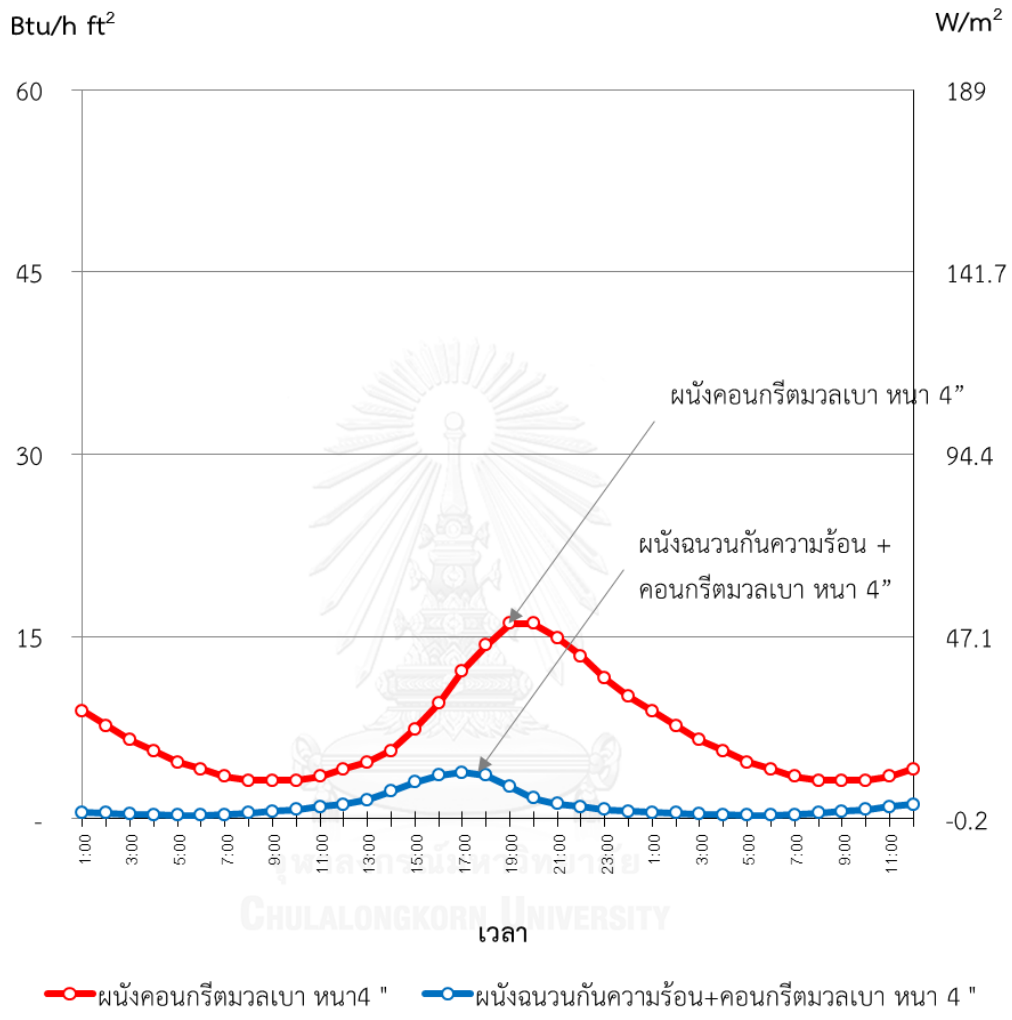
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังไม้ ½"x 6"เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน หนา 4"
ทางทิศตะวันตก เดือนเมษายน



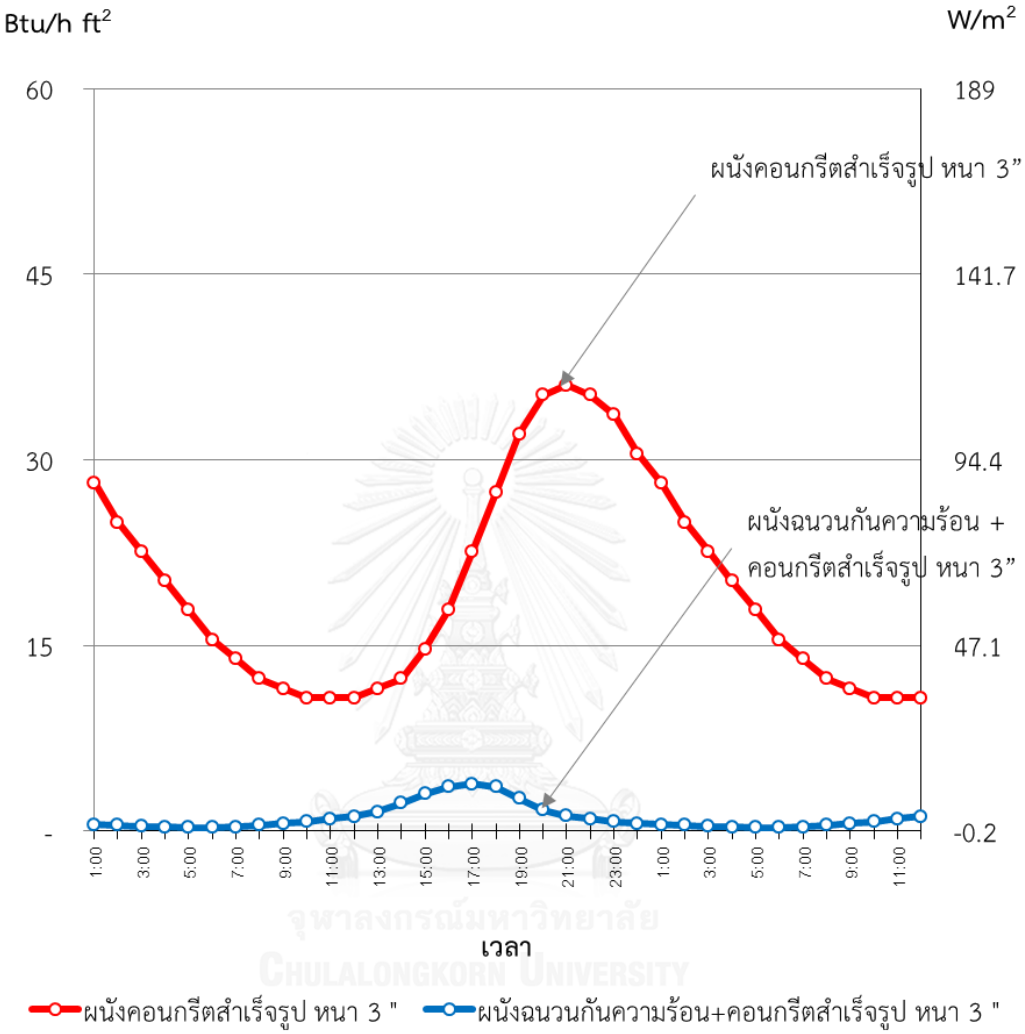
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังอิฐมอญ หนา 4”เดิม และผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน หนา 4” ทางทิศตะวันตก เดือนเมษายน



แผนภูมิที่ 4.25 แสดงเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังคอนกรีตบล็อก หนา 4” เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อน หนา 4” ทางทิศตะวันตก เดือนเมษายน



แผนภูมิที่ 4.26 แสดงเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4”เดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อนหนา 4” ทางทิศตะวันตก เดือนเมษายน



แผนภูมิที่ 4.27 แสดงเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หนา 3”เดิม และผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อนหนา 4” ทางทิศตะวันตก เดือนเมษายน จากแผนภูมิที่ 4.23 - 4.27 พบว่าการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังเดิมและผนังที่ได้รับการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนกันความร้อนหนา 4” ทางทิศตะวันตก เดือนเมษายน ทั้ง 5 ประเภท เห็นถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวผนังของผนังอาคารที่ไม่มีฉนวนกับผนังที่มีฉนวนมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวด้านนอกสูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิผิวด้านในที่มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในที่ปรับอากาศ แสดงว่าฉนวนเพิ่มประสิทธ์ภาพการป้องกันความร้อนให้กับผนังอาคารซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการลดค่าพลังงานของเครื่องปรับอากาศ

บทที่ 5
สรุปการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การเลือกใช้ผนังที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน

สามารถลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้มาก ซึ่งผลจากการศึกษาถึงคุณสมบัติของผนังภายนอกที่นิยมใช้สร้างบ้านในปัจจุบันทั้ง 5 ประเภท ในด้านการลดภาระการทำความเย็นผนังทั้ง 5 ประเภท มีคุณสมบัติในด้านการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ต่างกันไปตามมวลสาร ตัวอย่างเช่น ไม้ เป็นผนังที่มวลสารน้อยสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในตามอุณหภูมิภายนอกได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับผนังอิฐมอญ ที่มีมวลสารมาก เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในตามอุณหภูมิภายนอกช้าทำให้เกิดระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวที่ต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูงสุด และลดภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศได้ดี จึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาในการใช้งาน และลักษณะอาคาร ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผนังไม้ ½”x6”

เป็นวัสดุที่มีระยะการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ความจุความร้อนต่ำมาก ดังนั้นในช่วงเวลากลางวันมีการเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในตามอุณหภูมิผิวภายในตามอุณหภูมิอากาศภายนอกรวดเร็ว และในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวภายในอาคารจึงใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอก ซึ่งยังช่วยให้อยู่ในระดับพอสบาย

ผนังไม้จึงเป็นที่นิยมใช้เป็นวัสดุในการทำผนังของบ้านพักอาศัยพื้นถิ่น หรือบ้านเรือนไทยโบราณ ใช้วิธีทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติ ไม่เหมาะติดเครื่องปรับอากาศเพราะความร้อนภายนอกรั่วซึมเอาอากาศภายนอกเข้ามาได้เป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นสูงมาก

ภาพที่5.1แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังไม้ ½”x6”

เวลากลางวัน	เวลากลาคืน	ข้อจำกัด
 ที่มา : www.kroobannok.com		
ค่า R = 1.33 Btu/h ft^2 **<u>อากาศร้อนมาก</u>** วิธีแก้ไข : ปรับสภาพแวดล้อมให้ร่มรื่นจะช่วยลดอุณหภูมิได้ **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	ค่า R = 1.33 Btu/h ft^2 **<u>อากาศเย็นพอสบาย</u>** อุณหภูมิผิวภายในเย็นตามอุณหภูมิอากาศภายนอก **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	**<u>ไม่ควรติดเครื่องปรับอากาศ</u>** มีการขยายตัว-หดตัวของไม้การรั่วซึมอากาศมาก **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**

ผนังอิฐมอญ

เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ดังนั้นสำหรับอาคารที่ต้องการใช้ผนังอิฐมอญเป็นวัสดุก่อสร้างผนังภายนอก ต้องเป็นอาคารที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน เช่นอาคารสำนักงานฯลฯ (กรณีติดเครื่องปรับอากาศ)เนื่องจากอิฐมอญจะช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อนในการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในตัวอาคารได้
กล่าวคือ ช่วงเวลาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารจะนานขึ้น ส่งผลให้เพิ่มการภาระการทำความเย็นสูงมาก และในช่วงเวลากลางคืนความร้อนที่สะสมภายในผนังอิฐมอญจะคลายความร้อนมาสู่ผู้ใช้อาคาร

ภาพที่5.2แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังอิฐมอญ

เวลากลางวัน	เวลากลาคืน	ข้อจำกัด
ค่า R = 1.58 Btu/h ft^2 **<u>อากาศร้อนมาก</u>** วิธีแก้ไข : ปรับสภาพแวดล้อมให้ร่มรื่นจะช่วยลดอุณหภูมิได้ (เปิดพัดลมช่วยปรับอุณหภูมิ) **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	ค่า R = 1.58 Btu/h ft^2 **<u>อากาศร้อน</u>** วิธีแก้ไข : ต้องเปิดประตู - หน้าต่างเพื่อระบายอากาศ (เปิดพัดลมช่วยปรับอุณหภูมิด้วย) **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	**<u>กรณีติดเครื่องปรับอากาศ</u>** เหมาะกับ อาคาร ที่ใช้งาน ในเวลากลางวัน **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผนังคอนกรีตบล็อก

เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นรูปรูกลวงตรงกลางทำให้มีช่องอากาศภายในนั้นซึ่งจะเป็นกันความร้อนได้อย่างดี แต่จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าช่องอากาศภายในคอนกรีตบล็อกก่อให้เกิดการควบแน่นของหยดน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (°C) ดังนั้นอาคารที่มีเครื่องปรับอากาศที่ใช้ผนังคอนกรีตบล็อกจะมีอัตราเสียงต่อการเกิดหยดน้ำในช่องว่างผนังค่อนข้างสูงที่

ดังนั้นผนังคอนกรีตบล็อกไม่เหมาะสมกับอาคารที่ติดเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากจะส่งผลให้เพิ่มการภาระการทำความเย็นสูงมาก

ตารางที่ 5.3 แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังคอนกรีตบล็อก

เวลากลางวัน	เวลากลาคืน	ข้อจำกัด
ค่า R = 1.97 Btu/h ft^2 **<u>มีช่องอากาศที่ช่วยกันความร้อนได้ แต่มีความชื้น</u>** วิธีแก้ไข : ต้องปิดฉนวนต้านทานความร้อน ความชื้น (แบบฉนวนชนิดเซลล์ปิด) **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	ค่า R = 1.97 Btu/h ft^2 **<u>ผนังที่ไม่กันความชื้น/น้ำฝน</u>** วิธีแก้ไข : ต้องปิดฉนวนต้านทานความร้อน ความชื้น (แบบฉนวนชนิดเซลล์ปิด) **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	**<u>กรณีติดเครื่องปรับอากาศ</u>** เพิ่มภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**

ผนังคอนกรีตมวลเบา

เป็นวัสดุที่มีลักษณะมีฟองอากาศมากประมาณ 75% ทำให้สะสมความร้อนได้น้อยและในช่วงเวลากลางวันซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะเกิด
การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ง่ายถ้าติดเครื่องปรับอากาศส่งผลให้เพิ่มการภาระการทำความเย็นสูง และช่วงเวลากลางคืนผนังคอนกรีตมวลเบาจะไม่สะสมความร้อนที่ผิวผนังทำให้ผนังคลายความร้อนเร็ว แต่ถ้าฉาบแต่งผิวไม่ดีจะเกิดการแตกร้าวที่ผนังได้ง่ายทำให้เกิดการรั่วของอากาศภายนอกสู่ภายในได้ง่าย

ภาพที่5.3 แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังคอนกรีตมวลเบา

เวลากลางวัน	เวลากลาคืน	ข้อจำกัด
ค่า R = 3.29 Btu/h ft^2 **<u>มีฟองอากาศที่ช่วยกันความร้อนได้ แต่มีความชื้นและการรั่วซึม</u>** วิธีแก้ไข : ต้องปิดฉนวนต้านทานความร้อน ความชื้น (แบบฉนวนชนิดเซลล์ปิด) **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	ค่า R = 3.29 Btu/h ft^2 **<u>ผนังที่ไม่กันความชื้น/น้ำฝน</u>** วิธีแก้ไข : ต้องปิดฉนวนต้านทานความร้อน ความชื้น (แบบฉนวนชนิดเซลล์ปิด) **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	**<u>กรณีติดเครื่องปรับอากาศ</u>** ไม่เหมาะสมกับการเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวัน เป็นการเพิ่มการภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก จึงส่งผลให้มีการนำความร้อนมากจึงทำให้อาคารที่ทำด้วยผนังคอนกรีตสำเร็จรูป มีอุณหภูมิสูงกว่าผนังประเภทอื่นเมื่อมีแดดส่องผนังภายนอกและในเวลากลางคืนเกิดการคลายความที่ผนังมาสู่ผู้ใช้อาคารทำให้มีอุณหภูมิสูง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติการป้องกันความชื้นได้ดี แต่ถ้าติดเครื่องปรับอากาศส่งผลให้เพิ่มการภาระการทำความเย็นสูงสิ้นเปลืองพลังงาน

ภาพที่5.4 แสดงพฤติกรรมของบ้านเดี่ยวที่ติดตั้ง ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

เวลากลางวัน	เวลากลาคืน	ข้อจำกัด
ค่า R = 1.26 Btu/h ft^2 **<u>ผิวผนังมีความร้อนสูงและจะคลายความร้อนช่วง 20.00-21.00 น.</u>** **<u>ไม่เหมาะกับบ้านพักอาศัย</u>** วิธีแก้ไข : ต้องปิดฉนวนต้านทานความร้อน ความชื้นภายนอกผนังเดิม (แบบฉนวนชนิดเซลล์ปิด) **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	ค่า R = 1.26 Btu/h ft^2 **<u>ผนังที่กันความชื้น/น้ำฝน</u>** <u>มีความร้อนสูงและจะคลายความร้อนช่วง 20.00-21.00 น.</u> **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**	**<u>กรณีติดเครื่องปรับอากาศ</u>** ไม่เหมาะสมกับการเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวัน และกลางคืน เป็นการเพิ่มการภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ **ปรับปรุง --ติดฉนวนเพิ่ม---**

5.1.2 สรุปแนวทางการเลือกใช้ผนังให้เหมาะสมกับการใช้งานปัจจุบัน

5.1.2.1 ผนังที่เหมาะสมกับอาคารที่ปรับอากาศ ต้องประกอบด้วยคุณสมบัติ ดังนี้

- ติดตั้งฉนวนชนิดเซลปิด (Closed cell) เช่น โฟม EIFS หรือ PU FOAM ไว้ด้านนอกของผนังเพื่อลดปริมาณความร้อนและความชื้นเข้าสู่ตัวอาคารรวมทั้งป้องกันการเกิดการควบแน่นของระบบผนัง

- เลือกใช้ผนังที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ (U - Value) เพื่อลดปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้ามาในอาคาร

- เลือกใช้ผนังที่มีมวลสารน้อยเพื่อลดการสะสมความร้อนที่ผิวผนัง

5.1.2.2 ผนังที่เหมาะสมกับอาคารที่ไม่ปรับอากาศ ต้องประกอบด้วยคุณสมบัติดังนี้

- ติดตั้งฉนวนชนิดเซลปิด (Closed cell) เช่น โฟม EIFS หรือ PU FOAM ไว้ด้านนอกของผนังเพื่อลดปริมาณความร้อนและความชื้นเข้าสู่ตัวอาคาร รวมทั้งป้องกันการเกิดการควบแน่นของระบบผนัง

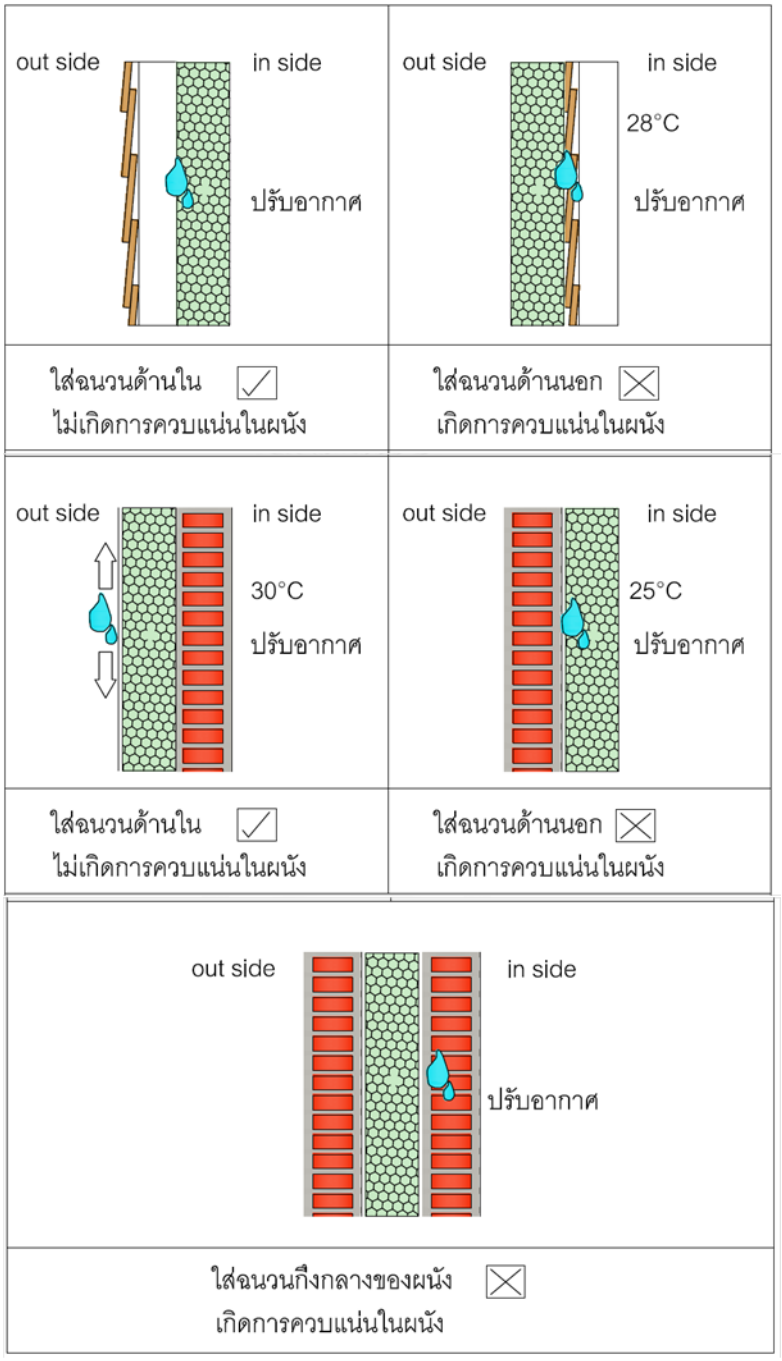
- เลือกใช้ผนังที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ (U-Value) เพื่อลดปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้ามาในอาคาร

- เลือกใช้ผนังที่มีมวลสารมากเพื่อเพิ่มความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในเวลากลางวันไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคาร และถ่ายเทออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอกที่เย็นกว่าในเวลากลางคืน

5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการประยุกต์ใช้

การเพิ่มฉนวนกันความร้อนในผนังจำเป็นต้องติดตั้งภายนอกเพื่อลดปริมาณความร้อนและความชื้นและลดการเกิดหยดน้ำจากการควบแน่นในผนังในกรณีปรับอากาศ (ดังตารางที่ 5.6)

ภาพที่ 5.5 แสดงการเกิดหยดน้ำจากการควบแน่นในผนังในกรณีปรับอากาศที่มีการติดตั้งฉนวนรูปแบบต่างๆ



5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

5.3.1 เนื่องจากเวลาและอุปกรณ์ในการวิจัยมีจำกัดจึงไม่สามารถทดสอบตัวแปรในด้านความชื้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลอีกตัวแปรหนึ่ง สำหรับภาระการทำความเย็น ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อภาระการทำความเย็นจากการปรับปรุงผนังภายนอกบ้านเดี่ยว

5.3.2 ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังภายนอกบ้านเดี่ยวในกรณีไม่ปรับอากาศและปรับอากาศ

5.2.3 ในการทำวิจัยควรกำหนดขอบเขตของงานวิจัยให้ชัดเจน พร้อมทั้งจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือให้พร้อมก่อนทำการวิจัย

5.3.4 การวิจัยนี้ทำการทดลอง ณ พื้นที่ภาคกลางซึ่งเป็นการทดลองในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศร้อนชื้นเพื่อเป็นแนวทางในการหาวัสดุที่เหมาะสมในเขตประเทศร้อนชื้น และควรทำการเก็บข้อมูลทุกพื้นที่หรือทุกภาค และ ทุกฤดูกาลของประเทศไทยเพื่อหาวัสดุที่ใช้กับผนังภายนอกที่เหมาะสมในการใช้งานกับบ้านพักอาศัยของประเทศไทย

5.4 เสนอแนะแนวทางประยุกต์ใช้

5.4.1 การออกแบบอาคารควรพิจารณาเลือกวัสดุก่อและทิศทางให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากความถี่และช่วงเวลาของการใช้งาน ผนังมวลสารมากเหมาะกับการใช้งานในช่วงกลางวันเวลาตั้งแต่ 6.00 - 18.00 น. ซึ่งเหมาะในการป้องกันอิทธิพลจากรังสีแสงอาทิตย์จากอิทธิพลของทิศทางอาคาร เช่น ห้องพักผ่อน ห้องรับประทานอาหาร ห้องรับแขก ห้องครัว เป็นต้น

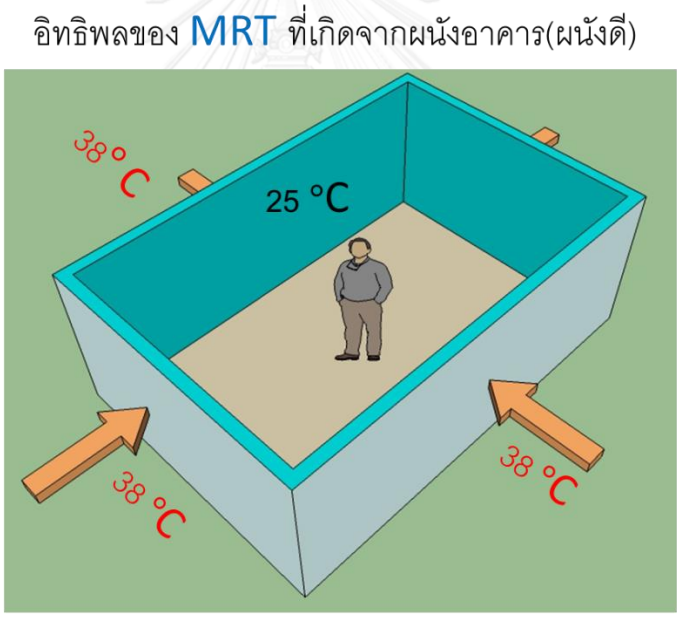
5.4.3 พื้นที่ที่ใช้งานมากในตอนกลางคืน เช่น ห้องนอน ควรเลือกผนังภายนอกมวลสารน้อยเนื่องจากสะสมความร้อนน้อย ผนังทางทิศดังกล่าวไม่ควรโดนรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง เนื่องจากมวลสารจะคายความร้อนในช่วงเวลาการใช้งานส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องสูง ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรที่จะติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อลดอิทธิพลความรุนแรงจากรังสีดวงอาทิตย์

5.4.4 ผนังภายนอกมวลสารมากจะดูดความร้อน และอมความร้อนได้ดีเป็นแหล่งผลิตความร้อนส่งผลถึงอุณหภูมิภายในอาคาร ดังนั้นควรพิจารณาวิธีการเพิ่มฉนวนเพื่อประโยชน์ในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้อีกทางหนึ่ง

5.5 อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผนังภายนอกทั้ง 5 ประเภทนั้นยังไม่มีผนังใดที่เข้าเขตสภาวะน่าสบาย MRT ต่ำ ถ้าเปิดเครื่องปรับอากาศ 25 °C ต้องใช้เวลานานเนื่องจากอุณหภูมิผิวของผนัง แต่ละประเภทมีอุณหภูมิผิวที่แตกต่างกัน ทำให้สรุปได้ว่าผนังทั้ง 5 ประเภทนั้นไม่เหมาะสมแต่ถ้าอากาศที่มีอุณหภูมิที่ผิวข้างนอก ข้างในเท่ากันช่วงเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคม แต่ปัจจุบันอุณหภูมิมีอากาศร้อนขึ้นจึงไม่เหมาะสมถ้าใช้วิธีเปิดเครื่องปรับอากาศ 25 °C ตามนโยบายของรัฐบาลนั้นต้องใช้เวลานานกว่าอุณหภูมิห้องถึงจะเย็น หรือไม่ต้องลดอุณหภูมิให้ต่ำลงเครื่องปรับอากาศถึงจะเย็น

ดังนั้นผนังที่ดีต้อง MRT ต่ำ และเปิดเครื่องปรับอากาศแล้วเย็นเร็ว และผนังในอนาคตสำหรับอาคารที่ปรับอาคารควรมีคุณสมบัติการประหยัดพลังงาน



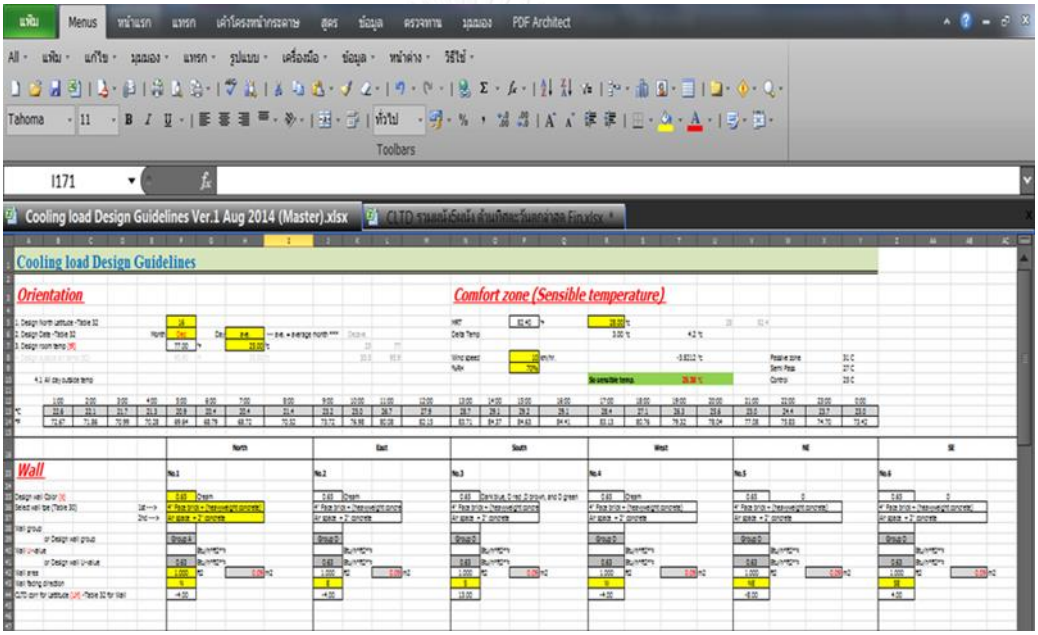
ภาพที่5.6 แสดงอุณหภูมิห้องของผนังดีมีมวลสารน้อย

รายการอ้างอิง

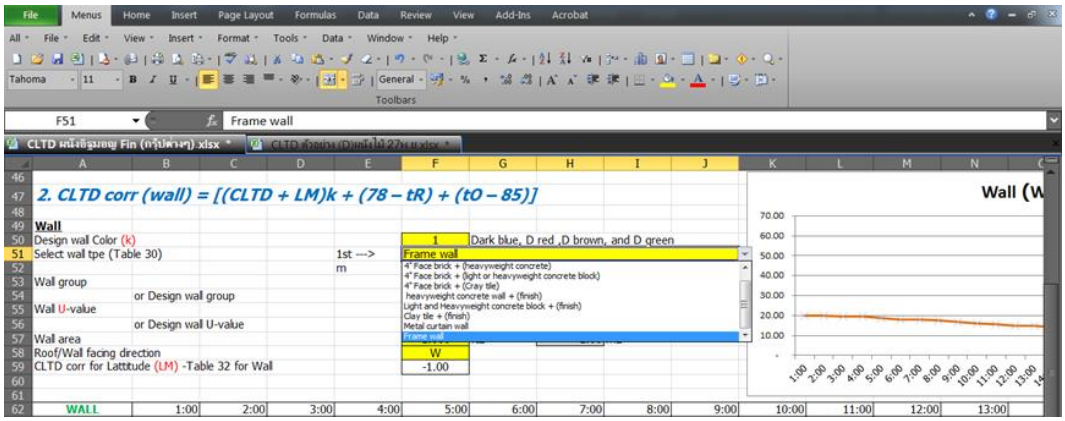
1. HomeIdea. บ้านทรงไทย อีกหนึ่งภูมิปัญญาไทยที่น่าชื่นชม. 2013 [cited 2014; Available from: http://homebeau.blogspot.com/2013/06/blog-post_14.html.
2. โรงเรียนดรุณานุกูลหัวถนน. ปฏิกิริยาเรือนกระจก,. 2014 [cited 2014 14 December]; Available from: http://www.thaigoodview.com/library/contest2553/type1/science03/02/glasshouse.html.
3. yuth, S.-u. การหักเหของแสง (*Refraction)*. 2554 7 มกราคม 2554; Available from: http://teerayuth-sriserm.blogspot.com/2011/01/blog-post.html.
4. สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. 1 ed. 2542, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. N. K. Bansal, *Passive Building Design.* 1994: p. 52.
6. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, โครงการวิจัยดัชนีระบบนิเวศยุคใหม่เพื่อความยั่งยืน. 2550.
7. American Society of Heating, R., and Air-conditioning Engineers, 2001 *ASHRAE Handbook : Fundamentals*. 2001, ASHRAE: Atlanta, GA.
8. American Society of Heating, R., and Air-conditioning Engineers, 1989 *ASHRAE Handbook : Fundamentals*. 1989, ASHRAE: Atlanta, GA.
9. อนันต์ วัชรพงษ์. ประสิทธิภาพในการใช้ฉนวนสะท้อนรังสีและทิศทางการถ่ายเทความร้อนสำหรับอาคารในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. 2538 15 ธันวาคม 2557; Available from: http://dric.nrct.go.th/bookdetail.php?book_id=58522.
10. สุนทร บุญญาธิการ, อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ. 2545, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ เดอะมาสเตอร์ เจอนัล จำกัด.
11. ภัทราภรณ์ ศรีประเสริฐ. แนวทางการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตกที่คุ้มค่าการลงทุน. 2551 [cited Available from: http://dric.nrct.go.th/bookdetail.php?book_id=265127.

ภาคผนวก ก

ศึกษาคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของคุณสมบัติผนังภายนอกจากตัวแปรค่า (U – Value) ด้วยโปรแกรม Microsoft-Excel ใช้วิธีการคำนวณคุณสมบัติของผนังภายนอกผ่านโปรแกรม Microsoft-Excel โดยอ้างอิงสูตรจากหนังสือ ASHRAE Fundamentals Handbook ปี 1989 เพื่อทราบคุณสมบัติของผนังภายนอกแต่ละประเภทมีผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

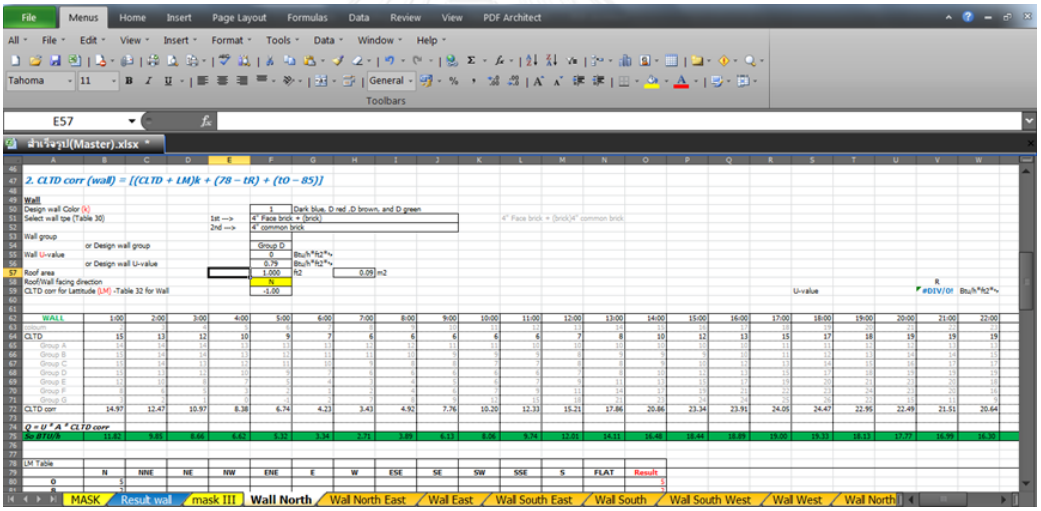


รูปแบบการป้อนค่าโดยกำหนดอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (°C) และค่าวัน/เดือน/ปี ของผนังภายนอกลงในโปรแกรมคำนวณที่จัดทำด้วยโปรแกรม Microsoft-Excel



รูปแบบการป้อนค่าการเลือกผนังภายนอกแต่ละประเภทลงในโปรแกรม

คำนวณที่จัดทำด้วยโปรแกรม Microsoft- Excel



รูปแบบการป้อนค่า (U – Value) และค่า Group ของผนังภายนอกลงในโปรแกรม

คำนวณที่จัดทำด้วยโปรแกรม Microsoft-Excel

ภาคผนวก ข

ตัวเลขที่ใช้ในการแปลงหน่วย (Metric Conversions)

ตัวเลขที่ใช้ในการแปลงหน่วย (Metric Conversions)

ATMOSPHERES (atm)

1 atm	= 101.325	Kilopascals (kPa) absolute
	= 14.696	Pounds-force per square inch absolute (psia)
	= 76.00	Centimetres of mercury (cmHg) at 0 °C
	= 29.92	Inches of mercury (inHg) at 0 °C
	= 33.96	Feet of water (ftH_2O) at 68 °F
	= 1.01325	Bars (bar) absolute
	= 1.0332	Kilograms-force per square centimetre (kg/cm^2) absolute
	= 1.0581	Tons-force per square foot ($tonf/ft^2$) absolute
	= 760	Torr (torr)(=mmHg at 0 °C)

BRITISH THERMAL UNITS (Btu)

1 Btu	= 1055	Joules (J)
	= 778	Foot-pounds-force (ft·lbf)
	= 0.252	Kilocalories (kcal)
	= 107.6	Kilogram-force-metres (kgf·m)
	= 2.93×10^{-4}	Kilowatt-hours (kW·h)
	= 3.93×10^{-4}	Horsepower-hours (hp·h)

BRITISH THERMAL UNITS PER MINUTE (Btu/min)

1 Btu/min	= 17.58	Watts (W)
	= 12.97	Foot-pounds-force per second (ft (lbf/s))
	= 0.02358	Horsepower (hp)

การแปลงหน่วย องศาเซลเซียส (°C) และ องศาฟาเรนไฮต์ (°F)

(1) แปลงหน่วยจาก °C เป็น F

°C	F	°C	F
0	32.0	50	122.0
1	33.8	51	123.8
2	35.6	52	125.6
3	37.4	53	127.4
4	39.2	54	129.2
5	41.0	55	131.0
6	42.8	56	132.8
7	44.6	57	134.6
8	46.4	58	136.4
9	48.2	59	138.2
10	50.0	60	140.0
11	51.8	61	141.8
12	53.6	62	143.6
13	55.4	63	145.4
14	57.2	64	147.2
15	59.0	65	149.0
16	60.8	66	150.8
17	62.6	67	152.6
18	64.4	68	154.4
19	66.2	69	156.2
20	68.0	70	158.0
21	69.8	71	159.8
22	71.6	72	161.6
23	73.4	73	163.4
24	75.2	74	165.2
25	77.0	75	167.0
26	78.8	76	168.8
27	80.6	77	170.6
28	82.4	78	172.4
29	84.2	79	174.2
30	86.0	80	176.0
31	87.8	81	177.8
32	89.6	82	179.6
33	91.4	83	181.4
34	93.2	84	183.2
35	95.0	85	185.0
36	96.8	86	186.8
37	98.6	87	188.6
38	100.4	88	190.4
39	102.2	89	192.2
40	104.0	90	194.0
41	105.8	91	195.8
42	107.6	92	197.6
43	109.4	93	199.4
44	111.2	94	201.2
45	113.0	95	203.0
46	114.8	96	204.8
47	116.6	97	206.6
48	118.4	98	208.4
49	120.2	99	210.2
		100	212.0

(2) แปลงหน่วยจาก F เป็น °C

F	°C	F	°C	F	°C	F	°C
30	-1.1	80	26.7	130	54.4	180	82.2
31	-0.6	81	27.2	131	55.0	181	82.8
32	0.0	82	27.8	132	55.6	182	83.3
33	0.6	83	28.3	133	56.1	183	83.9
34	1.1	84	28.9	134	56.7	184	84.4
35	1.7	85	29.4	135	57.2	185	85.0
36	2.2	86	30.0	136	57.8	186	85.6
37	2.8	87	30.6	137	58.3	187	86.1
38	3.3	88	31.1	138	58.9	188	86.7
39	3.9	89	31.7	139	59.4	189	87.2
40	4.4	90	32.2	140	60.0	190	87.8
41	5.0	91	32.8	141	60.6	191	88.3
42	5.6	92	33.3	142	61.1	192	88.9
43	6.1	93	33.9	143	61.7	193	89.4
44	6.7	94	34.4	144	62.2	194	90.0
45	7.2	95	35.0	145	62.8	195	90.6
46	7.8	96	35.6	146	63.3	196	91.1
47	8.3	97	36.1	147	63.9	197	91.7
48	8.9	98	36.7	148	64.4	198	92.2
49	9.4	99	37.2	149	65.0	199	92.8
50	10.0	100	37.8	150	65.6	200	93.3
51	10.6	101	38.3	151	66.1	201	93.9
52	11.1	102	38.9	152	66.7	202	94.4
53	11.7	103	39.4	153	67.2	203	95.0
54	12.2	104	40.0	154	67.8	204	95.6
55	12.8	105	40.6	155	68.3	205	96.1
56	13.3	106	41.1	156	68.9	206	96.7
57	13.9	107	41.7	157	69.4	207	97.2
58	14.4	108	42.2	158	70.0	208	97.8
59	15.0	109	42.8	159	70.6	209	98.3
60	15.6	110	43.3	160	71.1	210	98.9
61	16.1	111	43.9	161	71.7	211	99.4
62	16.7	112	44.4	162	72.2	212	100.0
63	17.2	113	45.0	163	72.8		
64	17.8	114	45.6	164	73.3		
65	18.3	115	46.1	165	73.9		
66	18.9	116	46.7	166	74.4		
67	19.4	117	47.2	167	75.0		
68	20.0	118	47.8	168	75.6		
69	20.6	119	48.3	169	76.1		
70	21.1	120	48.9	170	76.7		
71	21.7	121	49.4	171	77.2		
72	22.2	122	50.0	172	77.8		
73	22.8	123	50.6	173	78.3		
74	23.3	124	51.1	174	78.9		
75	23.9	125	51.7	175	79.4		
76	24.4	126	52.2	176	80.0		
77	25.0	127	52.8	177	80.6		
78	25.6	128	53.3	178	81.1		
79	26.1	129	53.9	179	81.7		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University