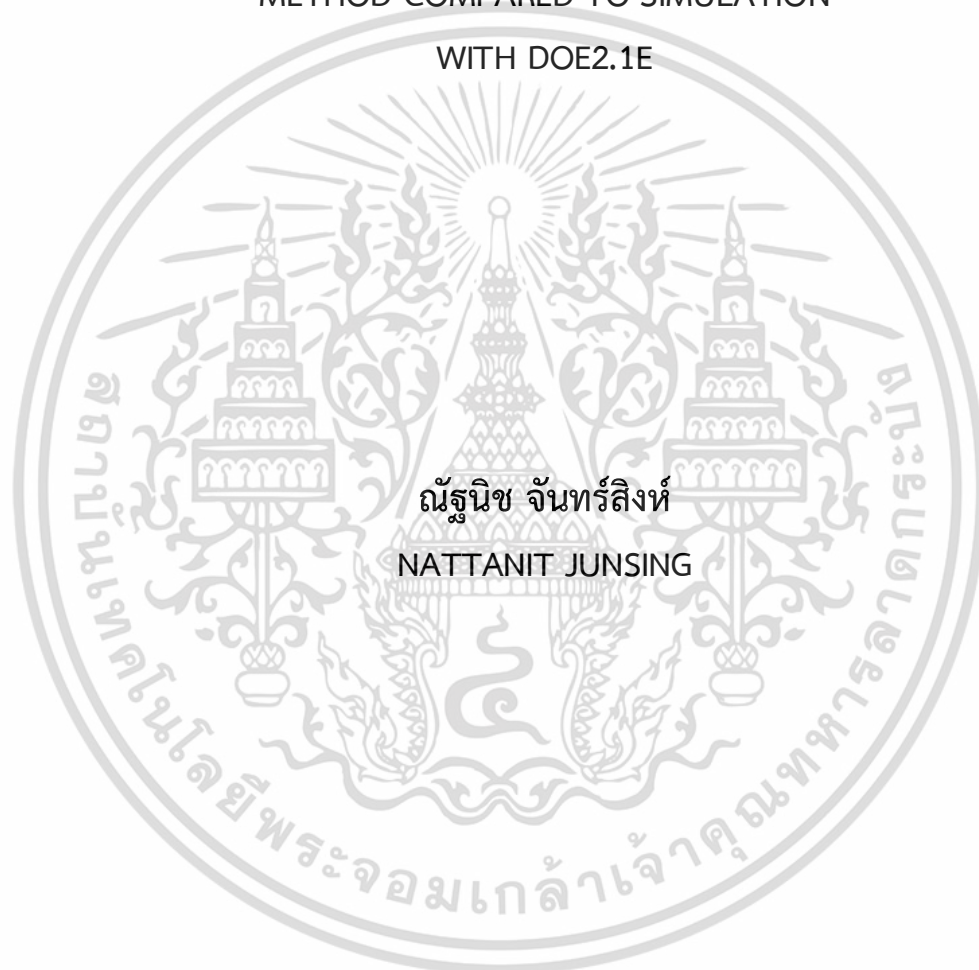


การศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี
CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม
DOE2.1E

THE STUDY OF ERROR CALCULATION OF COOLING LOAD BY CLTD/CLF
METHOD COMPARED TO SIMULATION
WITH DOE2.1E



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2565

KMITL-2022-AR-M-002-010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF ERROR CALCULATION OF COOLING LOAD BY CLTD/CLF
METHOD COMPARED TO SIMULATION
WITH DOE2.1E



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE PROGRAM IN TROPICAL ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2022
KMITL-2022-AR-M-002-010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPY RIGHT 2022

FACULTY OF ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E
นักศึกษา	ณัฐนิช จันทร์สิงห์
เลขประจำตัว	63602052
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ.สุพัฒน์ บุญยฤทธิกิจ

บทคัดย่อ

ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานมีค่าสูงถึง 40-60 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทย ดังนั้นการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นที่แม่นยำ จะสามารถส่งผลถึงการอนุรักษ์พลังงานในด้านต่าง ๆ อีกทั้งยังส่งผลในการเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ในประเทศไทยการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็ว และ ยังสามารถทำความเข้าใจในหลักการได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้ระบบโปรแกรมที่ซับซ้อนเข้ามาช่วยในการคำนวณ หากแต่ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าการคำนวณด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงได้ทำการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ผลการศึกษาพบว่า การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยการจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121 เป็นการคำนวณที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นประมาณ 40-60% เนื่องจากค่า CLTD ถูกสร้างเพื่อการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยอ้างอิงจากวัสดุ และสภาวะแวดล้อมในประเทศของผู้จัดทำ ซึ่งส่งผลให้เมื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยใช้วัสดุและอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมของประเทศไทย ที่มีการหน่วงเวลาของพลังงานความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเข้ามาต่างกันกับประเทศของผู้จัดทำ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ โดยส่วนที่เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดและสามารถปรับเทียบอย่างง่ายที่สุด ได้แก่ วัสดุผนัง

Thesis	The Study of Cooling Load Calculation Error by CLTD/CLF Method Compared to Simulation with DOE2.1E
Student	Nattanit Junsing
Student ID	63602052
Degree	Master of Architecture
Program	Tropical Architect
Year	2022
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Suphat Bunyarittikit

ABSTRACT

Air conditioning system consumes 40-60 percent of the total consumption of residential buildings in Thailand. Therefore, the accurate cooling load calculation can result in efficient energy conservation and the selection of a suitable air conditioning system for the cooling load which can reduce the cost in the part of the air conditioning system as well. In Thailand, CLTD/CLF method is popular because it can be easy to understand in addition fast to calculate the cooling load without having to use a complex computer program, however the results will be less accurate. The purpose of this article is to study of cooling load calculation error by CLTD/CLF method compared to simulation with DOE2.1E

the results of the found that the calculation of the CLTD/CLF method with the CLTD values compares to simulation with DOE2.1E program has about 40-60% error, this is because the CLTD values are not generated based on materials and environment of Thailand conditions which has difference time lag of heat pass through the building. The area with the most tolerances and the easiest part to calibrate is wall materials.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุพัฒน์ บุญยฤทธิกิจ และ รศ.รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ ที่ได้สละเวลาเพื่อให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ และ ประสบการณ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณนางสุกัญญา จันทรสิงห์, นายนักรบ จันทรสิงห์ และ นางสาวกัญญาณัฐ คงพรปรารณา ผู้ซึ่งเป็นครอบครัวและเพื่อนของข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่หรือผู้ที่เกี่ยวข้องที่ให้คำปรึกษา การสนับสนุนและความช่วยเหลือ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ ทั้งด้านการศึกษาหรือการนำไปประยุกต์ใช้

นางสาวณัฐนิช จันทรสิงห์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	IX
สารบัญตาราง.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิด.....	7
2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคครัวเรือนในประเทศไทย.....	8
2.2 เครื่องปรับอากาศ.....	8
2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....	8
2.2.2 หน่วยความร้อนของเครื่องปรับอากาศ.....	9
2.2.3 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER).....	10
2.3 ความร้อน.....	10
2.3.1 ประเภทของความร้อน.....	10
2.3.2 วิธีการถ่ายเทความร้อน.....	10
2.3.3 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน.....	10
2.3.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มอากาศที่ผิววัตถุ.....	12
2.3.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างอากาศ.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.6 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก.....	15
2.3.7 แหล่งที่มาของความร้อนที่ห้องได้รับ.....	17
2.3.8 ภาระการทำความเย็น.....	18
2.4 การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF	18
2.4.1 ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารภายนอก (Conduction through Exterior Structure).....	19
2.4.2 การถ่ายเทความร้อนจากภายใน.....	20
2.4.3 ความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดต่างๆ และการระบายอากาศ (Ventilation and Infiltration Air).....	21
2.4.4 ขั้นตอนการคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF.....	21
2.5 การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	23
2.5.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	23
2.5.2 การคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	25
2.6 บ้านพักอาศัยพื้นฐานของประเทศไทย.....	27
2.7 การประเมินค่าความคลาดเคลื่อน.....	29
2.8 กรอบแนวคิด.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย วัตถุประสงค์และเครื่องมือ.....	32
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	32
3.2 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย.....	33
3.2.1 รายละเอียดของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....	33
3.2.2 ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการคำนวณ.....	37
3.3 สร้างเครื่องมือสำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น.....	40
3.3.1 สร้างเครื่องมือสำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF.....	40
3.3.1.1 ตารางค่า CLTD เพื่อคำนวณหาค่า CLTDc.....	40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1.2 ตารางการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัย พื้นฐานแบบรายชั่วโมงด้วยวิธี CLTD/CLF.....	43
3.3.1.3 ตารางการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นแบบรายชั่วโมงด้วยวิธี CLTD/CLF.....	44
3.3.2 โปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	45
3.3.2.1 โปรแกรม DOE2.1E ver.121 สำหรับการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุ แต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....	45
3.3.2.2 โปรแกรม DOE2.1E ver.121 สำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น ของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....	46
3.3.3 สร้างเครื่องมือสำหรับการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.48	
บทที่ 4 การทดลองและผลการดำเนินการวิจัย.....	50
4.1 การคำนวณหาค่า Heat gain ของวัสดุประกอบอาคาร.....	50
4.1.1 คำนวณหาค่า Heat Gain ของวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัย พื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF.....	50
4.1.1.1 คำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังทึบด้วยวิธี CLTD/CLF.....	53
4.1.1.2 คำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF.....	63
4.1.1.3 คำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF.....	72
4.1.2 คำนวณหาค่า Heat gain ของวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัย พื้นฐานโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	74
4.1.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบ บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วย ระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุผนังทึบด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....	76
4.1.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....	83
4.1.3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....	94
4.1.3.4 วิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....	96
4.1.4 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....	97
4.1.4.1 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุผนังทึบด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....	97
4.1.4.2 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....	100

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.4.3 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุ กระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบ โปรแกรม DOE2.1E.....	103
4.2 การคำนวณหาค่าภาระทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....	106
4.2.1 คำนวณหาค่าภาระทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF.....	106
4.2.2 คำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานโดยการจำลองด้วย ระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	108
4.2.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณหาค่าภาระทำความเย็นของบ้านพักอาศัย พื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบ โปรแกรม DOE2.1E.....	110
4.2.4 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระทำความเย็นของบ้านพัก อาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบ โปรแกรม DOE2.1E.....	112
4.3 การอภิปรายผลการศึกษา.....	116
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	118
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	118
5.2 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย.....	119
บรรณานุกรม.....	120
ประวัติผู้เขียน.....	122

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในสาขาบ้านอยู่อาศัย ปี พ.ศ.2539-2562.....	1
1.2	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย.....	2
1.3	แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย.....	5
2.1	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคครัวเรือน.....	7
2.2	แสดงอุปกรณ์และหลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....	8
2.3	แสดงวงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....	9
2.4	แสดงแหล่งที่มาของความร้อนที่ห้องได้รับ.....	17
2.5	แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น.....	18
2.6	แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF แบบรายชั่วโมง.....	22
2.7	แสดงส่วนประกอบและโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	23
2.8	แสดงตัวอย่างการจำลองโมเดลอาคารด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	25
2.9	แสดงการอธิบายการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากส่วนประกอบและโครงสร้างของโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	26
2.10	แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	26
2.11	แสดงการเปรียบเทียบการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF และโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....	27
2.12	แสดงอาคารกรณีศึกษา.....	28
2.13	แสดงความสัมพันธ์ของอาคารกรณีศึกษาและการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น.....	28
2.14	แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบค่า Heat gain ที่เข้าอาคารผ่านวัสดุประกอบอาคารชนิดต่าง ๆ.....	29
2.15	แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบและปรับเทียบค่า Heat gain ที่เข้าอาคารผ่านวัสดุประกอบอาคารชนิดต่าง ๆ.....	30
2.16	แสดงความสัมพันธ์ของกรอบแนวคิด.....	31
3.1	แสดงผังบ้านพักอาศัยที่ออกแบบจากข้อมูลโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560.....	35
3.2	แสดงผังบ้านพักอาศัยพื้นฐานและตำแหน่งพื้นที่ปรับอากาศ.....	36
3.3	แสดงรูปด้านทิศเหนือและตะวันออกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4	แสดงรูปด้านทิศตะวันออกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....36
3.5	แสดงรูปด้านทิศใต้ของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....37
3.6	แสดงรูปด้านทิศตะวันตกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....37
3.7	แสดงตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E 45
3.8	แสดงตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่า Heat Gain รายชั่วโมงของวัสดุแต่ละชนิดด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....46
3.9	แสดงตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของพื้นที่ปรับอากาศรายเดือนด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E.....47
3.10	แสดงตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของพื้นที่ปรับอากาศรายชั่วโมงด้วยระบบโปรแกรมDOE2.1E.....47
4.1	แสดงตัวอย่างแบบจำลองพื้นที่ปรับอากาศในรูปแบบของ Adiabatic module.....51
4.2	แสดงตารางการแยกกลุ่มผนังด้วยวิธีการคำนวณแบบ CLTD/CLF.....53
4.3	แสดงแผนภูมิการกำหนดการแยกกลุ่มวัสดุผนังสำหรับการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF.....54
4.4	แสดงตารางการแยกกลุ่มหลังคาด้วยวิธีการคำนวณแบบ CLTD/CLF.....63
4.5	แสดงแผนภูมิการกำหนดการแยกกลุ่มวัสดุหลังคาสำหรับการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF.....64
4.6	แสดงตารางกำหนดค่า CLF ด้วยวิธีการคำนวณแบบ CLTD/CLF.....72
4.7	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group A) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....78
4.8	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group B) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....78
4.9	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group C) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....79
4.10	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group D) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....79
4.11	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group E) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group F) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....	80
4.13	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group G) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....	81
4.14	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่กลุ่มต่างๆ รายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....	81
4.15	แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนรวมของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังที่กลุ่มต่าง ๆ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....	82
4.16	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 1) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	86
4.17	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 2) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	86
4.18	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 3) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	87
4.19	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 4) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	87
4.20	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 5) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	88
4.21	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 6) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	88
4.22	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 7) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	89
4.23	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 8) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	89
4.24	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 9) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E	90

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 10) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E90
4.26	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 11) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E91
4.27	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 12) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E91
4.28	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 13) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E92
4.29	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคากลุ่มต่าง ๆ รายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E92
4.30	แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนรวมของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคากลุ่มต่าง ๆ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E...93
4.31	แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain รายชั่วโมง ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E...95
4.32	แสดงวิธีการปรับเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group D) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E97
4.33	แสดงการปรับเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังที่บรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group D) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....99
4.34	แสดงวิธีการปรับเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 3) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....100
4.35	แสดงการปรับเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 3) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....102
4.36	แสดงวิธีการปรับเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุกระจกรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....103
4.37	แสดงการปรับเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจก ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.38	แสดงการจำลองโมเดลอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121.....108
4.39	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนรายชั่วโมงของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 1 (BED 1) ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E111
4.40	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนรายชั่วโมงของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 2 (BED 2) ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E112
4.41	แสดงการเปรียบเทียบผลคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 1 (BED 1) บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E115
4.42	แสดงการเปรียบเทียบผลคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 2 (BED 2) บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของการคำนวณทั้งสองรูปแบบ.....3
2.1	แสดงค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ภายใต้อิทธิพลการพา และการแผ่รังสี.....13
2.2	แสดงค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ภายใต้สภาวะอากาศหยุดนิ่ง.....13
2.3	แสดงค่าการต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร.....14
2.4	แสดงค่าการต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศใต้หลังคา.....15
2.5	แสดงตัวอย่างรายละเอียดกระฉก.....16
2.6	แสดงการกำหนดค่าที่ต้องการเพื่อใช้ในการระบุค่าในระบบโปรแกรม.....25
3.1	แสดงข้อมูลลักษณะของบ้านพักอาศัยพื้นฐานในประเทศไทย.....33
3.2	แสดงข้อมูลวัสดุประกอบอาคาร.....34
3.3	แสดงรายละเอียดและระยะเวลาการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ.....34
3.4	แสดงรายละเอียดและระยะเวลาการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ.....35
3.5	แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดกาญจนบุรี.....38
3.6	แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี.....39
3.7	แสดงค่า CLTD แบ่งตามกลุ่มของผนัง.....40
3.8	แสดงตัวอย่างตารางในการคำนวณค่า CLTDc รายชั่วโมง.....42
3.9	แสดงตัวอย่างตารางในการคำนวณค่า Heat Gain ภายในชั่วโมงปรับอากาศของวัสดุแต่ละชนิด จากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF.....43
3.10	แสดงตัวอย่างตารางในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงด้วยวิธี CLTD/CLF.....44
3.11	แสดงตัวอย่างตารางสำหรับการศึกษาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....48
3.12	แสดงตัวอย่างตารางเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เพื่อลดความคลาดเคลื่อน เปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1	แสดงสรุปข้อมูลวัสดุประกอบอาคาร..... 50
4.2	แสดงรายละเอียดแก้ไขตามเส้นละติจูดและเดืออน (LM) และ สีของผนัง (K).....52
4.3	แสดงรายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft ² .°F) และ น้ำหนักต่อพื้นที่ (lb/ ft ²) ของวัสดุประกอบอาคารของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....52
4.4	แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า CLTDc ของผนัง Group A – Group G ของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย.....55
4.5	แสดงผลการคำนวณค่า heat gain ของวัสดุผนังที่บจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของผนังกลุ่มต่าง ๆ.....62
4.6	แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า CLTDc ของหลังคา Group 1 – Group 13 ของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย.....65
4.7	แสดงผลการคำนวณค่า heat gain ของวัสดุหลังคาจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของหลังคากลุ่มต่าง ๆ.....70
4.8	แสดงรายละเอียดค่า CLF ของกระจก ของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย.....73
4.9	แสดงผลการคำนวณค่า heat gain ของวัสดุกระจกจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF.....73
4.10	แสดงผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....75
4.11	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังกลุ่มต่าง ๆ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....77
4.12	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคากลุ่มต่าง ๆ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....84
4.13	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....94

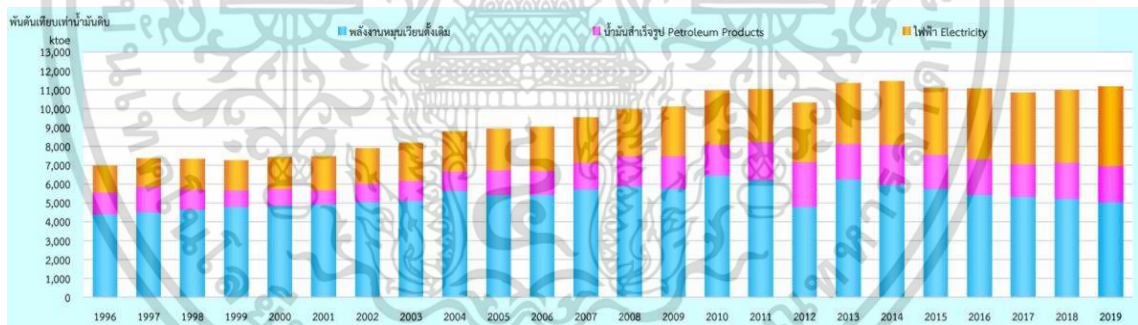
สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14	แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังทึบด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E98
4.15	แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E.....101
4.16	แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E104
4.17	แสดงผลการคำนวณค่าภาระทำความเย็นรายชั่วโมงของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของพื้นที่ปรับอากาศ ห้องนอน 1 (BED 1) และ ห้องนอน 2 (BED 2) ด้วยค่า CLTDc ของกลุ่มผนัง Group D107
4.18	แสดงผลการคำนวณค่าภาระทำความเย็นรายชั่วโมงของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของพื้นที่ปรับอากาศ ห้องนอน 1 (BED 1) และ ห้องนอน 2 (BED 2) ด้วยค่า CLTDc ของกลุ่มผนัง Group F107
4.19	แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของพื้นที่ปรับอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมง ด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E109
4.20	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E110
4.21	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 1 (BED 1) บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E113
4.22	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 2 (BED 2) บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E114

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

จากปัญหาด้านพลังงานที่เกิดขึ้นทั่วโลกในปัจจุบัน ทำให้เกิดนโยบายและมาตรการต่างๆ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมามากมาย ในส่วนของประเทศไทย สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ก็ได้กำหนดนโยบาย แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558 – 2579 (Energy Efficiency Plan ; Eep 2015) มีเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงานในขั้นสุดท้าย ซึ่งเป็นพลังงานเชิงพาณิชย์ เช่น น้ำมันสำเร็จรูป ไฟฟ้า และพลังงานทดแทน ให้ได้ 56,142 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) แต่จากการเก็บสถิติและข้อมูลพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานของภาคครัวเรือนมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังที่แสดงในรูปที่ 1.1



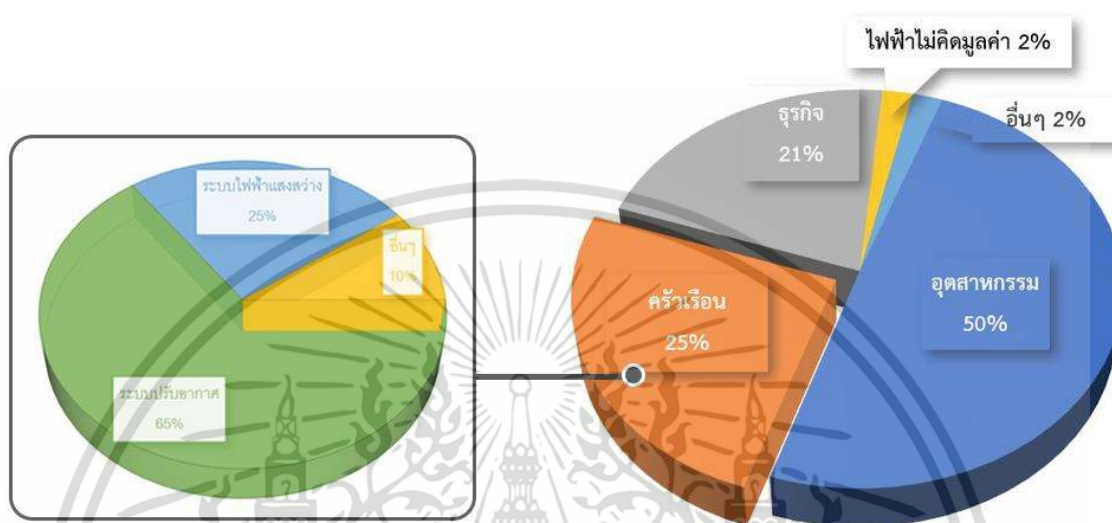
รูปที่ 1.1 แสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในสาขาบ้านอยู่อาศัย ปี พ.ศ.2539-2562

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2562)

จากการรายงานภาพรวมพลังงาน ปี 2564 โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน การใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคครัวเรือนมีอัตราสูงถึงร้อยละ 25 เป็นรองเพียงภาคอุตสาหกรรมที่มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 49 และ จากการสำรวจของศูนย์ประสานงานออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ดังที่แสดงในรูปที่ 1.2 พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทย ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานสูงที่สุด ซึ่งมีค่าสูงถึงประมาณ 40-60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร จึงทำให้เล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของภาคครัวเรือนหรืออาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทย



รูปที่ 1.2 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

ที่มา : ผู้วิจัย

เพื่อตอบสนองต่อนโยบายและมาตรการในการลดการใช้พลังงานในขั้นสุดท้าย การคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่แม่นยำ จะส่งผลถึงการประเมินและการปรับแก้การใช้พลังงานของอาคารอย่างเหมาะสม รวมถึงการประเมินเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการออกแบบ และการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยได้ อีกทั้งยังส่งผลในการเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายในส่วนของระบบปรับอากาศลงได้อีกด้วย

วิธีการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่สถาปนิกหรือวิศวกรเลือกใช้ อาจจะเป็นการคำนวณตามสมการหรือการคำนวณด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการเลือกใช้วิธีการคำนวณรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งนั้นจะประกอบไปด้วยเหตุผลหลากหลายปัจจัย และมีข้อแตกต่างที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ดังที่แสดงในตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของการคำนวณทั้งสองรูปแบบ

	การคำนวณตาม สมการ	การคำนวณโดยการจำลอง ด้วยระบบโปรแกรม
ความสะดวกรวดเร็ว	เร็ว	ช้า
ความง่ายในการทำความเข้าใจวิธีการคำนวณ	ง่าย	ยาก
การปรับเปลี่ยนแก้ไขแบบ	ช้า	เร็ว
ค่าการคำนวณใกล้เคียงความเป็นจริง	น้อย	มาก

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของการคำนวณทั้งสองรูปแบบพบว่า ข้อดีของการคำนวณตามสมการคือมีความสะดวกรวดเร็ว สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย แต่เมื่อมีการปรับเปลี่ยนแก้ไขแบบจะมีการแก้ไขที่ล่าช้าและยุ่งยากกว่าการคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม รวมถึงค่าที่ได้จากการคำนวณยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงน้อยกว่า เนื่องจากการคำนวณตามสมการโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นการคำนวณภายใต้เงื่อนไขสภาพอากาศที่มีการสมมติให้เป็นสภาวะคงตัว (Steady-state Condition) ซึ่งเป็นการคำนวณภายใต้เงื่อนไขสภาวะสภาพอากาศแบบเดียว แต่ในความเป็นจริงแล้ว ค่าต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะสภาพแวดล้อมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient Condition) จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเทียบกันแล้ว ระบบโปรแกรมที่ใช้พื้นฐานสภาวะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมและเวลา (Transient Condition) จะสามารถคำนวณและปรับแต่ง (Calibrate) จนกระทั่งผลลัพธ์การคำนวณที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงมากกว่า

ดังนั้นการศึกษาถึงค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นตามสมการด้วยวิธี CLTD/CLF ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณตามสมการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เปรียบเทียบกับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE 2.1E ซึ่งเป็นระบบโปรแกรมประสิทธิภาพสูง ที่ถูกใช้สำหรับทั้งการศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์ และการทดสอบมาตรฐานพลังงานของอาคารในสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก อีกทั้งได้รับการยอมรับในการคำนวณตามมาตรฐานในระดับสากล เช่น ASHRAE LEED เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และ ระดับความเชื่อมั่นของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทยด้วยวิธี CLTD/CLF จึงเป็นที่มาของ “การศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E”

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบถึงค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E เพื่อนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยการคำนวณตามสมการ (วิธี CLTD/CLF)

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

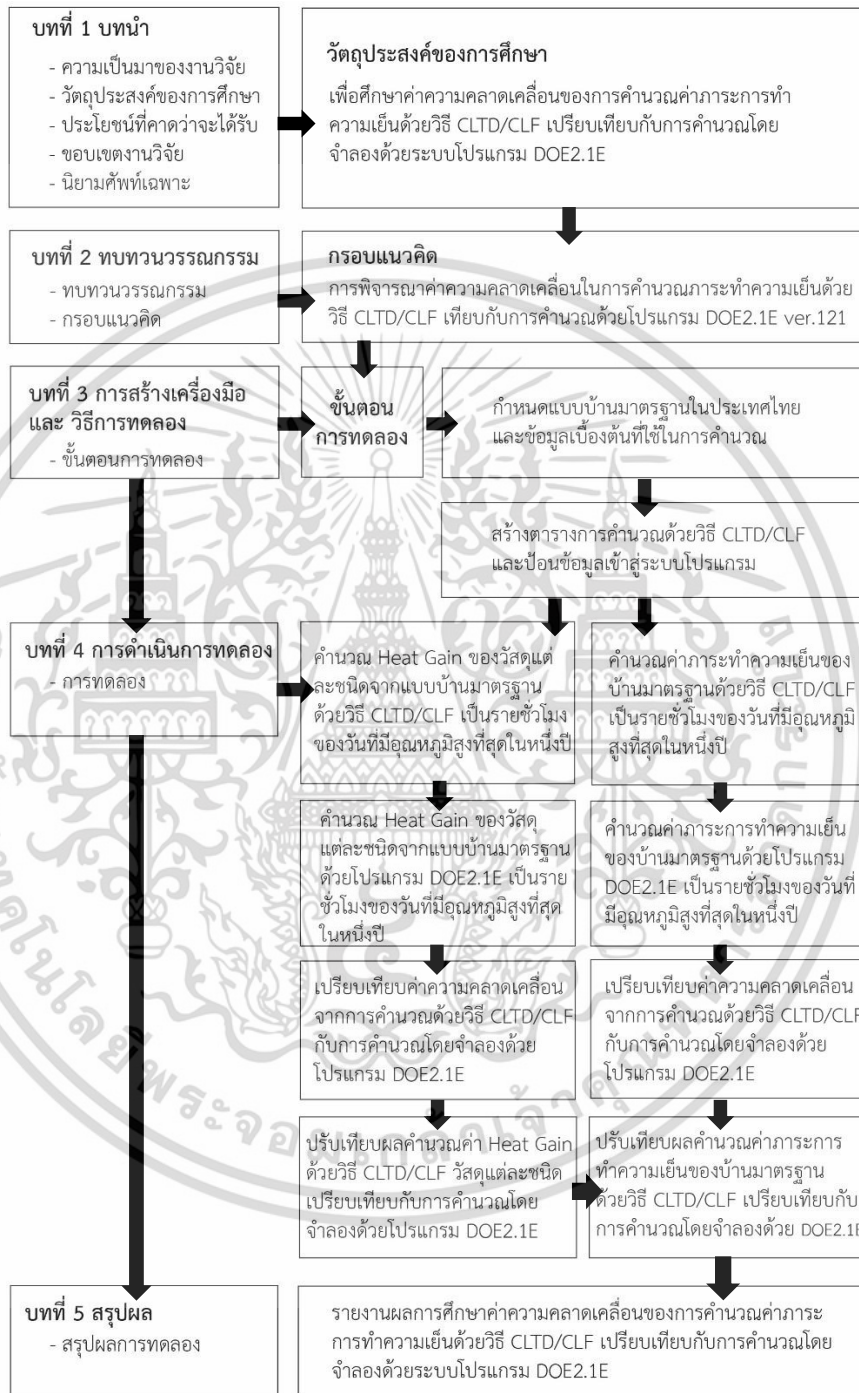
- 1.4.1 กำหนดให้การศึกษาที่ทดสอบในสภาพภูมิอากาศจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทยเท่านั้น
- 1.4.2 ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลเพื่อเป็นแนวทางในการลดค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นในอาคารที่อยู่อาศัยเท่านั้น
- 1.4.3 ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างเป็นอาคารในการวิจัยเป็นข้อมูลจริงจากการสำรวจ โดยผลการสำรวจตามโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และการสำรวจตามโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 ค่าภาระการทำความเย็น หมายถึง ค่าความร้อนต่างๆ ที่ผ่านเข้าสู่บริเวณที่ต้องการปรับอากาศ รวมถึงความร้อนที่เกิดขึ้นภายในบริเวณนั้นด้วย ซึ่งระบบทำความเย็นต้องกำจัดความร้อนนี้ออกไปเพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในห้องที่ต้องการ

1.5.2 อาคารที่อยู่อาศัย หมายถึง อาคารซึ่งโดยปกติบุคคลใช้อยู่อาศัยได้ทั้งกลางวันและกลางคืน ไม่ว่าจะถาวรหรือชั่วคราว

1.6 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.3 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาหัวข้อ การศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E มีการดำเนินการดังนี้

1. กำหนดแบบบ้านมาตรฐานในประเทศไทยและข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น จากการสำรวจของโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และการสำรวจตามโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อเป็นอาคารตัวอย่างในการศึกษา โดยมีตัวแปรที่ใช้ทำการศึกษา ดังนี้

ตัวแปรต้น ได้แก่ วิธีการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF และ วิธีการคำนวณค่าภาระความเย็นด้วยโปรแกรม DEO2.1E ver.121

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณ คือ สถานที่ตั้งอาคาร สภาพภูมิอากาศ และ รายละเอียดของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าภาระการทำความเย็น

2. สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ตารางการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF และ โปรแกรม DOE2.1E ver.121

3. ดำเนินการทดลอง โดยการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1). การคำนวณค่าความร้อนที่เข้ามาในอาคารโดยการถ่ายเทผ่านวัสดุกรอบอาคารที่กำหนดในแบบบ้านมาตรฐานแต่ละชนิด

2). การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านมาตรฐานเป็นรายชั่วโมงใน 1 วันที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดในรอบปี

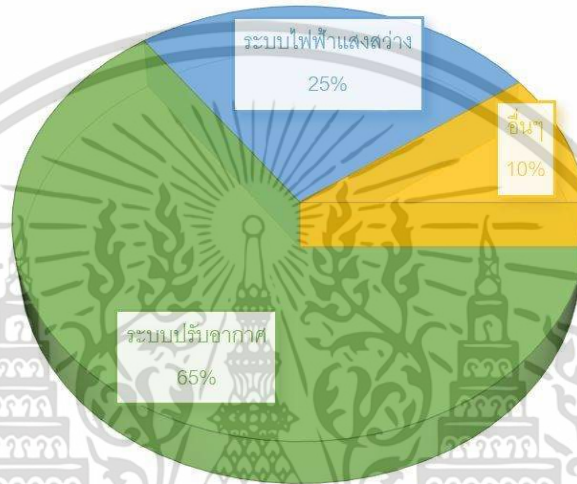
ซึ่งการทดลองแต่ละส่วนจะถูกคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF และ โปรแกรม DOE2.1E ver.121 เพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF

4. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูล โดยการพิจารณาจากกราฟข้อมูล และ การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณทั้งสองรูปแบบ

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิด

2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคครัวเรือนในประเทศไทย



รูปที่ 2.1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคครัวเรือน

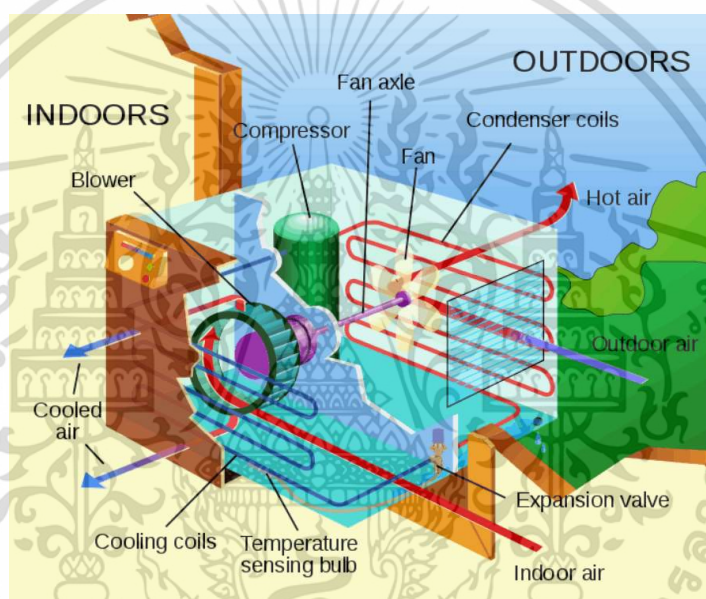
ที่มา : ผู้วิจัย

จากการสำรวจของศูนย์ประสานงานออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่า สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคครัวเรือนหรืออาคารที่อยู่อาศัยของประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้ในระบบปรับอากาศสูงถึง 40-60 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการที่โลกมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากภาวะเรือนกระจก ทำให้ครัวเรือนต้องพึ่งพาเครื่องปรับอากาศเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายขึ้น ดังนั้น สาเหตุของการที่สัดส่วนการใช้พลังงานในส่วน of ระบบปรับอากาศมีสัดส่วนที่สูง นอกจากเพราะการที่เครื่องปรับอากาศจะมีการใช้งานที่สูงขึ้นแล้ว อุณหภูมิภายนอกที่เพิ่มสูงขึ้นก็ยังส่งผลต่อภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศต้องแบกรับอีกด้วย

2.2 เครื่องปรับอากาศ

2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner) มีหลักการทำงาน โดยใช้สารทำความเย็นหรือน้ำยาแอร์เป็นตัวกลางในการดูดซับความร้อนภายในห้อง แล้วส่งความร้อนออกไปนอกห้อง โดยอาศัยกระบวนการเปลี่ยนสถานะสารทำความเย็น (น้ำยา) ให้เป็นไอ (ก๊าซ) เพื่อการดูดซับความร้อนภายในห้อง และเปลี่ยนสถานะกลับเข้าสู่ของเหลว เพื่อคายความร้อนออกไปยังภายนอก



รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์และหลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ที่มา : <https://www.wechillmart.com/blog/air-conditioning-system-work/>

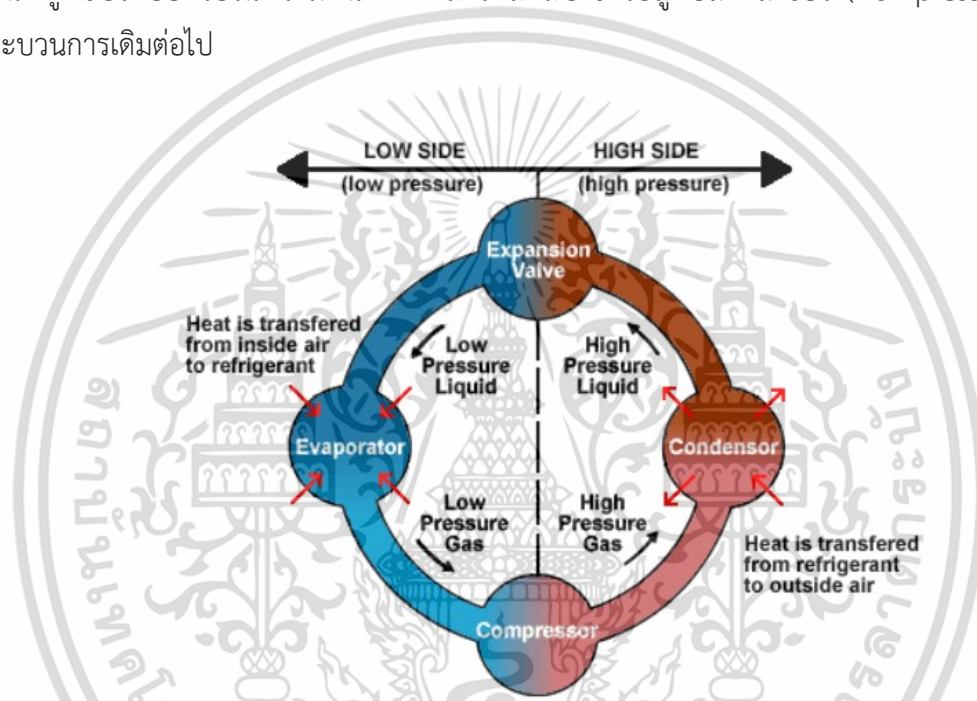
โดยเครื่องปรับอากาศมีส่วนประกอบ ดังนี้

1. คอมเพรสเซอร์ (Compressor) เป็นเครื่องขับเคลื่อนสารทำความเย็น (น้ำยาแอร์) และอัดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและแรงดัน และทำการส่งไปยังคอนเดนเซอร์ (Condenser) หรือ คอยล์ร้อน
2. คอนเดนเซอร์ (Condenser) หรือ คอยล์ร้อน คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการให้สารทำความเย็นระบายความร้อน เป็นที่ที่สารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลว โดยสารทำความเย็นที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิลดลง แต่ความดันยังคงเดิม และจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็น (Expansion Valve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็น (Expansion Valve) เมื่อสารทำความเย็นถูกส่งมา อุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็นจะทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็น และ ความดันลดลง แล้วไหลเข้าไปสู่อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator)

4. อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) หรือ คอยล์เย็น คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความเย็น เป็นที่ที่สารทำความเย็นระเหย โดยเมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านจะมีพัดลมคอยเป่า เพื่อให้เกิดการดูดซับความร้อนภายในห้อง ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องลดลง โดยสารทำความเย็นหรือน้ำที่ไหลผ่านไปในนั้นจะพาความร้อนที่ดูดซับได้ออกไปในความดันคงที่ และไหลกลับเข้าไปสู่คอมเพรสเซอร์ (Compressor) เพื่อเริ่มกระบวนการเดิมต่อไป



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ที่มา : <https://www.wechilmart.com/blog/air-conditioning-system-work/>

2.2.2 หน่วยความร้อนของเครื่องปรับอากาศ

BTU (British Thermal Unit) เป็นหน่วยความร้อน ที่ใช้วัดปริมาณความร้อนที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็น และ เครื่องปรับอากาศ โดย 1 BTU คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 ปอนด์ (0.45 กิโลกรัม) มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 °F และ

หน่วยที่นิยมใช้สำหรับหาปริมาณความร้อนของระบบเครื่องทำความเย็น และ เครื่องปรับอากาศ อีกหน่วย คือ ตัน (TON) โดย 1 ตันความเย็น หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการละลายน้ำแข็ง 1 ตัน (2000 ปอนด์) ในเวลา 24 ชม. หรือ เท่ากับ 12000 BTU/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER)

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER : Energy Efficiency Ratio) คือ ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็น (BTU/h.)/W เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER สูงแสดงว่า เครื่องปรับอากาศนั้นมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่ดียิ่งขึ้น โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการต่อไปนี้

$$\text{EER} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{BTU/h.}}{\text{กำลังไฟฟ้า (W)}}$$

เมื่อ Output = ความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ มีหน่วยคือ BTU/h.

Input = กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้ในการทำความเย็น มีหน่วยคือ Watt

เช่น เครื่องปรับอากาศขนาด 12000 BTU ใช้กำลังไฟฟ้าจากคอมเพรสเซอร์ทำงาน 1200 W แสดงว่าเครื่องปรับอากาศนี้มีค่า $\text{EER} = 12000/1200 = 10 \text{ (BTU/h.)/W}$

2.3 ความร้อน

2.3.1 ประเภทของความร้อน

ลักษณะของความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป แต่สถานะยังคงเดิม ในการคำนวณภาระการทำความเย็นจะหมายถึงความร้อนที่มาจากการนำและการพาความร้อน ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในพื้นที่ปรับอากาศทันที

2. ความร้อนแฝง (Latent Heat) คือ ปริมาณความร้อนที่ระบบปรับอากาศได้รับจากไอน้ำในพื้นที่ปรับอากาศ โดยภาระการทำความเย็นจากความร้อนแฝงถือเป็นความสูญเสียของระบบปรับอากาศ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศรับภาระนี้ไปโดยที่ไม่มีผลให้อุณหภูมิภายในพื้นที่ปรับอากาศลดลงแต่อย่างใด

2.3.2 วิธีการถ่ายเทความร้อน

ประเทศเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ภูมิอากาศของประเทศไทยมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น ส่งผลให้ปัญหาที่พบมากที่สุดสำหรับการสร้างอาคารในประเทศไทยคือการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อน โดยเกิดขึ้นได้ 3 วิธี ได้แก่

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยความร้อนจะเคลื่อนที่ไปตามเนื้อของวัตถุจากตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดย

มีวัตถุที่ไม่เคลื่อนที่เป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน เช่น การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพง เป็นต้น

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ในสสารสองสถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยมีทิศทางในแนวตั้งซึ่งเกิดจากความหนาแน่นหรืออุณหภูมิที่ต่างกัน

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทาง ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) จากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปกว่าไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานดังเช่นการนำความร้อนและการพาความร้อน เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนผ่านสุญญากาศมายังโลก เป็นต้น โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) คลื่นช่วงยาว (Long Wave) คือ แสงสว่างที่ทำให้มนุษย์มองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้ เมื่อส่องผ่านบรรยากาศจะทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น

2) คลื่นช่วงสั้น (Short Wave) คือ รังสีความร้อน (Heat Radiation) เป็นคลื่นรังสีที่ไม่ให้แสงสว่าง และ ไม่ทำให้อากาศโดยรอบมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่จะทำให้วัตถุที่โดยตกกระทบมีอุณหภูมิสูงขึ้น

2.3.3 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

1. ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (Thermal Heat Capacity, C) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลของวัตถุทั้งก้อนมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 หน่วยองศา โดยมีหน่วยในระบบ S.I. คือ J/K และในระบบ c.g.s. คือ Cal/°C เช่น ผนังที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านผนังเป็นไปในอัตราช้าลง

2. ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity, k) ค่าคงที่เฉพาะตัวของวัสดุต่าง ๆ ที่บ่งบอกความสามารถในการยอมให้ความร้อนไหลผ่านตัวเอง

3. ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (Thermal Resistance, R) คือ ค่าที่บ่งบอกความสามารถของวัสดุในการยับยั้งการถ่ายเทความร้อน โดยขึ้นอยู่กับความหนา และ ค่า k ของวัสดุนั้นๆ

4. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient, U) คือ ปริมาณความร้อนที่ผ่านทะลุต่อหน่วยพื้นที่ของวัสดุ ภายใต้สภาวะปริมาณความร้อนคงที่ ในหนึ่งหน่วยเวลา ต่อหน่วยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของอากาศ โดยมีค่าขึ้นอยู่กับความหนา และ ค่า k ของวัสดุนั้นๆ

5. อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductance, c) มีหน่วยคือ W/m²°C หรือ BTU/ft²°F เช่นเดียวกับ U-value โดยมีความแตกต่างกันที่ ค่า c เป็นค่าแสดงอัตราไหลของความร้อนจากผิวหนึ่งของวัตถุผ่านเนื้อวัตถุไปยังผิวอีกด้านหนึ่ง เป็นค่าความต่างของอุณหภูมิที่ผิวทั้งสองด้าน

ของวัตถุ เป็นการวัดปริมาณความร้อนจากอากาศด้านหนึ่งขององค์ประกอบอาคาร ผ่านทะลุองค์ประกอบอาคารดังกล่าวไปยังอากาศอีกด้านหนึ่ง ดังนั้นชั้นอากาศบางๆที่เคลือบผิวนอกทั้งสองด้านขององค์ประกอบอาคารจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนขององค์ประกอบอาคารนั้นๆ ด้วย

6. การแผ่รังสีความร้อน

1) Black body คือ วัตถุที่ดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบตัวมันทั้งหมด ไม่มีการทะลุผ่านและไม่มีการสะท้อน ซึ่งสามารถใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบค่าการเปล่งความร้อนของวัตถุทั่วไปได้

2) การเปล่งความร้อน (Thermal Emittance, e) คือ การวัดความสามารถของวัตถุในการปล่อยพลังงานอินฟราเรด พลังงานที่ปล่อยออกมาแสดงถึงอุณหภูมิของวัตถุ Emissivity สามารถมีค่าจาก 0 (เงากระจก) ถึง 1.0 (blackbody) วัสดุก่อสร้างโดยทั่วไป เช่น ไม้ กระเบื้อง เป็นต้น มีค่าการเปล่งความร้อน เท่ากับ 0.90 ซึ่งหมายความว่า วัสดุก่อสร้างโดยทั่วไปมีการเปล่งความร้อนออกมา 90% ของปริมาณความร้อนที่เปล่งออกมาจาก blackbody ในอุณหภูมิเดียวกัน

3) การสะท้อนความร้อน (Reflectivity) คือ ค่าความสามารถของวัสดุที่จะสามารถสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์ออกไป เทียบกับปริมาณรังสีความร้อนทั้งหมดที่ตกกระทบผิววัตถุนั้นๆ เช่น ค่าการสะท้อน เท่ากับ 0.90 หมายความว่า วัสดุนั้นสามารถสะท้อนความร้อนได้ 90% ของปริมาณความร้อนทั้งหมดที่พื้นผิววัตถุได้รับ โดยในส่วนของวัสดุก่อสร้างทั่วไปจะมีค่าการสะท้อนความร้อนอยู่ที่ 0.10 ซึ่งเมื่อนำค่าการสะท้อนความร้อนรวมกับค่าเปล่งความร้อนจะมีค่า เท่ากับ 1 เสมอ

2.3.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มอากาศที่ผิววัตถุ

การถ่ายเทความร้อนจากอากาศสู่ผิววัตถุ หรือ จากผิววัตถุสู่อากาศ จะถูกกั้นด้วยชั้นอากาศบางๆ หรือที่เรียกว่าฟิล์มอากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการไหลผ่านของความร้อน ดังนั้นในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ของอาคาร เพื่อการคำนวณที่มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด จึงจะต้องมีการคำนวณในส่วนของฟิล์มอากาศภายนอกและภายในด้วย โดยแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกด้วย h_o และ แทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มอากาศภายในด้วย h_i ซึ่งมีหน่วยเป็น W/m^2C หรือ BTU/ft^2F

ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า h_o และ h_i ได้แก่ การเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกอาคาร ซึ่งมีผลต่อ h_o นอกจากนี้ในด้านการแผ่รังสียังขึ้นอยู่กับค่าการเปล่งความร้อนของวัตถุ (Thermal Emittance, e) ที่ผิวชั้นนอกขององค์ประกอบอาคาร ค่าการเปล่งความร้อนนี้จะมีผลต่อทั้งค่า h_o และ h_i โดยทั่วไปในทางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุนี้ จะมาในรูปแบบของค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R) ซึ่งมีค่าผกผันกับ h_o และ h_i ดังสมการ

$R_o = 1/h_o$ โดย R_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอก

$R_i = 1/h_i$ โดย R_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน

โดยค่า R_o และ R_i จะเปลี่ยนไปตามสภาวะนาบของผิววัตถุ และทิศทางการไหลของอากาศ ร้อน ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ภายใต้อิทธิพลการพา และการแผ่รังสี

ฟิล์มอากาศที่ผิว	ระนาบแนวนอน ($m^2\text{C/W}$)	เอียง 22.5 องศา ($m^2\text{C/W}$)	ระนาบแนวตั้ง ($m^2\text{C/W}$)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก (R_o)			
- ความเร็วลม 3.35 M/S	0.044	0.044	0.044
- ความเร็วลม 6.70 M/S	0.030	0.030	0.030
2. ฟิล์มอากาศภายใน (R_i)			
- วัสดุทั่วไป ($e = 0.9$)	0.162	0.148	0.12
- เหล็กแผ่นใหม่ ($e = 0.2$)	0.475	0.384	0.238
- แผ่น foil ($e = 0.05$)	0.801	0.595	0.299

ที่มา : แนวทางวิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการรับอากาศ กรณีศึกษา : อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย โอม ปนาทกุล (2547)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ภายใต้สภาวะอากาศหยุดนิ่ง

สภาพชั้นอากาศที่ผิว	ทิศทางการไหลของ ความร้อน	ค่าการเปลี่ยนความร้อน		
		0.9	0.2	0.05
แนวนอน	ลง	0.162	0.475	0.801
เอียง 22.5 องศา	ลง	0.148	0.384	0.595
เอียง 45 องศา	ลง	0.134	0.294	0.391
แนวตั้ง	แนวนอน	0.12	0.238	0.299
เอียง 45 องศา	ขึ้น	0.109	0.201	0.241
เอียง 22.5 องศา	ขึ้น	0.109	0.197	0.236
แนวนอน	ขึ้น	0.107	0.194	0.232

ที่มา : แนวทางวิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการรับอากาศ กรณีศึกษา : อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย โอม ปนาทกุล (2547)

2.3.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างอากาศ

ในส่วนขององค์ประกอบของผนังบางครั้งไม่ได้ก่อสร้างขึ้นมาเป็นผนังทึบเพียงชั้นเดียว แต่อาจจะประกอบด้วยผนังงซ้อนกันหลายชั้น ซึ่งถูกกั้นด้วยช่องว่างอากาศ ซึ่งส่งผลต่อการไหลผ่านของความร้อน ซึ่งค่าการต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคารนั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านในช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศตามความหนาของช่องว่างอากาศ ($m^2 \cdot C/W$)		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
พื้นผิวผนังมีค่าการเปล่งความร้อนสูง	0.110	0.148	0.160
พื้นผิวผนังมีค่าการเปล่งความร้อนต่ำ	0.250	0.578	0.606

ที่มา : หลักเกณฑ์การออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร, กระทรวงพลังงาน (2552)

ค่าสัมประสิทธิ์การเปล่งความร้อนต่ำใช้กับกรณีที่ผิวด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านในช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนแสง เช่น กรณีที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียมในช่องว่างอากาศ เป็นต้น สำหรับกรณีทั่วไปให้ถือว่าพื้นผิวผนังด้านในช่องว่างอากาศมีสัมประสิทธิ์การเปล่งความร้อนสูง

สำหรับสภาพการต้านทานความร้อนของช่องอากาศใต้หลังคา ต่างไปจากที่เกิดในชั้นอากาศของผนัง ซึ่งแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

1. ช่องอากาศใต้หลังคามักจะมีการระบายอากาศ
2. ช่องอากาศไม่ได้ถูกปิดด้วยผิวที่ขนานเสมอกัน 2 ด้าน เสมอไป แต่อาจมีรูปทรงอื่น ๆ เช่น รูปทรงสามเหลี่ยม เป็นต้น

โดย ASHRAE ได้กำหนดค่าการต้านทานความร้อนของอากาศใต้หลังคา จากผลการทดลองของ F.A. Joy ศาสตราจารย์ที่มหาวิทยาลัยแห่งรัฐเพนซิลวาเนีย (Pennsylvania State University) และรายงานหมายเลข R2 เรื่อง “Thermal Conductivities of Building Materials” ของ J.R. Bamed ไว้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าการต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศใต้หลังคา

ช่องอากาศใต้หลังคา	ค่าการต้านทานความร้อน (m^2C/W)	
	(ฤดูร้อน) อากาศไหลลง	(ฤดูหนาว) อากาศไหลขึ้น
ไม่มีฉนวนสะท้อนความร้อน		
ไม่มีระบายอากาศ	0.282	0.176
ระบายอากาศธรรมชาติ	0.458	-
มีฉนวนสะท้อนความร้อน		
ไม่มีระบายอากาศ	1.092	0.564
ระบายอากาศธรรมชาติ	1.356	0.335

ที่มา : แนวทางวิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการรับอากาศ กรณีศึกษา : อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย โอม ปนาทกุล (2547)

2.3.6 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

2.3.6.1 Solar Heat Gain Factor (SHGF)

อ้างอิงจาก ASHRAE เพื่อให้มีตัวกลางในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการรับรังสีดวงอาทิตย์ของกระจก ASHREA ได้เลือกกระจกใน หน้า 3 มม. ซึ่งเป็นกระจกที่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านมากที่สุดมาทำการทดลอง เพื่อวัดหาค่าสัดส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใสนี้เข้าไป ค่าความร้อนที่ผ่านกระจกมาตรฐานเข้าไป เรียกว่า Solar Heat Gain Factor (SHGF) เมื่อเอาปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกอื่นมาเทียบกับ Solar Heat Gain Factor (SHGF) จะได้ค่าที่เรียกว่า Shading Coefficient (SC) หรือสัมประสิทธิ์การบังแสง

จากการทดสอบของ ASHRAE ผลปรากฏว่ากระจกมาตรฐานมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. สามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้ 8% ของปริมาณรังสีความร้อนที่รับ
2. สามารถดูดกลืนรังสีความร้อนได้ 5% ของปริมาณรังสีความร้อนที่รับ
3. ยอมให้รังสีทะลุผ่านได้ 87% ของปริมาณรังสีความร้อนที่รับ

นอกจากนี้ ASHRAE ยังได้ทำการทดสอบต่อไปเพื่อหาค่า Solar Heat Gain Factor (SHGF) ที่แท้จริง ซึ่งประกอบด้วยปริมาณรังสีความร้อนผ่านทะลุ คือ 87% ของรังสีความร้อนที่ห้องได้รับร่วมกับบางส่วนของรังสีความร้อนที่กระจกดูดกลืนไว้ซึ่งจะส่งถ่ายเข้าไปยังด้านในและออกไปด้านนอกของกระจกพร้อมๆ กัน ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าไปจากส่วนของการดูดกลืนนี้ ASHRAE ใช้ Standard Calculation Method ในการคำนวณ ซึ่งตั้งข้อสมมุติฐานที่ความเร็วลมกระจกภายนอกมีค่า เท่ากับ

3.35 m/s ทำให้เกิดค่าการต้านทานความร้อนที่ผิวด้านนอกกระจก เท่ากับ 0.44 Hru. และด้านในกระจก เป็นอากาศหยุดนิ่ง ซึ่งทำให้ค่าต้านทานความร้อนของชั้นอากาศผิวด้านในมีค่า 0.120 Hru. จาก สมมุติฐานนี้ ปริมาณความร้อนที่ถูกดูดกลืนในเนื้อกระจก จะถ่ายเทออกสู่อากาศด้านนอก 73% โดย ถ่ายเทเข้าอากาศด้านในกระจก 27% ของ 5% ที่ปริมาณความร้อนที่กระจกได้ดูดกลืนไว้ เท่ากับ 1.35% ของปริมาณความร้อนที่กระจกได้รับ รวมกับค่ารังสีความร้อนทะลุกระจกอีก 87% จะได้ค่าความร้อนจาก ดวงอาทิตย์ผ่านกระจกใส หนา 3 มม.ซึ่งใช้เป็น Solar Heat Gain Factor (SHGF) เท่ากับ 88.35% ของ รังสีความร้อนที่กระจกได้รับ ใช้เป็นตัวเลขเต็ม คือ 88%

2.3.6.2 Shading Coefficient (SC)

Shading Coefficient (SC) หรือ สัมประสิทธิ์การบังแสงของกระจก ASHRAE ใช้กระจก ใสหนา 3 มม. เป็นกระจกมาตรฐาน โดยตั้งสมมุติฐานว่าเป็นกระจกใช้งานในอาคารที่ยอมให้รังสีความร้อนผ่านมากที่สุด เปรียบบาง และ โปร่งแสง ดังนั้น ค่านี้จึงเป็นฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกประเภทต่างๆ ว่ามีสัดส่วนมากน้อยเพียงใด เมื่อเทียบกับค่าปริมาณความร้อนที่ผ่าน กระจกมาตรฐาน โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$SC = \frac{\text{Solar Heat Gain ที่ทะลุผ่านกระจก}}{\text{Solar Heat Gain Factor}}$$

หรือ $SC = \frac{(t + 27\% a) \text{ ของกระจก}}{0.8835}$

โดยสามารถยกตัวอย่างตารางแสดงค่า Solar optical properties และ SC ของกระจก เพื่อการหาค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกได้ดังตารางที่ 2.5

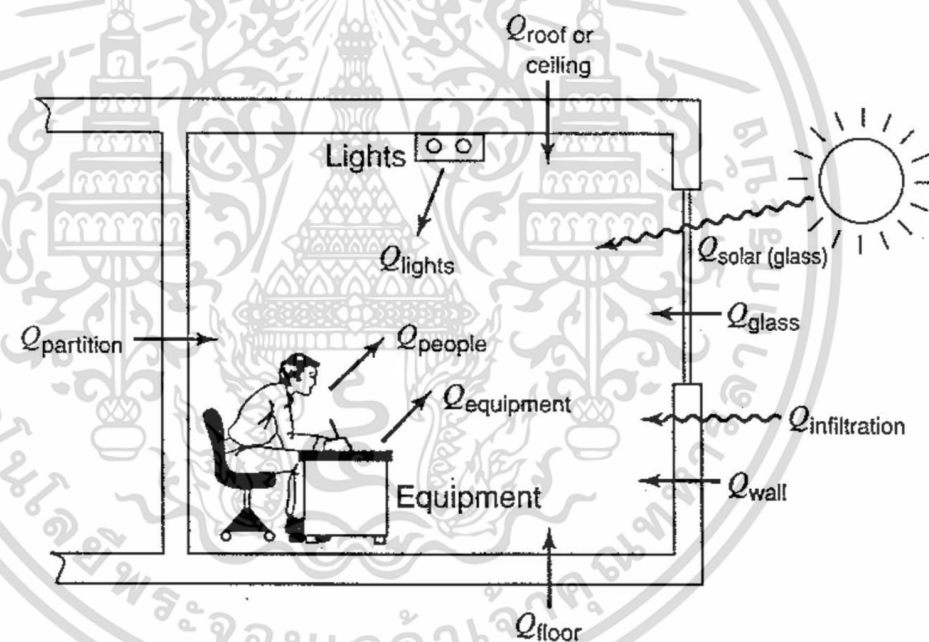
ตารางที่ 2.5 แสดงตัวอย่างรายละเอียดกระจก

ชนิดกระจก	Clear Float		
	3	5	8
Thickness (mm.)	3	5	8
Transmittance, t	0.90	0.89	0.87
Reflectance, r	0.08	0.08	0.08
Absorbance, a	0.08	0.08	0.08
SHGC	0.87	0.83	0.80
SC	0.99	0.96	0.91
U-value (W/m ² °C)	5.89	5.83	5.74

2.3.7 แหล่งที่มาของความร้อนที่ห้องได้รับ

ความร้อนที่ห้องได้รับ (Space Heat Gain) หมายถึง ความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ หรือ เกิดขึ้นในพื้นที่ปรับอากาศ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 คือ

1. ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคาร ได้แก่ ผนังภายนอก และ หลังคา (Conduction through Exterior Structure)
2. ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar Radiation through Glass)
3. ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ ได้แก่ ความร้อนจากไฟ (Lighting) ความร้อนจากอุปกรณ์ (Equipment and Appliances) และ ความร้อนจากผู้ใช้งานพื้นที่ (People)
4. ความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดต่างๆ และการระบายอากาศ (Ventilation and Infiltration Air)



รูปที่ 2.4 แสดงแหล่งที่มาของความร้อนที่ห้องได้รับ

ที่มา : Air-Conditioning Principles and Systems

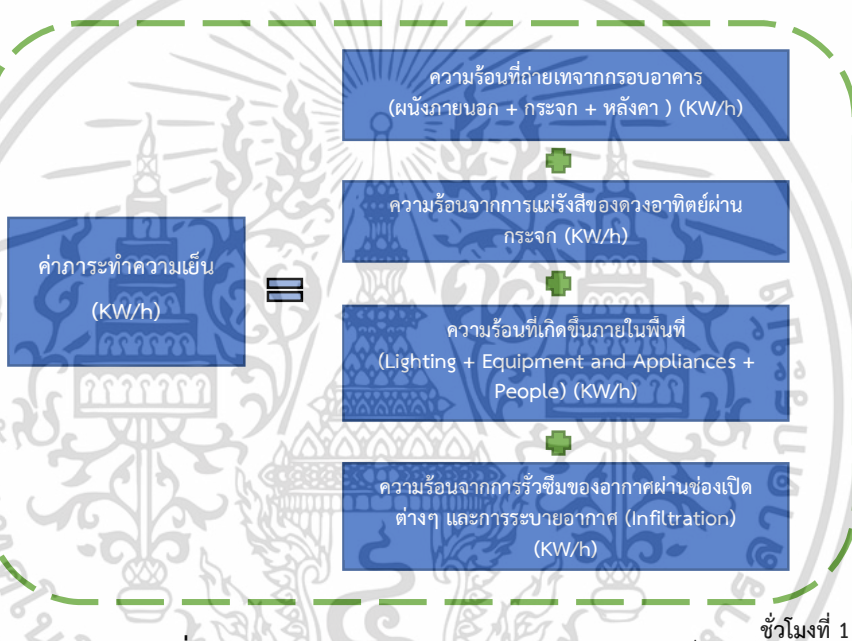
ความร้อนจากแหล่งที่ 1 และ 2 เป็นความร้อนที่มาจากภายนอกผ่านการนำและการพาความร้อน ซึ่งจัดเป็นประเภทความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ความร้อนจากแหล่งที่ 3 เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ ซึ่งความร้อนจากแหล่งที่ 3 และ 4 เป็นทั้งแหล่งความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และ ความร้อนแฝง (Latent Heat) ที่สามารถทำให้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสูงขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 ภาระการทำความเย็น

ภาระทำความเย็น หมายถึง ค่าความร้อนต่างๆ ที่เกิดขึ้น ทั้งจากภายในพื้นที่ปรับอากาศ และความชื้นจากภายนอกที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งเป็นภาระที่ระบบทำความเย็นมีหน้าที่ต้องกำจัด ความร้อนเหล่านี้ออกไป เพื่อให้ได้ระดับอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องปรับอากาศที่ต้องการ

จากรูปที่ 2.4 สามารถหาค่าภาระในการทำความเย็นของห้องได้โดย การหาความร้อนสุทธิที่ห้อง ได้รับ จากผลบวกของความร้อนจากแหล่งต่าง ๆ ที่เวลาใดๆ ได้ ณ เวลาที่ห้องมีภาระทำความเย็นสูงสุดก็ จะเป็นตัวกำหนดการเลือกเครื่องปรับอากาศ ที่สามารถรักษาอุณหภูมิและความชื้นของพื้นที่ปรับอากาศ



รูปที่ 2.5 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น
ที่มา : ผู้วิจัย

2.4 การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

วิธี CLTD/CLF เป็นวิธีที่มีการเผยแพร่อย่างเป็นทางการเมื่อ ASHRAE ได้จัดพิมพ์เอกสาร Cooling and Heating Load Calculation Manual (ASHRAE GRP 158) ในปี ค.ศ.1979 ซึ่งเป็นวิธีที่มีข้อดีคือสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ (Manual Calculation Method) และองค์ประกอบในส่วนต่างๆ ของภาระความร้อนรวมสามารถแยกออกเป็นส่วนย่อย ๆ ที่สามารถแยกคำนวณและเข้าใจได้ง่าย รวมถึงวิธีการนี้ยังคงเป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศไทยอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เป็นไปตามวิธีการคำนวณค่าภาระทำความเย็นพื้นฐานซึ่งประกอบด้วยผลบวกของความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารภายนอก (Conduction through Exterior Structure) ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar Radiation through Glass) ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ และ ความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดต่างๆ และการระบายอากาศ (Ventilation and Infiltration Air)

การหาค่า CLTD สามารถหาได้จากตารางที่กำหนดโดย ASHRAE ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่ว่า อุณหภูมิภายในเท่ากับ 78 °F (25.5 °C) อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 85 °F (29.4 °C) และอยู่ที่ละติจูด 40N แต่ถ้าหากมีการแก้ไขในส่วนสภาวะออกแบบที่ต่างไปต้องแก้ไขตามเส้นละติจูดและเดือน (LM) และ สีของผนัง (K) รวมทั้งแก้ไขอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (t_o) และอุณหภูมิภายในห้อง (t_r) ตามที่เป็นจริง โดยแก้ไขจากสมการ (1)

$$CLTD_c = (CLTD + LM) \times K + (78 - t_r) + (t_o - 85) \quad (1)$$

เมื่อ $CLTD_c$ = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาระการทำความเย็น (°F)

CLTD = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาระการทำความเย็นที่กำหนดโดย ASHRAE (°F)

LM = ปรับค่าละติจูดและเดือน

K = ปรับค่าสีพื้นผิว

t_r = อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ย (°F)

t_o = อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (°F)

2.4.1 ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารภายนอก (Conduction through Exterior Structure)

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านนอก หลังคา และ กระจกได้จากสมการ (2)

$$Q_c = U \times A \times (CLTD) \quad (2)$$

เมื่อ Q_c = ค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนผ่านผนังทึบ หลังคา/ค่าภาระการนำความร้อนผ่านกระจก (BTU/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุ (BTU/ft². °F)

A = พื้นที่ที่ส่งผ่านความร้อน (ft²)

CLTD = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาระการทำความเย็น (°F)

โดยในส่วนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar Radiation through Glass) สามารถหาได้จากสมการ (3)

$$Q_s = A \times SC \times SHGF \times CLF \quad (3)$$

เมื่อ A = พื้นที่ที่ส่งผ่านความร้อน (ft^2)

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาภายนอก (Shading Coefficient)

$SHGF$ = ค่าสูงสุดของภาระการทำความเย็นจากแสงอาทิตย์ในแต่ละละติจูด/เดือน/ภูมิภาค (BTU/h. ft^2)

CLF = ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาภายใน (Cooling Load Factor)

และการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา/ฝ้า/พื้น สามารถหาได้จากสมการ (4)

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (4)$$

เมื่อ Q = ค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนผ่านหลังคา/ฝ้า/พื้น (BTU/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุ (BTU/ $\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$)

A = พื้นที่ที่ส่งผ่านความร้อน (ft^2)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน ($^\circ\text{F}$)

2.4.2 การถ่ายเทความร้อนจากภายใน

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ ได้แก่ ความร้อนจากไฟ (Lighting) ความร้อนจากอุปกรณ์ (Equipment and Appliances) และ ความร้อนจากผู้ใช้งานพื้นที่ (People) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (5) – (8)

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting) สามารถหาได้จากสมการ (5)

$$Q = \text{INPUT} \times \text{CLF} \quad (5)$$

เมื่อ Q = ค่าภาระการทำความเย็นจากการถ่ายเทความร้อนจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (BTU/h)

$\text{INPUT} = 3.41 \times \text{จำนวนหลอดต่อโคม} \times \text{จำนวนโคม} \times \text{วัตต์ไฟฟ้าของหลอดไฟ}$

$\text{CLF} = \text{ค่าภาระการทำความเย็นจากแสงสว่างต่อชั่วโมงใช้งาน}$

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนจากผู้ใช้งานพื้นที่ (People) สามารถหาได้จากสมการ (6) และ (7)

$$Q_{\text{Sensible}} = N(\text{Sensible HG})(\text{CLF}) \quad (6)$$

$$Q_{\text{Latent}} = N(\text{Latent HG}) \quad (7)$$

เมื่อ Q_{Sensible} = ค่าภาระการทำความเย็นจากค่าความร้อนสัมผัสจากผู้ใช้งาน (BTU/h)

Q_{Latent} = ค่าภาระการทำความเย็นจากค่าความร้อนแฝงจากผู้ใช้งาน (BTU/h)

N = จำนวนผู้ใช้งานพื้นที่

CLF = ค่าภาระทำความเย็นจากแสงสว่างต่อชั่วโมงใช้งาน

และการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Equipment and Appliances) สามารถหาได้จากสมการ (8)

$$Q = (\text{INPUT})(CLF) \quad (8)$$

เมื่อ $\text{INPUT} = 3.41 \times$ วัตต์ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

CLF = ค่าภาระทำความเย็นจากแสงสว่างต่อชั่วโมงใช้งาน

2.4.3 ความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดต่างๆ และการระบายอากาศ (Ventilation and Infiltration Air)

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดต่างๆ และการระบายอากาศ (Ventilation and Infiltration Air) สามารถหาได้จากสมการ (9) – (11)

$$Q_{\text{Sensible}} = 1.10 \times Q \times \Delta T \quad (9)$$

$$Q_{\text{Latent}} = 4840 \times Q \times \Delta W \quad (10)$$

$$Q_{\text{Total}} = 4.5 \times Q \times \Delta H \quad (11)$$

เมื่อ Q_{Sensible} = ค่าภาระการทำความเย็นจากค่าความร้อนสัมผัสจากการระบายอากาศ (BTU/h)

Q_{Latent} = ค่าภาระการทำความเย็นจากค่าความร้อนแฝงจากการระบายอากาศ (BTU/h)

Q_{Total} = ค่าภาระการทำความเย็นจากค่าความร้อนรวมจากการระบายอากาศ (BTU/h)

Q = ค่าคงที่ในการระบายอากาศ (Watt)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน ($^{\circ}\text{F}$)

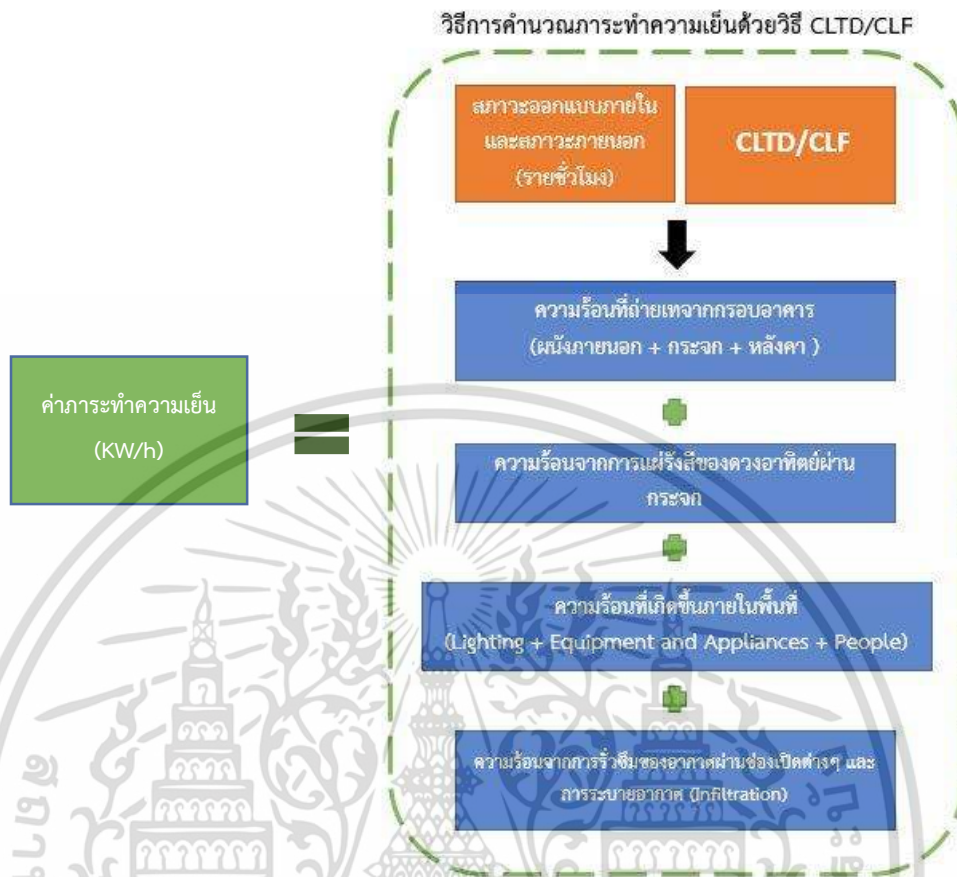
ΔW = ผลต่างของความชื้นจำเพาะภายนอกและภายใน (lb water/lb dry air)

ΔH = ผลต่างของเอนทาลปีภายนอกและภายใน (BTU/lb dry air)

2.4.4 ขั้นตอนการคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

1. เลือกสภาวะออกแบบภายในและภายนอกพื้นที่ปรับอากาศในแต่ละชั่วโมง เพื่อหาค่า CLTD โดยเลือกวันที่มีอุณหภูมิสูงสุดใน 1 ปี เพื่อหาค่าภาระการทำความเย็นที่สูงที่สุดที่เกิดขึ้น
2. วัดขนาดพื้นที่ผิวที่ได้รับความร้อนแยกตามชนิดของวัสดุของพื้นที่ผิวนั้นๆ
2. เลือกสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด
3. กำหนดระยะเวลาการใช้งานพื้นที่ปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และ เครื่องใช้ไฟฟ้า
4. คำนวณผลรวมของความร้อนที่ได้รับจากภายนอก และความร้อนที่ได้รับจากภายในตามสมการและวิธีการที่กล่าวไว้ข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF แบบรายชั่วโมง
ที่มา : ผู้วิจัย

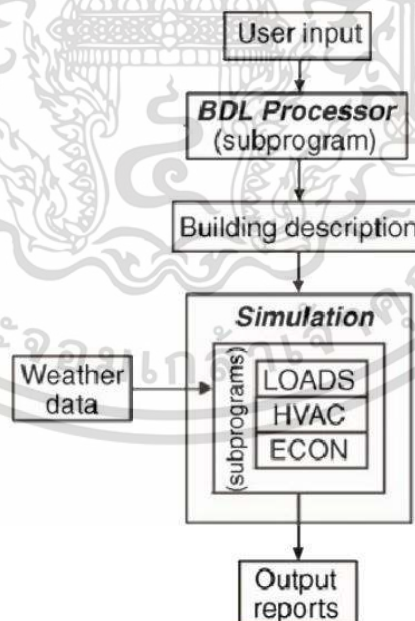
การคำนวณโดยใช้ค่าสภาวะอุณหภูมิออกแบบภายใน และ สภาวะอุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นรายชั่วโมงตามเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ จะช่วยให้ค่าภาระทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF มีความแม่นยำมากขึ้นกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวันหรือรายเดือน เนื่องจากเป็นการคำนวณที่ละเอียดกว่า โดยในการคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เป็นรายวันหรือรายเดือนก็สามารถทำได้จากการหาผลรวมของค่าภาระทำความเย็นในแต่ละชั่วโมง และ ปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในแต่ละชั่วโมงให้เป็นไปตามข้อมูลสภาพอากาศจริงจากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

2.5 การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทำนายการใช้พลังงานรายชั่วโมงและต้นทุนพลังงานของอาคาร ตามข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงตลอดทั้งปี เป็นโปรแกรมที่ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งสำหรับการศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์ และการทดสอบมาตรฐานด้านพลังงานของอาคารที่ได้รับการยอมรับในการคำนวณตามมาตรฐานระดับสากล โดยในการคำนวณจะมีการระบุค่าการจำลองสภาพทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ พฤติกรรมการใช้งานอาคาร รูปลักษณะอาคาร การใช้วัสดุ และ งานระบบที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม DOE2.1E ver.121

โปรแกรม DOE2.1E ver.121 จะคำนวณค่าภาระทำความเย็นจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก และการรั่วซึมของอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอกอาคาร รวมถึงภาระทำความเย็นที่เกิดจากปัจจัยภายในอาคาร ได้แก่ ความร้อนจากผู้ใช้งานพื้นที่ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะแสดงผลรวมของค่าภาระทำความเย็นซึ่งสามารถนำไปคำนวณขนาดของเครื่องปรับอากาศและปริมาณการใช้พลังงาน ในรูปแบบของรายงานการใช้พลังงานรายชั่วโมงตลอดทั้งปี



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบและโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ที่มา : Tianzhen Hong, 2556

สามารถอธิบายส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมตามรูปที่ 2.4 ได้ดังนี้

BDL Processor (The Building Description Language) เป็นหน่วยประมวลผลกลางในการรองรับข้อมูลต่างๆ ของอาคารที่ผู้ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะแปลงค่ามาอยู่ในรูปของฟอร์มอาคาร 3 มิติ และสามารถคำนวณค่าความร้อนเบื้องต้นจากผนังและส่วนประกอบอื่นๆ ของอาคารได้

LOADS เป็นโปรแกรมย่อยในการจำลองและคำนวณค่าความร้อนจากส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารเป็นรายชั่วโมง และคำนวณภาระการทำความเย็นและพลังงานในส่วนต่างๆ ของอาคาร โดยคำนวณจากข้อมูลสภาพอากาศ อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ จำนวนผู้ใช้งานในอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า การรั่วซิงของอากาศหรือการระบายอากาศ การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหน้าต่าง และหลังคา และผลจากการบังแสงแดด

HVAC เป็นโปรแกรมย่อยลำดับที่สองของระบบ ช่วยคำนวณประสิทธิภาพของ Plant และอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ เช่น พัดลม คอยล์ และท่อลมเย็นต่างๆ ทำการปรับอุณหภูมิและคำนวณพลังงานในระบบปรับอากาศ โดยคำนวณจากปริมาณความต้องการอากาศภายนอกชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ การตั้งค่าอุณหภูมิ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณ คือ ปริมาณการไหลของอากาศ และ พลังงานที่ใช้ในระบบคอยล์ ในระบบ Plant จะคำนวณหาขนาดของหม้อต้ม Chiller, Cooling Tower, ถังเก็บน้ำและอื่นๆ ในการสร้างสถานะน่าสบาย ส่วนของระบบนี้จะคำนวณพลังงานในการทำความร้อนและทำความเย็นจากข้อมูลที่ได้จากระบบย่อยในส่วนแรก (LOADS) ด้วย

Weather Data เป็นข้อมูลของสภาพอากาศรายชั่วโมงของที่ตั้งอาคาร โดยมีอุณหภูมิภายนอกที่เป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก ความดันของบรรยากาศ ทิศทางและความเร็วลม ปริมาณก้อนเมฆ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ โดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งนำมาจัดรูปแบบเป็นไฟล์ชนิดต่าง ๆ เช่น TRY WYEC และอื่นๆ¹

¹ คำนรณ สุทธิ. ผลกระทบของการรั่วซิมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ: 2554

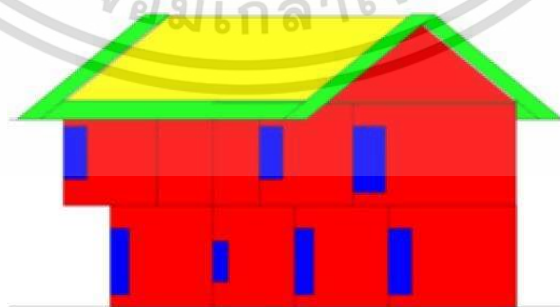
2.5.2 การคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ในการกำหนดแบบจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1 E ประกอบด้วยการกำหนดค่า 3 ส่วน ได้แก่ กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในพื้นที่ พหุคูณหรือเวลาการใช้งานพื้นที่ และ ลักษณะรูปทรงอาคารที่ต้องการใช้ในการคำนวณ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.6 แสดงการกำหนดค่าที่ต้องการเพื่อใช้ในการระบุค่าในระบบโปรแกรม

องค์ประกอบสำคัญ ในการกำหนดแบบจำลอง	การระบุค่าในระบบโปรแกรม
กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในพื้นที่	- กำลังไฟฟ้าแสงสว่างต่อตารางเมตร - กำลังไฟฟ้าอุปกรณ์ต่อตารางเมตร
พหุคูณหรือเวลาการใช้งานพื้นที่	เวลาในหน่วยชั่วโมงที่ใช้งานพื้นที่
รูปทรงอาคาร	ลักษณะรูปทรงอาคาร และ รายละเอียดวัสดุที่ใช้

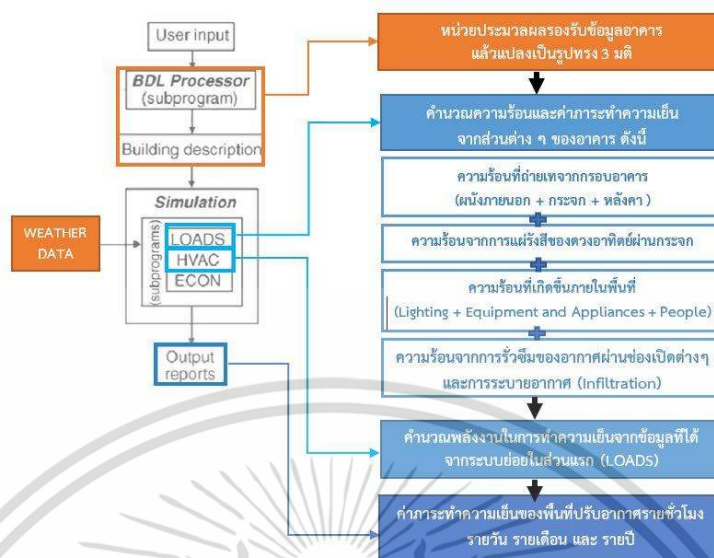
หลังจากการสร้างโมเดลอาคาร และกำหนดประเภทและค่าเบื้องต้นต่างๆ ของวัสดุพื้น ผนัง ประตู หน้าต่าง ฝ้าเพดาน และหลังคา ซึ่งเป็นกรนำความร้อนจากผนังภายนอก ตามตัวอย่างในรูปที่ 2.5 และ จำนวนผู้ใช้งานอาคาร ระบบปรับอากาศ และข้อมูลการใช้งานของไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดภาระทำความเย็นที่เกิดจากปัจจัยภายในอาคาร รวมถึงการตั้งค่าเบื้องต้นของที่ตั้งอาคาร การรายงานผลการคำนวณของโปรแกรม DOE2.1E ver.121 จะสามารถเลือกดูในรูปแบบผลการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน หรือรายปีได้



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการจำลองโมเดลอาคารด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121

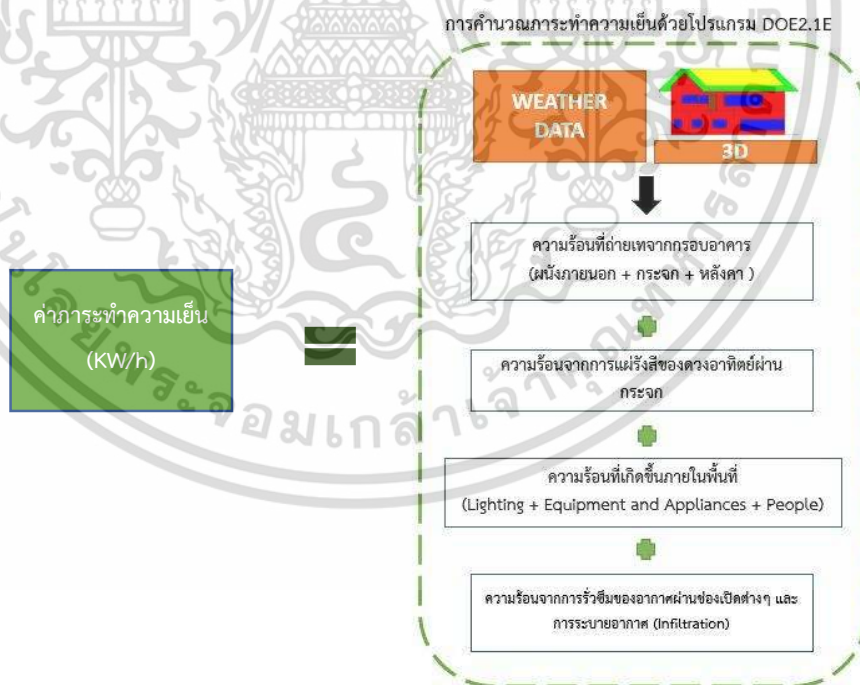
ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการอธิบายการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากส่วนประกอบและโครงสร้างของโปรแกรม DOE2.1E ver.121

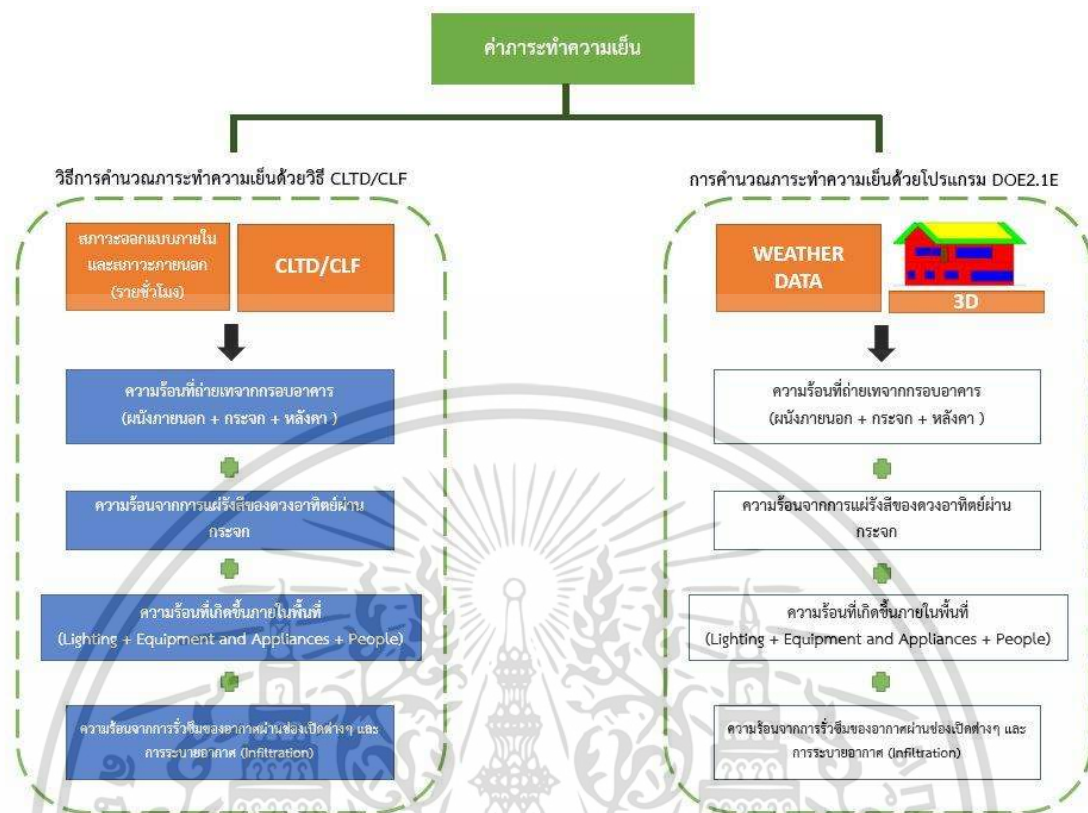
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 2.10 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



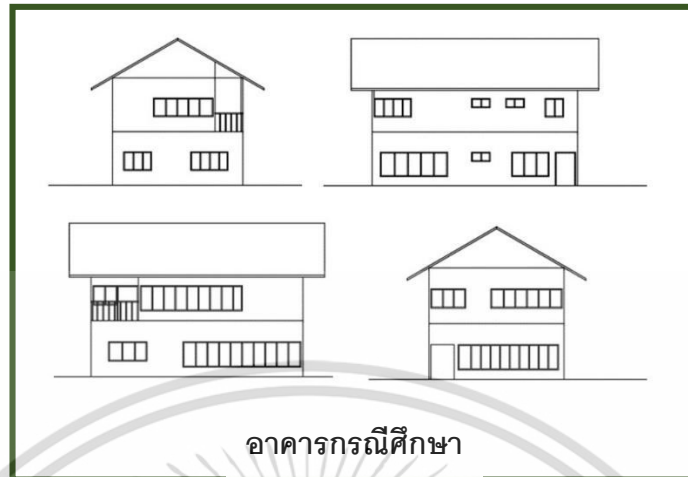
รูปที่ 2.11 แสดงการเปรียบเทียบการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF และโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ที่มา : ผู้วิจัย

2.6 บ้านพักอาศัยพื้นฐานของประเทศไทย

เพื่อการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีพื้นฐานที่ตรงกัน และเป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย จึงเลือกใช้แบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน จากผลการสำรวจตามโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และการสำรวจตามโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นตัวอย่างอาคารในการศึกษา ซึ่งการสร้างแบบจำลองจากข้อมูลการสำรวจดังกล่าว สามารถถือเป็นตัวแทนบ้านที่มีลักษณะรูปทรง การใช้วัสดุอุปกรณ์ ระยะเวลาของการใช้พื้นที่ทั้งปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ และระยะเวลาของการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ รวมถึงค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับบ้านพักอาศัยทั่วไปในประเทศไทย

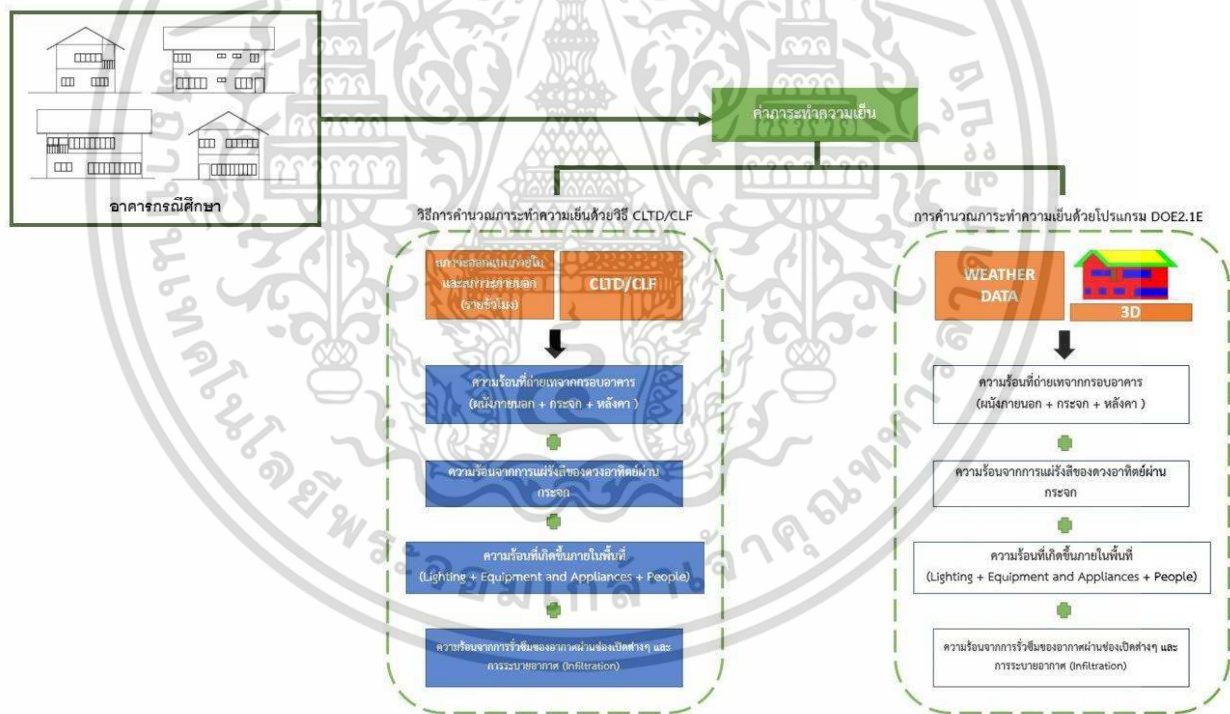
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อาคารกรณีศึกษา

รูปที่ 2.12 แสดงอาคารกรณีศึกษา (บ้านพักอาศัยพื้นฐาน)

ที่มา : ผู้วิจัย

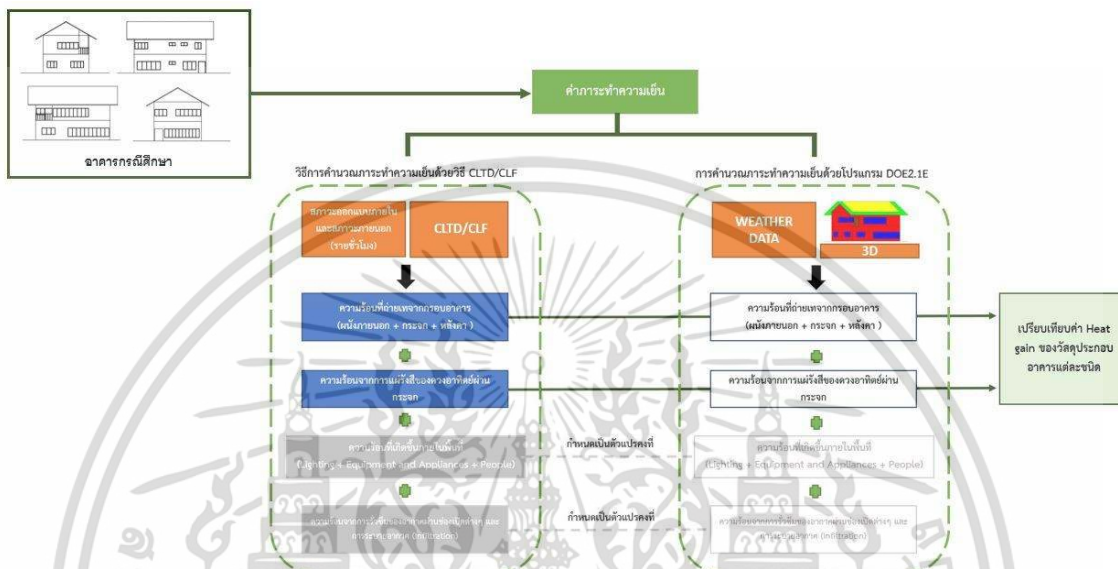


รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของอาคารกรณีศึกษาและการคำนวณค่าภาระทำความเย็น

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษามุ่งเน้นที่การศึกษาองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของบ้านพักอาศัย ไม่รวมถึงพลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและการรั่วซึมของอากาศ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถกำหนดได้ จึงถือให้อุปกรณ์เหล่านี้เป็นตัวแปรคงที่ โดยใช้ข้อมูลจากผลการสำรวจข้างต้น



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบค่า Heat gain ที่เข้าอาคารผ่านวัสดุประกอบอาคาร
ที่มา : ผู้วิจัย

2.7 การประเมินค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) สามารถประเมินอย่างง่าย โดยการนำค่าจากข้อมูลจริง (Actual) มาลบกับค่าที่ต้องการประเมิน ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ว่าค่าที่ต้องการประเมิน (Predicted) มีความผิดพลาด (Error) เพียงใด

$$ERROR = ACTUAL - PREDICTED$$

ซึ่งการนำค่าทั้งสองมาหักลบกันดังสมการ ค่า Error ที่ได้อาจจะได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ ดังเพื่อการประเมินความคลาดเคลื่อนโดยมุ่งเน้นเพื่อประเมินความเบี่ยงเบนของความผิดพลาด จึงได้มีวิธีการ เช่น MAE, MSE และ RMSE เพื่อใช้ในการคำนวณให้ค่า Error เป็นบวกเสมอ โดยถ้าค่าที่ต้องการประเมินใกล้เคียงกับค่าจริงมากหรือเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าค่าที่ต้องการประเมินนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ ซึ่งสามารถเลือกใช้สมการในการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Mean Absolute Error: MAE หรือ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย มีไว้สำหรับวัดการกระจายของข้อมูลว่าข้อมูลมีการกระจายห่างจากการเฉลี่ยเป็นเท่าไร

$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^t |Y_t^s - Y_t^a|$$

โดยที่ Y_t^a คือ ค่าที่แท้จริง ที่เวลา t
 Y_t^s คือ ค่าที่ต้องการประเมิน ที่เวลา t
 T คือ จำนวนเวลาที่ใช้ในการประเมิน

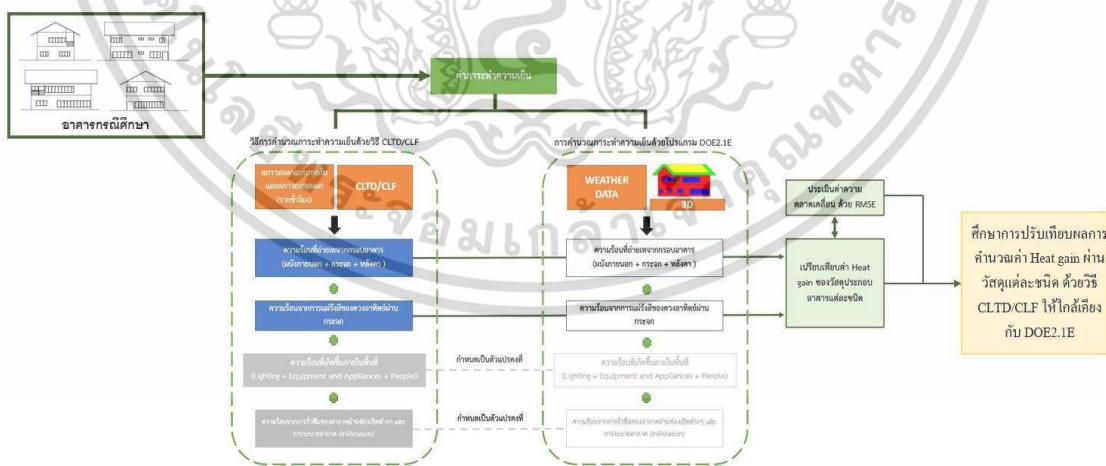
2. Mean Squared Error: MSE จะมีความคล้ายกับ MAE เพียงเปลี่ยนจากการทำ Absolute มาเป็นการยกกำลังสองก่อนหาค่าเฉลี่ย

$$MSE = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^t (Y_t^s - Y_t^a)^2$$

3. Root Mean Square Error: RMSE หรือ ค่ารากที่สองของ MSE ซึ่งถูกใช้เพื่อเป็นค่าสำหรับการประเมินค่าเบี่ยงเบนของความผิดพลาด (Standard deviation of forecast error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^t (Y_t^s - Y_t^a)^2}$$

โดยจากทั้งสามสมการ ผู้วิจัยเลือกใช้สมการ RMSE เนื่องจากง่ายสำหรับการแปลผลเพื่อประเมินค่าเบี่ยงเบนของความผิดพลาด



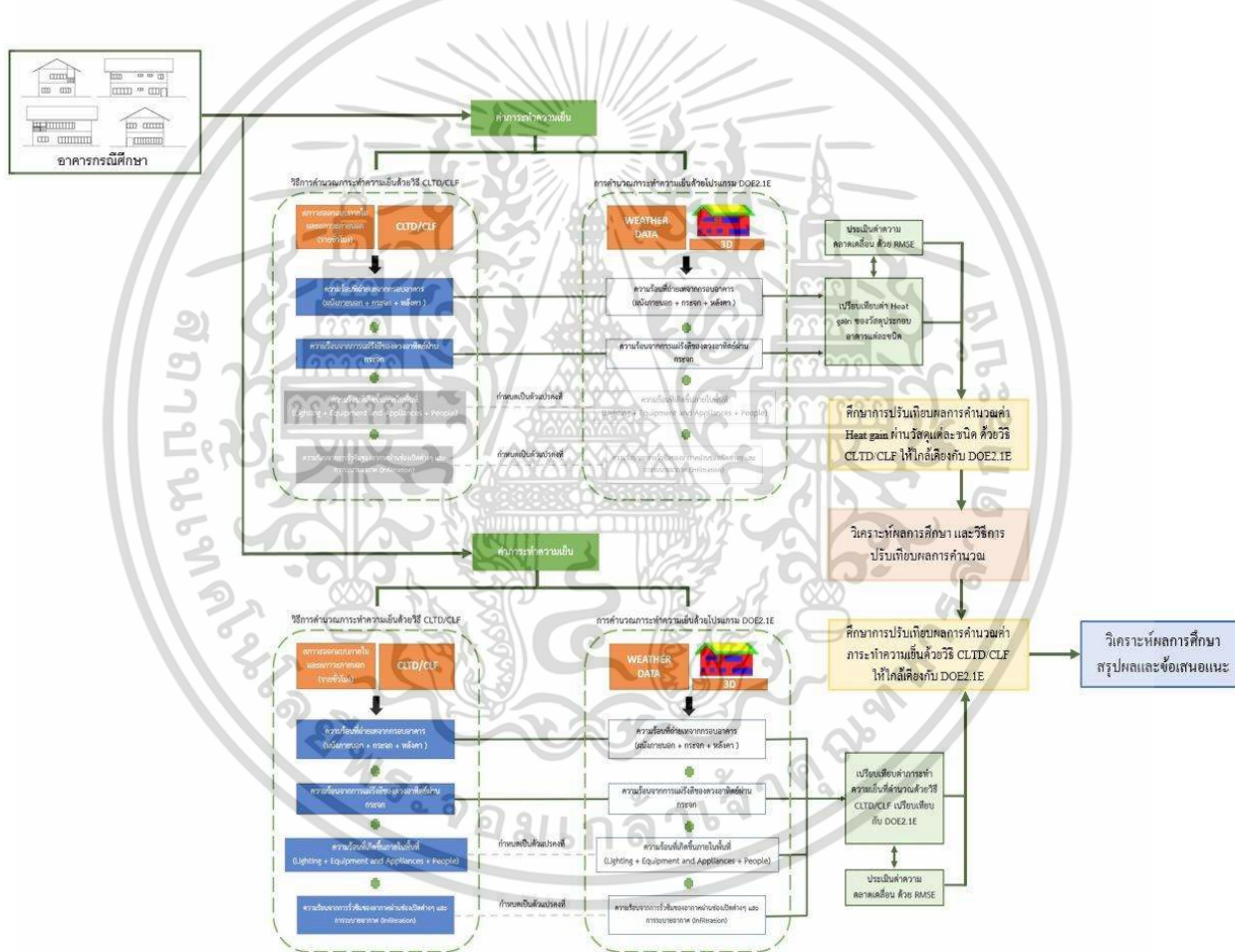
รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบและปรับเทียบค่า Heat gain ที่เข้าอาคารผ่านวัสดุประกอบอาคารชนิดต่างๆ

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 กรอบแนวคิด

ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E สามารถหาได้จากการศึกษาโดยการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF และ การคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (RMSE) เพื่อการปรับค่าการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นศึกษาด้วยวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิด



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของกรอบแนวคิด

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย วัตถุประสงค์และเครื่องมือ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาหัวข้อ การศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E จากการศึกษาทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางและรูปแบบการวิจัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. กำหนดแบบบ้านมาตรฐานในประเทศไทยและข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น จากการสำรวจของโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และการสำรวจตามโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อเป็นอาคารตัวอย่างในการศึกษา

2. สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ตารางการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF และ โปรแกรม DOE2.1E ver.121

3. ดำเนินการทดลอง โดยการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1). การคำนวณค่าความร้อนที่เข้ามาในอาคารโดยการถ่ายเทผ่านวัสดุกรอบอาคารที่กำหนดในแบบบ้านมาตรฐานแต่ละชนิด

2). การคำนวณค่าภาระทำความเย็นของบ้านมาตรฐานเป็นรายชั่วโมงใน 1 วันที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดในรอบปี

ซึ่งการทดลองแต่ละส่วนจะถูกคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF และ โปรแกรม DOE2.1E ver.121 เพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF

4. การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน โดยการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E และ ทำการปรับเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกับผลของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF

3.2 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 รายละเอียดของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

เพื่อการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีพื้นฐานของบ้านพักอาศัยที่ตรงกัน และเป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย จึงใช้แบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน จากผลการสำรวจตามโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และการสำรวจตามโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากการสำรวจกว่า 2500 ตัวอย่าง ในทุกภูมิภาคทั่วประเทศไทย จึงสามารถถือเป็นตัวแทนของบ้านพักอาศัยที่มีอยู่ทั่วไปในปัจจุบันของประเทศไทย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลลักษณะของบ้านพักอาศัยพื้นฐานในประเทศไทย

บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	รายละเอียด
จำนวนสมาชิก	3-4 คน
พื้นที่ใช้สอยรวม	154 ตารางเมตร
จำนวนห้องนอน	2 ห้องนอน
ค่าองศาหลังคา	30 องศา
ความสูงผนังแต่ละชั้น	2.89 เมตร
พื้นที่ปรับอากาศรวม	23% ของพื้นที่ใช้สอยภายใน
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	77% ของพื้นที่ใช้สอยภายใน
ความยาวชายคา	1.13 เมตร
ช่องเปิด	23% ของพื้นที่ผนังภายนอก
ความสูงของวงกบบนจากระดับพื้นโดยเฉลี่ย	1.80 เมตร
ความสูงของวงกบล่างจากระดับพื้นโดยเฉลี่ย	0.80 เมตร
วัสดุประกอบอาคาร	<ul style="list-style-type: none"> - ผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสีอ่อน - หลังคากระเบื้องลอนคู่สีอ่อน มีช่องว่างใต้หลังคา - กระจกใสความหนา 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลวัสดุประกอบอาคาร

ผนังทึบ	ความหนา (ม.)
ปูนฉาบ	0.015
อิฐมอญ	0.070
ปูนฉาบ	0.015
ประตูไม้	0.025
หลังคา	ความหนา (ม.)
กระเบื้องลอนคู่สีอ่อน	0.006
ยิปซัมบอร์ด	0.009
ผนังโปร่งแสง	ความหนา (ม.)
กระจกโฟลตใส ความหนา 5 มิลลิเมตร	0.005

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดและระยะเวลาการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่
ไม่ปรับอากาศ

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (sq.m.)	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง		ระบบไฟฟ้าอุปกรณ์	
			W/sq.m.	เวลา (ชั่วโมง)	W/sq.m.	เวลา (ชั่วโมง)
1	LIV.	44.52	2.79	2.12	35.49	2.39
	DIN.	13.47		2.12		2.39
	KIT.	13.47		2.12		2.39
	WC.	5.46		2.12		-
2	LIV.	25.07	2.12	2.12	2.39	
	WC.	4.42		2.12	-	
	WC.	5.00		2.12	-	

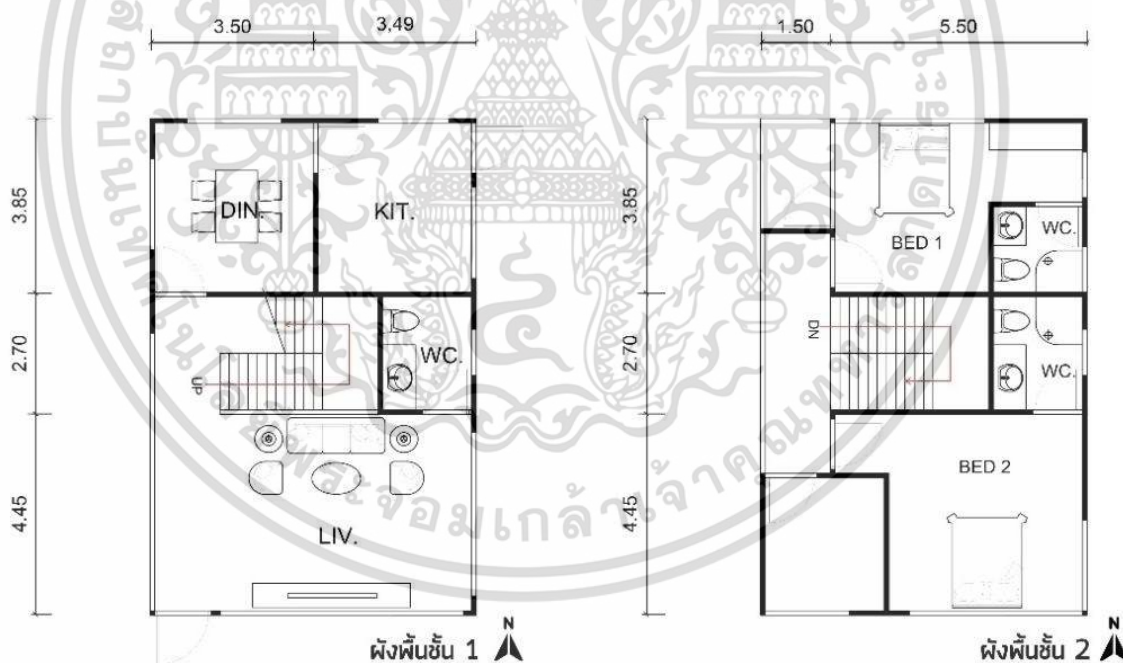
ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดและระยะเวลาการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า และ เครื่องปรับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ

ห้อง	พื้นที่ (sq.m.)	จำนวน ผู้ใช้งาน	ระยะเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)					
			ไฟฟ้าแสงสว่าง		ไฟฟ้าอุปกรณ์		ระบบปรับอากาศ	
			W/sq.m.	เวลา (ชม.)	W/sq.m.	เวลา(ชม.)	EER	BTU
BED 1	17.30	2	3	6.12	26.88	1.12	15	12300
BED 2	20.51	2	3	6.12	26.88	1.12	15	12300

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

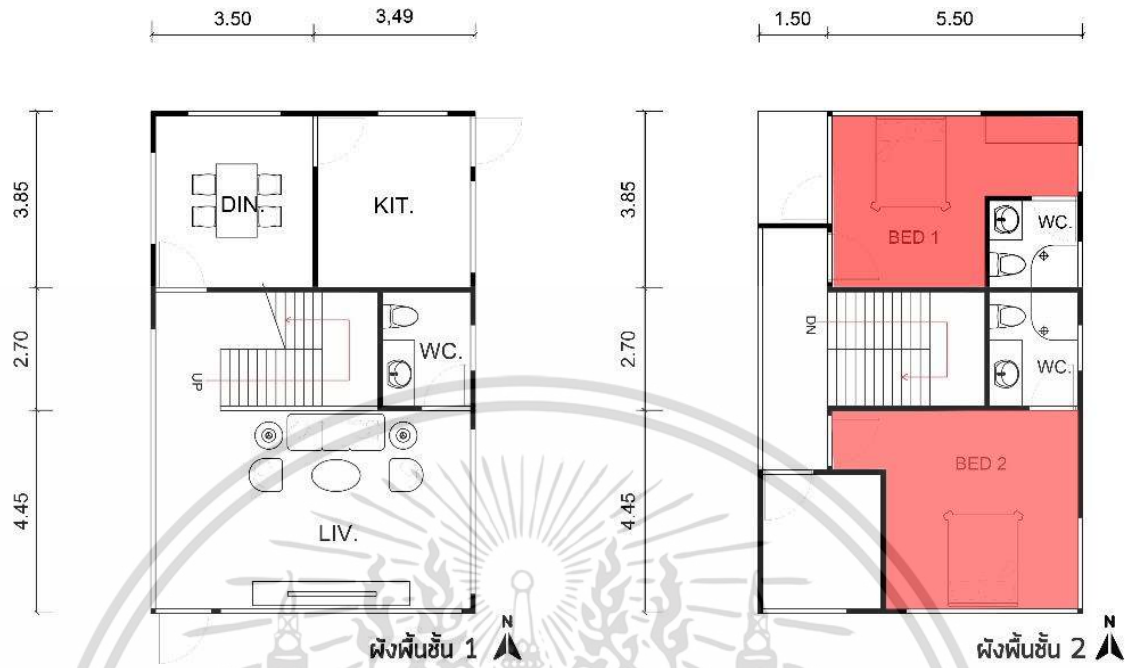
โดยประเภทของเครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้ในบ้านพักอาศัย คือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) ขนาด 12300 BTU และ มีค่า EER เท่ากับ 15



รูปที่ 3.1 แสดงผังบ้านพักอาศัยที่ออกแบบจากข้อมูลโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัย และสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560

ที่มา : ผู้วิจัย

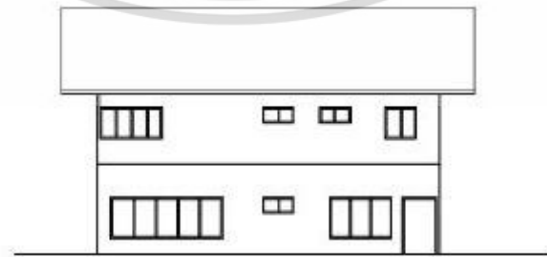
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงผังบ้านพักอาศัยพื้นฐานและตำแหน่งพื้นที่ปรับอากาศ
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 3.3 แสดงรูปด้านทิศเหนือและตะวันออกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา : ผู้วิจัย



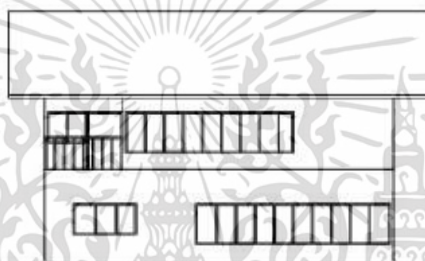
รูปที่ 3.4 แสดงรูปด้านทิศตะวันตกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงรูปด้านทิศใต้ของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 3.6 แสดงรูปด้านทิศตะวันตกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ที่มา : ผู้วิจัย

3.2.2 ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการคำนวณ

ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ย 5 ปี ของจังหวัดกาญจนบุรี (พ.ศ.2554 - พ.ศ.2558) เนื่องจากจังหวัดกาญจนบุรีเป็นจังหวัดที่มีการเปลี่ยนแปลงและมีความแตกต่างของสภาพอากาศค่อนข้างสูง โดยมีสภาพภูมิอากาศตลอดปีอยู่ที่อุณหภูมิระหว่าง 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ย 22.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ย 36.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำที่วัดได้ 3.7 องศาเซลเซียส (เมื่อวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2517) อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ 44.2 องศาเซลเซียส (เมื่อ 12 เมษายน พ.ศ. 2559) และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1496.2 มิลลิเมตรต่อปี

จังหวัดกาญจนบุรี ตั้งอยู่ที่ละติจูด $14^{\circ} 37' 60''$ N และ ลองจิจูด $99^{\circ} 6' 0''$ E เขตเวลา : UTC+7 เป็นจังหวัดที่อยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศไทย พื้นที่จังหวัดอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครเป็นระยะทาง 129 กิโลเมตร ตามเส้นทางสายนครปฐม-บ้านโป่ง ซึ่งมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดอื่น ๆ 5 จังหวัด ดังนี้ ทางทิศเหนือติดกับจังหวัดตากและอุทัยธานี ทางทิศใต้ติดกับจังหวัดราชบุรี ทางทิศตะวันออกติดกับจังหวัดสุพรรณบุรีและนครปฐม และ ทางทิศตะวันตกติดกับสาธารณรัฐแห่งสหภาพพม่า โดยมีข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ดังที่แสดงในตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดกาญจนบุรี

	เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
จังหวัดกาญจนบุรี	มกราคม	24.21
	กุมภาพันธ์	29.06
	มีนาคม	29.76
	เมษายน	30.86
	พฤษภาคม	28.89
	มิถุนายน	28.49
	กรกฎาคม	28.46
	สิงหาคม	29.15
	กันยายน	28.75
	ตุลาคม	28.23
	พฤศจิกายน	26.85
	ธันวาคม	26.53
	เฉลี่ย	28.27

จากตารางที่ 3.5 ซึ่งเป็นข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของจังหวัดกาญจนบุรี จะเห็นได้ว่าเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้สภาพอากาศเดือนเมษายน โดยในการคำนวณจะใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงในระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2554 - พ.ศ.2558) ของเดือนเมษายนมาใช้ในการศึกษา ทั้งในการคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF และ การคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี

	เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°F)
อุณหภูมิเฉลี่ย รายชั่วโมง จังหวัดกาญจนบุรี	1.00	83.03
	2.00	82.57
	3.00	81.97
	4.00	81.47
	5.00	81.23
	6.00	81.10
	7.00	80.90
	8.00	83.70
	9.00	86.87
	10.00	89.87
	11.00	91.90
	12.00	93.73
	13.00	95.80
	14.00	95.60
	15.00	95.63
	16.00	95.50
	17.00	93.23
	18.00	91.00
	19.00	88.73
	20.00	87.53
	21.00	86.30
	22.00	85.10
	23.00	84.57
	24.00	83.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สร้างเครื่องมือสำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น

3.3.1 สร้างเครื่องมือสำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

3.3.1.1 ตารางค่า CLTD เพื่อคำนวณค่า CLTDc

การหาค่า CLTD เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ สามารถหาได้จากคู่มือของ ASHRAE โดยค่า CLTD จะถูกแบ่งออกตามกลุ่มของผนัง พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft².°F) และ น้ำหนักของผนังต่อพื้นที่ (lb/ ft²) ซึ่งสำหรับบ้านพักอาศัยพื้นฐานจึงสรุปได้ว่า กลุ่มผนังที่กำหนด คือ Group F

ตารางที่ 3.7 แสดงค่า CLTD แบ่งตามกลุ่มของผนัง

	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Group A Walls																							
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21
	Group B Walls																							
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	9	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	28
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23
	Group C Walls																							
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	22	23	23	23	23	22	21	20
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	28	27	26	24
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	25	24	22
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	31
W	31	29	27	25	22	20	19	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	33
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26

ตารางที่ 3.7 (ต่อ) แสดงค่า CLTD แบ่งตามกลุ่มของผนัง

	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Group D Walls																							
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	18	16	
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27
	Group E Walls																							
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	30	18	16	14
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	3	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26
W	25	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24
	Group F Walls																							
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12
S	10	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	23	18
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	35	28	22	18
	Group G Walls																							
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5
NE	3	2	1	0	-1	27	36	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	5	
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6
SE	4	2	1	0	-1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	6
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	37	47	55	55	41	25	17	13	10	7

ต่อมาเมื่อเลือกกลุ่มของผนังแล้ว จะต้องทำการแก้ไขค่า CLTD ให้เป็นไปตามสภาวะของสถานที่ตั้งอาคารที่ต้องการคำนวณ จึงต้องแก้ไขตามเส้นละติจูดและเดืออน (LM) และ สีของผนัง (K) รวมทั้งแก้ไขอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (t_o) และอุณหภูมิออกแบบภายในห้อง (t_R) โดยอ้างอิงจากสมการ (1) :

$$CLTD_c = (CLTD + LM) \times K + (78 - t_R) + (t_o - 85)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 แสดงตัวอย่างตารางในการคำนวณค่า CLTDc รายชั่วโมง

TIME/hr	1	2	...	23	24
to (°F)					
tr (°F)					
LM					
N					
E					
S					
W					
Floor/ceiling HOR					
Roof/ceiling HOR					
CLTD (°F)					
N					
E					
S					
W					
Door (E)					
Roof/ceiling					
CLTDc (°F)	K				
N					
E					
S					
W					
Door					
Roof					

เมื่อคำนวณค่า CLTDc แล้ว จึงนำค่าที่ได้ในแต่ละชั่วโมง ไปคำนวณหาค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารผ่านกรอบอาคารในขั้นตอนต่อไป

3.3.1.2 ตารางการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัย พื้นฐานแบบรายชั่วโมงด้วยวิธี CLTD/CLF

ในการศึกษาการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ดำเนินการโดยสร้างแบบจำลองพื้นที่ปรับอากาศในรูปแบบของ Adiabatic module คือ การสร้างแบบจำลองที่อยู่ในสถานะไม่มีการถ่ายเทความร้อน เพื่อควบคุมตัวแปรที่จะเข้ามามีอิทธิพลกับความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่กำหนดแต่ละชนิด

การคำนวณค่าความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านนอก หลังคา และ กระจกสามารถอ้างอิงได้จากสมการ (2) : $Q_c = U \times A \times (CLTD)$

การคำนวณค่าความร้อนที่ถ่ายเทจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar Radiation through Glass) สามารถอ้างอิงได้จากสมการ (3) : $Q_s = A \times SC \times SHGF \times CLF$

ตารางที่ 3.9 แสดงตัวอย่างตารางในการคำนวณค่า Heat Gain ภายในชั่วโมงปรับอากาศของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF

		U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Heat Gain (BTU)														
				1	2	3	4	5	6	...	20	21	22	23	24	รวม		
ผนัง ทึบ	N										...							
	E										...							
	S										...							
	W										...							
หลังคา		U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Heat Gain (BTU)														
				1	2	3	4	5	6	...	20	21	22	23	24	รวม		
ผนัง โปร่ง แสง		SC	SHGF	A (ft ²)	Heat Gain (BTU)													
					1	2	3	4	5	6	...	20	21	22	23	24	รวม	
	N										...							
	E										...							
	S										...							
W										...								

3.3.1.3 ตารางการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงด้วยวิธี CLTD/CLF

ตารางที่ 3.10 แสดงตัวอย่างตารางในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงด้วยวิธี CLTD/CLF

		TIME/hr		Cooling Load (BTU)					
		U	A	1	2	...	23	24	
WALL	N								
	E								
	S								
	W								
	Roof/ceiling								
DOOR	E								
	internal load								
RSCL WALL									
WIN.		SC	SHGF	A	1	2	...	23	24
	N								
	E								
	S								
	W								
RSCL WIN									
INFIL.									
PEOPLE						...			
LIGHT		HGel							
AIR CONDITION		air condition							
RSCL									

ผลรวมของ
Sensible
Cooling Load

ค่า EER

$$SCL_{air-con} (BTU) = \frac{12300 (BTU)/EER (BTU/W)}{0.293}$$

ค่าความร้อนที่เกิดขึ้น
ภายในพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 โปรแกรม DOE2.1E ver.121

3.3.2.1 โปรแกรม DOE2.1E ver.121 สำหรับการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ในการศึกษาการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ดำเนินการโดยสร้างแบบจำลองพื้นที่ปรับอากาศในรูปแบบของ Adiabatic module คือ การสร้างแบบจำลองที่อยู่ในสถานะไม่มีการถ่ายเทความร้อน เพื่อควบคุมตัวแปรที่จะเข้ามามีอิทธิพลกับความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่กำหนดแต่ละชนิด

EXAMPLE BUILDING 3A, CHICAGO DOE-2.1 13 MAR 80 10.19.09 LDL RUN 1

REPORT- LS-B SPACE PEAK LOAD COMPONENTS

SPACE PLENUM-1

MULTIPLIER 1.0

FLOOR AREA 5000 SQFT 465 SQMT

VOLUME 10000 CUFT 283 CUMT

TIME	COOLING LOAD				HEATING LOAD	
	JUL 7 4PM	31C	23C		JAN 12 9AM	-8F
DRY-BULB TEMP	88F	31C			-8F	-22C
WET-BULB TEMP	73F	23C			-8F	-22C
	SENSIBLE (KBTU/H) (MJ/H)		LATENT (KBTU/H) (MJ/H)		SENSIBLE (KBTU/H) (MJ/H)	
HALLS	1.493	1.58	0.	0.	-3.009	-3.17
ROOFS	14.281	15.07	0.	0.	-18.475	-19.49
GLASS CONDUCTION	0.	0.	0.	0.	0.	0.
GLASS SOLAR	0.	0.	0.	0.	0.	0.
DOOR	0.	0.	0.	0.	0.	0.
INTERNAL SURFACES	0.	0.	0.	0.	0.	0.
UNDERGROUND SURFACES	0.	0.	0.	0.	0.	0.
OCCUPANTS TO SPACE	0.	0.	0.	0.	0.	0.
LIGHT TO SPACE	0.	0.	0.	0.	0.	0.
EQUIPMENT TO SPACE	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PROCESS TO SPACE	0.	0.	0.	0.	0.	0.
INFILTRATION	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTAL	15.775	16.64	0.	0.	-21.483	-22.67
TOTAL LOAD	15.775 KBTU/H	16.64 MJ/H			-21.483 KBTU/H	-22.67 MJ/H
TOTAL LOAD / AREA	3.15 BTUH/SQFT	0.3583 MJ/H-SQMT			4.30 BTUH/SQFT	0.4880 MJ/H-SQMT

* NOTE 1)THE ABOVE LOADS EXCLUDE OUTSIDE VENTILATION AIR *

* ---- 2)TIMES GIVEN IN STANDARD TIME FOR THE LOCATION *

* IN CONSIDERATION *

รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : DOE-2 Reference Manual Part1 Version2.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MMDDHH	GLOBAL		GLOBAL		BUILDING SENSIBLE HTG LOAD	BUILDING WALL HTG LOAD	BUILDING GLS COND HTG L3AD	BUILDING GLS SOL HTG LOAD	BUILDING INT WALL COND-HTG	BUILDING SOURCE SENS-HTG	BUILDING INFILTRN LAT-HTG
	DRY BULB TEMP	WET BULB TEMP	DIR SOL X CLDCOV	DIF SOL X CLDCOV							
716 1	66.0	63.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
716 2	66.0	63.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
716 3	66.0	63.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
716 4	65.0	62.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
716 5	65.0	62.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
716 6	64.0	62.0	75.3	8.3	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
716 7	66.0	62.0	128.8	19.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
716 8	71.0	64.0	67.7	56.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
716 9	74.0	65.0	99.0	65.3	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71610	76.0	65.0	259.9	37.1	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71611	77.0	66.0	186.7	108.9	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71612	78.0	66.0	188.8	113.7	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71613	78.0	66.0	188.8	95.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71614	79.0	66.0	186.4	91.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71615	80.0	67.0	207.3	62.7	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71616	80.0	67.0	221.6	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71617	79.0	66.0	223.2	31.8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71618	78.0	66.0	179.2	25.6	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71619	76.0	65.0	83.2	11.9	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71620	74.0	64.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71621	72.0	62.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71622	72.0	62.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71623	71.0	61.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71624	70.0	61.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 1	68.0	60.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 2	69.0	60.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 3	66.0	58.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 4	67.0	58.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 5	66.0	58.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 6	66.0	58.0	9.3	12.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 7	67.0	59.0	36.7	30.8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 8	71.0	61.0	90.1	50.4	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
717 9	76.0	64.0	74.2	73.4	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71710	79.0	66.0	78.0	150.5	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71711	83.0	68.0	53.3	175.5	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71712	84.0	69.0	80.9	176.8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71713	87.0	70.0	188.7	76.7	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71714	88.0	70.0	159.8	96.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71715	89.0	71.0	155.5	87.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71716	90.0	71.0	123.1	29.5	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71717	87.0	70.0	44.6	40.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71718	87.0	70.0	35.8	24.8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71719	87.0	70.0	8.2	10.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71720	85.0	69.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71721	82.0	68.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71722	79.0	67.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71723	77.0	67.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71724	77.0	67.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่า Heat Gain รายชั่วโมงของวัสดุแต่ละชนิดด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : DOE-2 Reference Manual Part1 Version2.1.

3.3.2.2 โปรแกรม DOE2.1E ver.121 สำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

เมื่อระบุข้อมูลของบ้านพักอาศัยพื้นฐานที่จำเป็นลงในส่วนต่าง ๆ ของระบบโปรแกรมอย่างละเอียดครบถ้วน ระบบโปรแกรมจะสามารถรายงานค่าออกมาได้หลากหลายรูปแบบตามความต้องการใช้งาน รวมถึงสามารถรายงานค่าออกมาเป็น รายปี รายเดือน รายวัน และ รายชั่วโมงได้

MONTH	FAN ELECTRIC ENERGY (KWH)	MAXIMUM FAN ELECTRIC ENERGY (KW)	GAS OIL HEATING ENERGY (MBTU)	MAXIMUM GAS OIL HEATING ENERGY (KBTU/HR)	ELECTRIC HEATING ENERGY (KWH)	MAXIMUM ELECTRIC HEATING ENERGY (KW)	ELECTRIC COOLING ENERGY (KWH)	MAXIMUM ELECTRIC COOLING ENERGY (KW)
JAN	340.	.468	0.	0.	0.	0.	0.	0.
FEB	307.	.457	0.	0.	0.	0.	0.	0.
MAR	343.	.778	0.	0.	0.	0.	0.	0.
APR	206.	2.045	0.	0.	0.	0.	0.	0.
MAY	348.	2.045	0.	0.	0.	0.	0.	0.
JUN	406.	2.045	0.	0.	0.	0.	0.	0.
JUL	449.	2.045	0.	0.	0.	0.	0.	0.
AUG	449.	2.045	0.	0.	0.	0.	0.	0.
SEP	358.	2.045	0.	0.	0.	0.	0.	0.
OCT	206.	1.930	0.	0.	0.	0.	0.	0.
NOV	347.	1.782	0.	0.	0.	0.	0.	0.
DEC	340.	.457	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTAL	4098.		0.	0.	0.		0.	0.
MAX		2.045		0.		0.		0.

รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของพื้นที่ปรับอากาศรายเดือน ด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E
 ที่มา : DOE-2 Reference Manual Part1 Version2.1.

0HSPF (WITH PARASITICS) = 0.00 (KBTU/HR)
 0HSPF (WITHOUT PARASITICS) = 0.00 (BTU/HR)
 IFACULTY OF ARCHITECTURE LADKRABANG Energy Conservation House-Prototype Test DOE-2.1E-121 Wed Mar 10 11:53:39 2021SDL RUN 1
 D-FLOOR
 SYS-REP-1 = HOURLY-REPORT PAGE 1 - 1

MMDDHH	FL2-2AC	FL2-2AC	FL2-2AC	FL2-2AC	GLOBAL	GLOBAL	GLOBAL	ATTIC-1	ATTIC-1	ATTIC-1	ATTIC-1
ZONE	TOTAL UA	AVE ZONE	EXTRACTN	DRY BULB	WET BULB	HUMIDITY	ZONE	TOTAL UA	AVE ZONE	EXTRACTN	
TEMP	FOR HOUR	TEMP	RATE	TEMP	TEMP	RATIO	TEMP	FOR HOUR	TEMP	RATE	
F	BTU/HR-F	F	BTU/HR	F	F	FRAC.OR	F	BTU/HR-F	F	BTU/HR	
	(6)	(9)	(31)	(8)	(8)	(7)	(10)	(6)	(9)	(31)	(8)
1 1 1	85.2	520.	0.0	5712.	75.0	65.0	0.0109	81.7	1261.	0.0	0.
1 1 2	84.0	493.	0.0	5681.	75.0	65.0	0.0109	80.5	1068.	0.0	0.
1 1 3	83.1	493.	0.0	5498.	74.0	65.0	0.0112	79.1	1066.	0.0	0.
1 1 4	81.9	520.	0.0	5397.	74.0	65.0	0.0112	78.1	1259.	0.0	0.
1 1 5	80.8	490.	0.0	5265.	74.0	64.0	0.0105	77.1	1062.	0.0	0.
1 1 6	80.4	492.	0.0	4788.	73.0	63.0	0.0100	76.0	1061.	0.0	0.
1 1 7	80.3	507.	0.0	4391.	73.0	66.0	0.0121	75.5	1150.	0.0	0.
1 1 8	80.1	489.	0.0	3963.	74.0	65.0	0.0111	75.9	1055.	0.0	0.
1 1 9	84.1	495.	0.0	0.	77.0	67.0	0.0119	79.7	1074.	0.0	0.
1 1 10	85.2	524.	0.0	0.	79.0	65.0	0.0100	82.2	1295.	0.0	0.
1 1 11	87.4	493.	0.0	0.	82.0	68.0	0.0114	91.0	1090.	0.0	0.
1 1 12	90.6	497.	0.0	0.	85.0	70.0	0.0123	95.8	1175.	0.0	0.
1 1 13	93.2	518.	0.0	0.	88.0	69.0	0.0108	98.3	1272.	0.0	0.
1 1 14	95.8	498.	0.0	0.	89.0	70.0	0.0114	102.9	1186.	0.0	0.
1 1 15	98.6	498.	0.0	0.	90.0	71.0	0.0120	104.8	1187.	0.0	0.
1 1 16	100.4	515.	0.0	0.	91.0	71.0	0.0117	103.7	1241.	0.0	0.
1 1 17	101.8	501.	0.0	0.	89.0	74.0	0.0147	103.0	1142.	0.0	0.
1 1 18	102.7	501.	0.0	0.	87.0	72.0	0.0134	99.2	1135.	0.0	0.
1 1 19	94.8	509.	0.0	6261.	85.0	71.0	0.0131	95.2	1168.	0.0	0.
1 1 20	93.9	498.	0.0	5488.	83.0	72.0	0.0144	92.7	1089.	0.0	0.
1 1 21	91.3	497.	0.0	6295.	82.0	71.0	0.0138	90.2	1087.	0.0	0.
1 1 22	89.9	496.	0.0	6163.	80.0	70.0	0.0134	87.8	1083.	0.0	0.
1 1 23	88.4	495.	0.0	6084.	79.0	69.0	0.0129	86.0	1082.	0.0	0.
1 1 24	87.1	495.	0.0	5921.	78.0	68.0	0.0124	84.2	1079.	0.0	0.
0 DAILY SUMMARY (JAN 1)											
MN	80.1	489.	0.0	0.	73.0	63.0	0.0100	75.5	1061.	0.0	0.
MX	102.7	524.	0.0	6295.	91.0	74.0	0.0147	104.8	1295.	0.0	0.
SM	2141.0	12035.	0.0	76827.	1936.0	1636.0	0.2875	2120.4	27378.	0.0	0.
AV	89.2	501.	0.0	3281.	80.7	68.2	0.0120	88.3	1141.	0.0	0.

IFACULTY OF ARCHITECTURE LADKRABANG Energy Conservation House-Prototype Test DOE-2.1E-121 Wed Mar 10 11:53:39 2021SDL RUN 1
 D-FLOOR
 SYS-REP-1 = HOURLY-REPORT PAGE 2 - 1

รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของพื้นที่ปรับอากาศรายชั่วโมง ด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E
 ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 สร้างเครื่องมือสำหรับการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำ ความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ตารางที่ 3.11 แสดงตัวอย่างตารางสำหรับการศึกษาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณ
ด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	DOE2.1E	CLTD/CLF	
		Description	RMSE
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
....			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
รวม			

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^t (Y_t^s - Y_t^a)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.12 แสดงตัวอย่างตารางเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เพื่อลดความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	DOE2.1E	CLTD/CLF		CLTD/CLF	
		Description	RMSE	เปรียบเทียบ	RMSE
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
13					
....					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
24					
รวม					

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^t (Y_t^s - Y_t^a)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการตามวิธีการดำเนินการวิจัย วัสดุและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E มีการทดลองและผลการดำเนินการวิจัย ดังนี้

4.1 การคำนวณหาค่า Heat gain ของวัสดุประกอบอาคาร

4.1.1 คำนวณหาค่า Heat Gain ของวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากโครงการการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และ โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 จัดทำโดยกระทรวงพลังงานร่วมกับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงสามารถสรุปข้อมูลวัสดุประกอบอาคารของบ้านพักอาศัยพื้นฐานได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงสรุปข้อมูลวัสดุประกอบอาคาร

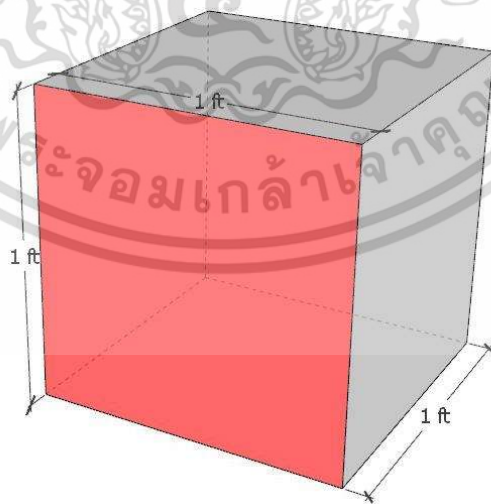
ผนังทึบ	ความหนา (ม.)	Thermal Conductivity (W/(m ² .°C))	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg-°C)
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84
อิฐมวลยว	0.070	0.473	1600	0.79
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงสรุปข้อมูลวัสดุประกอบอาคาร

หลังคา	ความหนา (ม.)	Thermal Conductivity (W/(m ² .°C))	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg-°C)
กระเบื้องลอนคู่สีอ่อน	0.006	0.394	2000	1.00
ยิปซัมบอร์ด	0.009	0.281	800	1.08
กระจก	ความหนา (ม.)	U-Value (W/(m ² .°C))	SHGC	VT
กระจกโพลติใส ความ หนา 5 มิลลิเมตร	0.005	4.85	0.96	0.90

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

วิธีการศึกษาการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ดำเนินการโดยสร้างแบบจำลองพื้นที่ปรับอากาศในรูปแบบของ Adiabatic module คือ การสร้างแบบจำลองที่อยู่ในสถานะไม่มีการถ่ายเทความร้อน เพื่อควบคุมตัวแปรที่จะเข้ามาอิทธิพลกับความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่กำหนดแต่ละชนิด โดยกำหนดให้กล่องทดสอบมีขนาด 1 ft x 1 ft x 1 ft และ กำหนดแต่ละด้านให้เป็นวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิด ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างแบบจำลองพื้นที่ปรับอากาศในรูปแบบของ Adiabatic module

ที่มา : ผู้วิจัย

ซึ่งในการคำนวณจะใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงในระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2554 - พ.ศ.2558) ของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรีมาใช้ในการศึกษา ทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศประเภทเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) โดยกำหนดให้มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และมีอุณหภูมิออกแบบภายในเท่ากับ 78 °F (25 °C)

ทำการแก้ไขค่า CLTD ให้เป็นไปตามสถานะของสถานที่ตั้งอาคารที่ต้องการคำนวณ จึงต้องแก้ไขตามเส้นละติจูดและเดือน (LM) และ สีของผนัง (K) รวมทั้งแก้ไขอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (to) และอุณหภูมิออกแบบภายในห้อง (tr) ในช่วงเวลาปรับอากาศ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดแก้ไขตามเส้นละติจูดและเดือน (LM) และ สีของผนัง (K)

Lat.	Month	N	E / W	S	K
14.45	Apr/Aug	-1	-1	-6	1

การหาค่า CLTD/CLF เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ สามารถหาได้จากการเทียบเคียงตารางคู่มือของ ASHRAE โดยค่า CLTD จะถูกแบ่งออกตามกลุ่มของผนังและหลังคา พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft².°F) และ น้ำหนักของผนังต่อพื้นที่ (lb/ ft²) ซึ่งมีการแยกรูปแบบผนังเป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ Group A, Group B, Group C, Group D, Group E, Group F และ Group G รวมถึงมีการแยกรูปแบบหลังคาออกเป็น 13 กลุ่ม ได้แก่ Group 1, Group 2, Group 3, Group 4, Group 5, Group 6, Group 7, Group 8, Group 9, Group 10, Group 11, Group 12 และ Group 13

ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft².°F) และ น้ำหนักต่อพื้นที่ (lb/ ft²) ของวัสดุประกอบอาคารของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

องค์ประกอบ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft ² .°F)	น้ำหนักของผนังต่อพื้นที่ (lb/ ft ²)	Group
ผนังทึบ (ปูนฉาบ + อิฐมวลเบา + ปูนฉาบ)	0.59	34.95	F
กระเบื้องลอนคู่สีอ่อน + ช่องว่างอากาศ + ยิปซัมบอร์ด	0.36	17.16	3

4.1.1.1 คำนวณค่า Heat gain ของวัสดุผนังทีบด้วยวิธี CLTD/CLF

กำหนดค่า CLTD เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ เทียบเคียงตามตารางคู่มือของ ASHRAE พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ โดยกลุ่มผนังที่กำหนด ได้แก่ Group F ดังรูปที่ 4.2

Table 30 Wall Construction Group Description

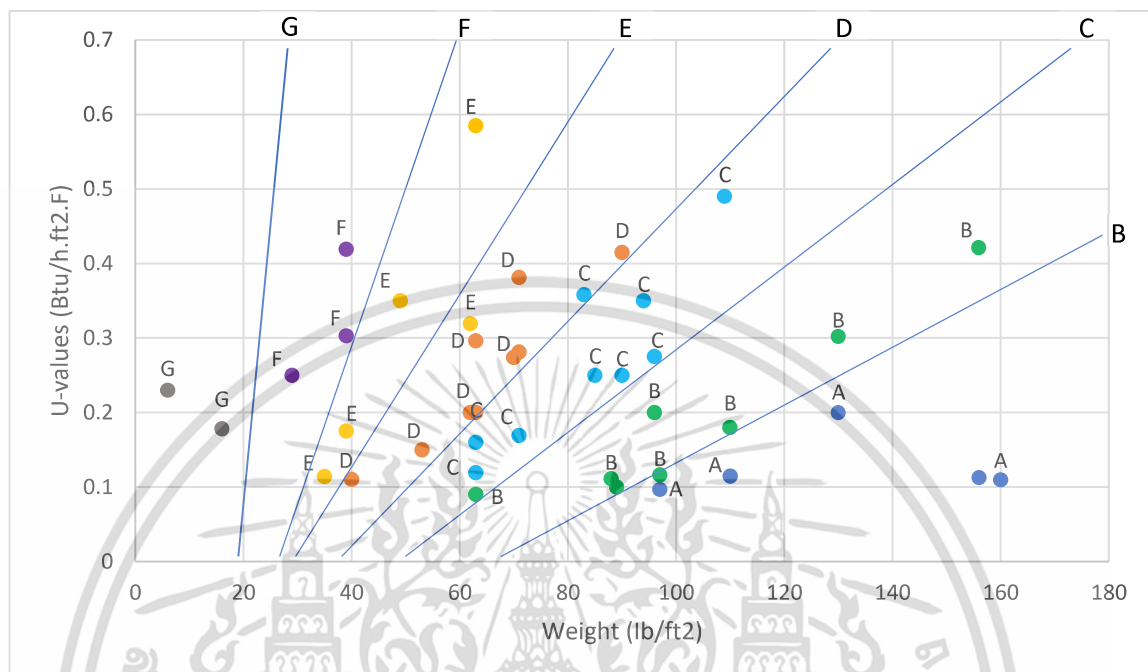
Group No.	Description of Construction	Weight (lb/ft ²)	U-Value (Btu/h·ft ² ·°F)	Code Numbers of Layers (see Table 26)
4-in. Face brick + (brick)				
C	Air space + 4-in. face brick	83	0.358	A0, A2, B1, A2, E0
D	4-in. common brick	90	0.415	A0, A2, C4, E1, E0
C	1-in. insulation or air space + 4-in. common 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
C	Air space + 4-in. tile	71	0.281	A0, A2, C1, B1, E1, E0
D	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	0.143	A0, C11, B6, A6, E0
Light and heavyweight concrete block + (finish)				
F	4-in. block + air space/insulation	39	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

รูปที่ 4.2 แสดงตารางการแยกกลุ่มผนังด้วยวิธีการคำนวณแบบ CLTD/CLF

ที่มา : 1989 Ashrae Handbook

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิแยกกลุ่มวัสดุผนังที่บตามวิธี CLTD/CLF ได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงแผนภูมิการกำหนดการแยกกลุ่มวัสดุผนังสำหรับการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF

ที่มา : ผู้วิจัย

จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft².°F) และ น้ำหนักต่อพื้นที่ (lb/ ft²) ของวัสดุผนังตามตารางที่ 4.3 เทียบกับรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มผนังของผนังที่บที่กำหนด อ้างอิงจากรายคู่มือของ ASHRAE ได้แก่ Group F และจึงทำการศึกษาโดยการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดด้วยวิธี CLTD/CLF โดยใช้ค่า CLTD ตามกลุ่มผนังที่กำหนด และ กลุ่มผนังอื่น ๆ

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า CLTDc ของผนัง Group A – Group G ของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
E	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
S	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	
W	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
Group A																									
CLTD (°F)																									
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	
CLTDc (°F)	K																								
N	1	11	11	10	8	8	8	7	10	12	15	16	18	20	20	20	20	18	16	15	14	13	12	13	12
E	1	21	21	19	18	17	16	15	17	20	22	25	27	30	31	32	33	31	29	28	27	25	24	24	-2
S	1	12	12	10	9	8	8	7	9	12	14	15	17	19	19	19	20	18	17	16	16	14	14	14	13
W	1	24	24	22	21	20	19	19	21	23	25	26	27	29	28	28	28	25	24	23	24	23	24	25	24

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

APRIL																								
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
LM																								
N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
E	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
S	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
W	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Group B																								
CLTD (°F)																								
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	9	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30
CLTDc (°F)	K																							
N	1	12	11	10	8	7	6	6	8	10	13	15	16	19	19	19	20	18	17	16	16	14	14	13
E	1	20	19	17	15	13	12	11	13	16	19	23	27	31	32	34	35	33	31	30	29	26	25	22
S	1	13	12	10	8	7	5	4	6	8	10	12	14	16	17	19	20	19	19	18	18	17	16	14
W	1	26	25	23	21	19	18	16	17	19	21	22	23	24	24	24	25	24	24	25	27	27	28	28

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

APRIL																								
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
LM																								
N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
E	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
S	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	
W	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
Group C																								
CLTD (°F)																								
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	25	24	22
W	31	29	27	25	22	20	19	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	33
CLTDc (°F)	K																							
N	1	12	11	9	7	6	5	4	6	9	11	13	16	18	19	20	22	20	19	18	18	17	16	14
E	1	19	18	15	12	10	9	7	10	15	20	25	30	35	37	39	39	37	35	33	31	28	26	22
S	1	13	11	9	6	5	3	2	3	5	8	10	13	16	19	22	25	24	24	23	23	20	19	15
W	1	28	26	23	20	17	15	14	14	15	17	18	20	22	23	24	26	27	29	32	34	35	34	31

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
E	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
S	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6		
W	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
Group D																									
CLTD (°F)																									
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	16	
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	
CLTDc (°F)	K																								
N	1	12	10	8	5	4	2	1	4	7	10	12	15	18	20	22	23	22	22	21	21	19	18	17	14
E	1	16	14	11	8	6	4	3	7	13	21	28	35	40	42	43	43	39	37	34	32	28	25	23	20
S	1	11	9	6	3	1	-1	-2	0	2	5	8	12	17	21	25	29	29	29	27	26	22	20	18	15
W	1	28	24	20	16	13	10	8	9	11	13	15	17	20	21	24	28	31	35	39	42	41	39	37	32

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
E	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
S	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	
W	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
Group E																									
CLTD (°F)																									
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17	
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	
W	25	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29	
CLTDc (°F)	K																								
N	1	9	7	4	2	0	-1	-2	2	6	10	13	16	21	23	25	27	26	25	24	25	20	17	15	12
E	1	11	9	6	3	1	0	1	9	19	30	39	43	48	47	46	44	40	37	33	30	25	21	19	15
S	1	7	4	1	-2	-3	-5	-6	-4	0	4	10	15	24	29	34	37	36	33	29	26	21	17	14	10
W	1	22	18	13	9	6	4	2	4	7	10	13	16	21	24	30	37	43	48	52	51	45	39	33	27

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
E	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
S	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	
W	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
Group F																									
CLTD (°F)																									
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	
S	10	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	
CLTDc (°F)	K																								
N	1	5	3	1	-2	-3	-4	-3	2	7	11	15	19	24	27	29	31	29	28	27	25	20	15	12	9
E	1	7	4	2	-1	-2	-3	1	15	29	42	50	53	53	49	46	44	39	35	30	26	21	16	14	10
S	1	2	0	-3	-6	-7	-8	-9	-6	-1	6	14	23	32	39	43	44	40	35	29	23	17	12	9	5
W	1	14	10	6	2	0	-1	-2	1	5	10	14	19	24	30	38	49	56	62	63	56	43	33	26	19

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
E	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
S	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	
W	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
Group G																									
CLTD (°F)																									
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6	
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5	
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8	
CLTDc (°F)	K																								
N	1	0	-1	-3	-5	-6	-3	2	6	10	16	21	26	31	33	34	34	32	31	25	17	11	8	6	3
E	1	1	-1	-3	-5	-6	6	26	45	55	59	56	48	43	41	40	39	34	29	22	17	12	9	7	4
S	1	-4	-6	-8	-10	-11	10	-9	-2	8	21	32	42	50	51	48	52	33	25	18	12	7	4	2	-2
W	1	3	2	-1	-3	-4	-4	-3	3	9	15	21	27	37	51	66	77	79	72	51	31	20	14	10	6

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณค่า heat gain ของวัสดุผนังที่มาจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของผนังกลุ่มต่าง ๆ

Group A	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.59	1	40.19	39.11	35.92	34.15	30.63	28.56	26.31	31.91	39.22	44.53	48.14	51.87	57.35	56.88	57.54	58.41	54.82	50.74	47.74	46.68	44.96	43.90	43.83	42.24	1055.6
Group B	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.59	1	41.96	38.52	35.33	31.79	27.68	24.43	21.59	25.42	30.96	36.86	42.24	46.56	52.63	53.34	55.77	57.82	56.00	53.69	51.87	51.99	50.27	49.21	47.37	45.19	1028.5
Group C	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.59	1	42.55	37.93	32.97	27.66	22.96	19.12	15.69	18.93	25.65	32.73	38.70	45.97	53.22	56.88	61.08	64.90	64.26	63.13	61.90	61.43	59.71	56.29	53.86	48.14	1065.7
Group D	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.59	1	39.60	32.62	26.48	19.99	14.70	9.09	-5.66	11.26	19.16	28.60	36.93	45.97	55.58	60.42	66.39	71.39	71.93	72.57	70.75	70.28	65.61	60.42	55.04	47.55	1058
Group E	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.59	1	28.98	21.41	14.09	8.19	2.90	-0.94	-3.19	5.95	18.57	31.55	44.01	54.82	66.79	71.63	78.78	84.37	86.09	84.37	80.78	76.77	66.20	55.70	46.78	37.50	1062.1
Group F	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.59	1	16.59	9.02	3.47	-3.02	-6.54	-9.20	-7.91	6.54	23.29	40.40	54.63	66.62	78	84.61	91.17	97.94	97.30	94.40	87.27	75.59	60.30	45.08	34.98	25.13	1072
Group G	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.59	1	0.07	-4.55	-8.92	-12.5	-15.4	-6.25	9.20	30.14	48.07	65.18	76.46	83.73	94.52	102.9	110	112.1	105.6	92.63	67.80	44.32	30.21	20.89	13.74	6.25	1066.3

4.1.1.2 คำนวณค่า Heat gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF

กำหนดค่า CLTD เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ เทียบเคียงตามตารางคู่มือของ ASHRAE พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ โดยกลุ่มที่กำหนด ได้แก่ กลุ่มหลังคามีฝ้า Group 3 ดังรูปที่ 4.4

Table 29 Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Calculating Cooling Load from Flat Roofs

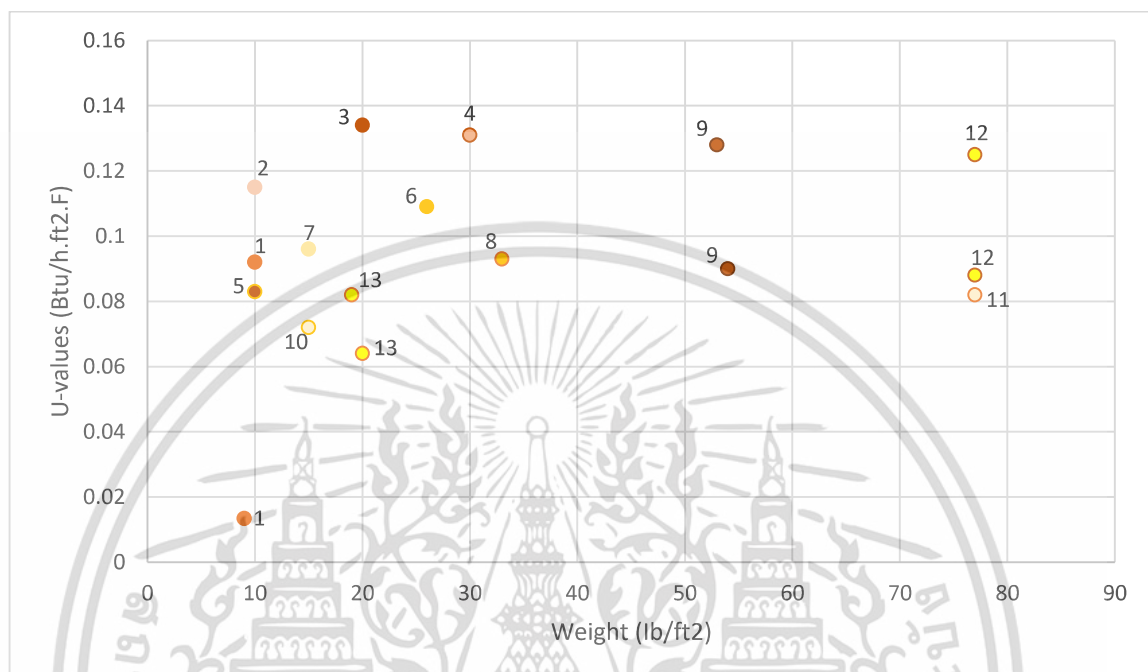
Roof No	Description of Construction	Weight, lb/ft ²	U-value, Btu/h·ft ² ·°F	Solar Time																								Hour of Day	Max. CLTD	Min. CLTD	Max. Diff. temp	Diff. temp
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Without Suspended Ceiling																																
1	Steel sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation	7 (8)	0.213 (0.124)	1	-2	-3	-3	-3	-3	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45	30	18	12	8	5	3	14	-5	79	84	
2	1-in. wood with 1-in. insulation	8	0.170	6	3	0	-1	-3	-3	-2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62	51	38	28	20	14	9	16	-3	74	77	
3	4-in. lightweight concrete	18	0.213	9	5	2	0	-2	-3	-3	1	9	20	32	44	55	64	70	73	71	66	57	45	34	25	18	13	16	-3	73	76	
4	2-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	29 (0.122)	-0.206 (0.122)	12	8	5	3	0	-1	-1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62	54	45	36	29	22	17	16	-1	67	68	
5	1-in. wood with 2-in. insulation	9	0.109	3	0	-3	-4	-5	-7	-6	-5	5	16	27	39	49	57	63	64	62	57	48	37	26	18	11	7	16	-7	64	71	
6	6-in. lightweight concrete	24	0.158	22	17	13	9	6	3	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64	62	57	50	42	35	28	18	1	64	63	
7	2.5-in. wood with 1-in. ins.	13	0.130	29	24	20	16	13	10	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55	56	54	49	44	39	34	19	6	56	50	
8	8-in. lightweight concrete	31	0.126	35	30	26	22	18	14	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	46	50	53	54	53	49	45	40	20	7	54	47	
9	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	52 (0.120)	0.200 (0.120)	25	22	18	15	12	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48	43	38	34	30	18	8	53	45	
10	2.5-in. wood with 2-in. ins.	13	0.093	30	26	23	19	16	13	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	49	51	50	47	43	39	35	19	8	51	43	
11	Roof terrace system	75	0.106	34	31	28	25	22	19	16	14	13	13	15	18	22	26	31	36	40	44	45	46	45	43	40	37	20	13	46	33	
12	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	75 (0.117)	0.192 (0.117)	31	28	25	22	20	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44	42	40	37	34	19	14	45	31	
13	4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation	17 (0.078)	0.106 (0.078)	38	36	33	30	28	25	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36	39	41	43	43	42	40	22	16	43	27	
With Suspended Ceiling																																
1	Steel Sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation	9 (10)	0.134 (0.092)	2	0	-2	-3	-4	-4	-1	9	23	37	50	62	71	77	78	74	67	56	42	28	18	12	8	5	15	-4	78	82	
2	1-in. wood with 1-in. ins.	10	0.115	20	15	11	8	5	3	2	3	7	13	21	30	40	48	55	60	62	61	58	51	44	37	30	25	17	2	62	60	
3	4-in. lightweight concrete	20	0.134	19	14	10	7	4	2	0	4	10	19	29	39	48	56	62	65	64	61	54	46	38	30	24	17	0	65	65		
4	2-in. heavyweight concrete with 1-in. insulation	30	0.131	28	25	23	20	17	15	13	13	14	16	20	25	30	35	39	43	46	47	46	44	41	38	35	32	18	13	47	34	
5	1-in. wood with 2-in. ins.	10	0.083	25	20	16	13	10	7	5	5	7	12	18	25	33	41	48	53	57	57	56	52	46	40	34	29	18	5	57	52	
6	6-in. lightweight concrete	26	0.109	32	28	23	19	16	13	10	8	7	8	11	16	22	29	36	42	45	52	54	54	51	47	42	37	20	7	54	47	
7	2.5-in. wood with 1-in. insulation	15	0.096	34	31	29	26	23	21	18	16	15	16	18	21	25	30	34	38	41	43	44	44	42	40	37	21	15	44	29		
8	8-in. lightweight concrete	33	0.093	39	36	33	29	26	23	20	18	15	14	15	17	20	25	29	34	38	42	45	46	45	44	42	21	14	46	32		
9	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) ins.	53 (0.090)	0.128 (0.090)	30	29	27	26	24	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	38	38	38	37	36	34	33	19	20	38	18	
10	2.5-in. wood with 2-in. ins.	15	0.072	35	33	30	28	26	24	22	20	18	18	18	20	22	25	28	32	35	38	40	41	41	40	39	37	21	18	41	23	
11	Roof terrace system	77	0.082	30	29	28	27	26	25	24	23	22	22	22	23	23	25	26	28	29	31	32	33	33	33	32	22	22	33	11		
12	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	77 (0.088)	0.125 (0.088)	29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	22	23	25	26	28	30	32	33	34	34	34	33	32	31	20	21	34	13	
13	4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation	19 (0.064)	0.082 (0.064)	35	34	33	32	31	29	27	26	24	23	22	21	22	24	25	27	30	32	34	35	36	37	36	23	21	37	16		

รูปที่ 4.4 แสดงตารางการแยกกลุ่มหลังคาด้วยวิธีการคำนวณแบบ CLTD/CLF

ที่มา : 1989 Ashrae Handbook

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิแยกกลุ่มวัสดุหลังคา (มีฝ้าเพดาน) ตามวิธี CLTD/CLF ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงแผนภูมิการกำหนดการแยกกลุ่มวัสดุหลังคาสำหรับการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF
ที่มา : ผู้วิจัย

จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft².F) และ น้ำหนักต่อพื้นที่ (lb/ ft²) ของวัสดุผนังตามตารางที่ 4.3 เทียบกับรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มของหลังคาที่กำหนดอ้างอิงจากรายการคู่มือของ ASHRAE ได้แก่ กลุ่มของหลังคาแบบมีฝ้าเพดาน Group 3 และจึงทำการศึกษาโดยการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดด้วยวิธี CLTD/CLF โดยใช้ค่า CLTD ตามกลุ่มที่กำหนด และ กลุ่มอื่น ๆ

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า CLTDc ของหลังคา Group 1 – Group 13 ของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
Roof/ceiling HOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
GROUP 1																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	2	0	-2	-3	-4	-4	-1	9	23	37	50	62	71	77	78	74	67	56	42	28	18	12	8	5	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	0	-2	2	-7	-8	-8	-5	8	25	42	57	71	82	88	89	85	75	62	46	31	19	12	8	4
GROUP 2																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	20	15	11	8	5	3	2	3	7	13	21	30	40	48	55	60	62	61	58	51	44	37	30	25	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	18	13	8	4	1	-1	-2	2	9	18	28	39	51	59	66	71	70	67	62	54	45	37	30	24
GROUP 3																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	19	14	10	7	4	2	0	0	4	10	19	29	39	48	56	62	65	64	61	54	46	38	30	24	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	17	12	7	3	0	-2	-4	-1	6	15	26	38	50	59	67	73	73	70	65	56	47	38	30	23

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
Roof/ceiling HOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
GROUP 4																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	28	25	23	20	17	15	13	13	14	16	20	25	30	35	39	43	46	47	46	44	41	38	35	32	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	26	23	20	17	13	11	9	12	16	21	27	34	41	46	50	54	54	53	50	47	42	38	35	31
GROUP 5																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	25	20	16	13	10	7	5	5	7	12	18	25	33	41	48	53	57	57	56	52	46	40	34	29	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	23	18	13	9	6	3	1	4	9	17	25	34	44	52	59	64	65	63	60	55	47	40	34	28
GROUP 6																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	32	28	23	19	16	13	10	8	7	8	11	16	22	29	36	42	48	52	54	54	51	47	42	37	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	30	26	20	15	12	9	6	7	9	13	18	25	33	40	47	53	56	58	58	57	52	47	42	36

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
Roof/ceiling HOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
GROUP 7																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	34	31	29	26	23	21	18	16	15	15	16	18	21	25	30	34	38	41	43	44	44	42	40	37	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	32	29	26	22	19	17	14	15	17	20	23	27	32	36	41	45	46	47	47	47	45	42	40	36
GROUP 8																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	39	36	33	29	26	23	20	18	15	14	14	15	17	20	25	29	34	38	42	45	46	45	44	42	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	37	34	30	25	22	19	16	17	17	19	21	24	28	31	36	40	42	44	46	48	47	45	44	41
GROUP 9																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	30	29	27	26	24	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	38	38	38	37	36	34	33	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	28	27	24	23	20	18	17	19	22	26	29	33	38	40	43	45	44	44	42	41	38	36	34	32

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
Roof/ceiling HOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
GROUP 10																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	35	33	30	28	26	24	22	20	18	18	18	20	22	25	28	32	35	38	40	41	41	40	39	37	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	33	31	27	24	22	20	18	19	20	23	25	29	33	36	39	43	43	44	44	44	42	40	39	36
GROUP 11																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	30	29	28	27	26	25	24	23	22	22	22	23	23	25	26	28	29	31	32	33	33	33	33	32	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	28	27	23	22	21	20	22	24	27	29	32	34	36	37	37	39	37	37	36	36	34	33	33	31
GROUP 12																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	22	23	25	26	28	30	32	33	34	34	34	33	32	31	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	27	26	34	22	21	20	19	21	23	26	29	32	36	37	39	41	40	39	38	37	35	33	32	30

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

APRIL																									
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
To (DB) (°F)	83	83	82	81	81	81	81	84	87	90	92	94	96	96	96	96	93	91	89	88	86	85	85	84	
Tr (°F)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
LM																									
Roof/ceiling HOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
GROUP 13																									
CLTD (°F)																									
Roof/ceiling	35	34	33	32	31	29	27	26	24	23	22	21	22	22	24	25	27	30	32	34	35	36	37	36	
CLTDc (°F)	K																								
Roof/ceiling	1	33	32	30	29	27	25	23	25	26	28	29	30	33	33	35	36	35	36	36	37	36	36	37	35

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการคำนวณค่า heat gain ของวัสดุหลังคาจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของหลังคากลุ่มต่าง ๆ

Group	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
Group 1	0.36	1	0.01	-0.87	0.66	-2.35	-2.80	-2.84	-1.84	2.80	8.95	15.07	20.48	25.46	29.45	31.54	31.91	30.42	27.08	22.32	16.46	10.99	6.95	4.36	2.73	1.40	278.34
	0.36	1	6.49	4.53	2.87	1.61	0.44	-0.32	-0.76	0.64	3.19	6.43	10.04	13.94	18.29	21.10	23.63	25.38	25.28	24.12	22.22	19.27	16.31	13.36	10.65	8.60	277.31
Group 3	0.36	1	6.13	4.17	2.51	1.25	0.08	-0.68	-1.48	-0.44	2.11	5.35	9.32	13.58	17.93	21.10	23.99	26.10	26.36	25.20	23.30	20.35	17.03	13.72	10.65	8.24	275.87
	0.36	1	9.37	8.13	7.19	5.93	4.76	4.00	3.20	4.24	5.71	7.51	9.68	12.14	14.69	16.42	17.87	19.26	19.52	19.08	17.90	16.75	15.23	13.72	12.45	11.12	275.87
Group 5	0.36	1	8.29	6.33	4.67	3.41	2.24	1.12	0.32	1.36	3.19	6.07	8.96	12.14	15.77	18.58	21.11	22.86	23.48	22.68	21.50	19.63	17.03	14.44	12.09	10.07	277.31
	0.36	1	10.81	9.21	7.19	5.57	4.40	3.28	2.12	2.44	3.19	4.63	6.44	8.90	11.81	14.26	16.79	18.90	20.24	20.88	20.78	20.35	18.83	16.96	14.97	12.92	275.87
Group 7	0.36	1	11.53	10.29	9.35	8.09	6.92	6.16	5.00	5.32	6.07	7.15	8.24	9.62	11.45	12.82	14.63	16.02	16.64	16.92	16.82	16.75	16.31	15.15	14.25	12.92	274.43
	0.36	1	13.33	12.09	10.79	9.17	8.00	6.88	5.72	6.04	6.07	6.79	7.52	8.54	10.01	11.02	12.83	14.22	15.20	15.84	16.46	17.11	17.03	16.24	15.69	14.72	277.31

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

Group 9	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.36	1	10.09	9.57	8.63	8.09	7.28	6.52	6.08	6.76	7.87	9.31	10.10	11.78	13.61	14.26	15.35	16.02	15.92	15.84	15.02	14.59	13.79	13.00	12.09	11.48	273.35
Group 10	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.36	1	11.89	11.01	9.71	8.81	8.00	7.24	6.44	6.76	7.15	8.23	8.96	10.34	11.81	12.82	13.91	15.30	15.56	15.84	15.74	15.67	15.23	14.44	13.89	12.92	277.67
Group 11	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.36	1	10.09	9.57	8.99	8.45	8.00	7.60	7.16	7.84	8.59	9.67	10.40	11.42	12.17	12.82	13.19	13.86	13.40	13.32	12.86	12.79	12.35	11.92	11.73	11.12	259.31
Group 12	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.36	1	9.73	9.21	8.63	8.09	7.64	7.24	6.80	7.48	8.23	9.31	10.40	11.42	12.89	13.18	13.91	14.58	14.48	14.04	13.58	13.15	12.71	11.92	11.37	10.76	260.75
Group 13	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม
	0.36	1	11.89	11.37	10.79	10.25	9.80	9.04	8.24	8.92	9.31	10.03	10.40	10.70	11.81	11.74	12.47	12.78	12.68	12.96	12.86	13.15	13.07	13.00	13.17	12.56	272.99

4.1.1.3 คำนวณค่า Heat gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF

กำหนดค่า CLF เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ เทียบเคียงตามตารางคู่มือของ ASHRAE พิจารณาจากทิศ และ ลักษณะโครงสร้างอาคาร ดังรูปที่ 4.6

Air-Conditioning Cooling Load

26.41

Table 36 Cooling Load Factors (CLF) for Glass Without Interior Shading, North Latitudes, General

Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N (Shaded)	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.75	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.49	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.75	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NNE	L	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.26	0.43	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.33	0.30	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.24	0.38	0.42	0.39	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.34	0.33	0.30	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.26	0.39	0.42	0.39	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
ENE	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.21	0.40	0.52	0.57	0.53	0.45	0.39	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.20	0.35	0.45	0.49	0.47	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.23	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.20	0.34	0.45	0.49	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.50	0.42	0.37	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.46	0.39	0.35	0.31	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.20	0.34	0.45	0.49	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
ESE	L	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.17	0.34	0.49	0.58	0.61	0.57	0.48	0.41	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06
	M	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.16	0.31	0.43	0.51	0.54	0.51	0.44	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11
	H	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.19	0.32	0.43	0.50	0.52	0.49	0.41	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.56	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
SSE	L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.15	0.29	0.43	0.55	0.63	0.64	0.60	0.52	0.45	0.40	0.35	0.29	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08
	M	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.08	0.16	0.26	0.38	0.48	0.55	0.57	0.54	0.48	0.43	0.39	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12
	H	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.12	0.19	0.29	0.40	0.49	0.54	0.55	0.51	0.44	0.39	0.35	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.45	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.37	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SSW	L	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.27	0.39	0.52	0.62	0.67	0.65	0.58	0.46	0.36	0.28	0.23	0.19	0.15	0.12
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.25	0.35	0.46	0.55	0.59	0.59	0.53	0.44	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.27	0.37	0.46	0.53	0.57	0.55	0.49	0.40	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16
SW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
WSW	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.17	0.26	0.40	0.52	0.62	0.66	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15
	M	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.17	0.24	0.35	0.46	0.54	0.58	0.55	0.42	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.19	0.26	0.36	0.46	0.53	0.56	0.51	0.38	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
W	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.26	0.40	0.52	0.62	0.66	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.17	0.24	0.35	0.46	0.54	0.58	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.19	0.26	0.36	0.46	0.53	0.56	0.51	0.38	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
WNW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.26	0.40	0.53	0.63	0.62	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.24	0.35	0.46	0.55	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.23	0.36	0.46	0.53	0.52	0.38	0.30	0.24	0.20	0.18	0.16
NW	L	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.42	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.54	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.18	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15
NNW	L	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.27	0.29	0.30	0.33	0.44	0.57	0.62	0.44	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.27	0.28	0.31	0.39	0.51	0.56	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.26	0.28	0.28	0.31	0.38	0.49	0.53	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16
HOR	L	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07	0.14	0.24	0.36	0.48	0.58	0.66	0.72	0.74	0.73	0.67	0.59	0.47	0.37	0.29	0.24	0.19	0.16	0.13
	M	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.56	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.20	0.28	0.36	0.45	0.52	0.59												

ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดค่า CLF ของกระจก ของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

APRIL																								
TIME/hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLF (°F)																								
N	.23	.2	.18	.16	.14	.34	.41	.46	.53	.59	.65	.70	.73	.75	.76	.74	.75	.79	.61	.50	.42	.36	.31	.27
E	.07	.06	.06	.05	.05	.18	.33	.44	.50	.51	.46	.39	.35	.31	.29	.26	.23	.21	.17	.15	.13	.11	.10	.08
S	.12	.11	.09	.08	.07	.08	.11	.14	.21	.31	.42	.52	.57	.58	.53	.47	.41	.36	.29	.25	.21	.18	.16	.14
W	.15	.13	.11	.10	.09	.09	.09	.10	.11	.12	.13	.14	.19	.29	.40	.50	.56	.55	.41	.33	.27	.23	.20	.17

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการคำนวณค่า heat gain ของวัสดุกระจกจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF

กระจก	SC	SHGF (BTU/h)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม	
โพลติส	N	0.95	39	1	8.52	7.41	6.67	5.93	5.19	12.60	15.19	17.04	19.64	21.86	24.08	25.94	27.05	27.79	28.16	27.42	27.79	29.27	22.60	18.53	15.56	13.34	11.49	10.00	429.04
	E	0.95	227	1	15.10	12.94	12.94	10.78	10.78	38.82	71.16	94.89	107.8	110	99.20	84.10	75.48	66.85	62.54	56.07	49.60	45.29	36.66	32.35	28.03	23.72	21.57	17.25	1183.9
ความหนา 5 มม.	S	0.95	45	1	5.13	4.70	3.85	3.42	2.99	3.42	4.70	5.99	8.98	13.25	17.96	22.23	24.37	24.80	22.66	20.09	17.53	15.39	12.40	10.69	8.98	7.70	6.84	5.99	274.03
	W	0.95	227	1	32.35	28.03	23.72	21.57	19.41	19.41	19.41	21.57	23.72	25.88	28.03	30.19	40.97	62.54	86.26	107.8	120.8	118.6	88.42	71.16	58.23	49.60	43.13	36.66	1177.5
Total					61.09	53.09	47.18	41.70	38.37	74.24	110.5	139.5	160.2	171	169.3	162.5	167.9	182	199.6	211.4	215.7	208.6	160.1	132.7	110.8	94.35	83.02	69.90	3064.4

4.1.2 คำนวณหาค่า Heat Gain ของวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ในการศึกษาการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ดำเนินการโดยสร้างแบบจำลองพื้นที่ปรับอากาศในรูปแบบของ Adiabatic module ซึ่งกำหนดให้กล่องทดสอบมีขนาด 1 ft x 1 ft x 1 ft และ กำหนดให้เป็นวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิด อ้างอิงจากรูปที่ 4.1 โดยสร้างแบบจำลองผ่าน BDL Processor ในการแปลงค่าข้อมูลต่างๆ ที่ผู้ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ ให้อยู่ในรูปของฟอร์ม 3 มิติ

จากการใช้โปรแกรม DOE2.1E ver.121 ในการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน โดยใช้กล่องทดสอบ และข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงในระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2554 - พ.ศ.2558) ของเดือนเมษายน ของจังหวัดกาญจนบุรี มาใช้ในการศึกษา ทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศประเภทเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) โดยกำหนดให้มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และมีอุณหภูมิออกแบบภายในเท่ากับ 78 °F (25 °C) จึงได้ผลการคำนวณค่า Heat Gain เฉลี่ยรายชั่วโมงของวัสดุแต่ละชนิดในหน่วย BTU ของเดือนเมษายน ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ผนังทึบ (ปูนฉาบ + อิฐมวลเบา + ปูนฉาบ)	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม		
			N	0.59	1	5.33	4.63	3.83	3.37	2.77	2.47	2.00	2.10	2.97	4.53	6.47	8.37	9.97	11.4	12.5	13.4	13.7	13.4	12.5	11.0	9.63	8.37	7.27	6.27
E	0.59	1	5.83	4.97	4.37	3.63	3.13	2.63	2.33	2.57	4.63	8.53	13	16.5	17.9	17.7	17.5	17	16.4	15.3	13.9	12.2	10.5	9.03	7.83	6.87	234.27		
S	0.59	1	5.50	4.80	4.00	3.43	3.03	2.47	2.10	2.03	2.87	4.43	6.63	8.80	11.1	13	14.2	14.9	15	14.3	13	11.4	9.83	8.53	7.47	6.40	189.10		
W	0.59	1	7.87	6.77	5.73	4.80	4.10	3.57	2.93	2.83	3.43	4.83	6.53	8.20	9.87	12.2	15.5	18.9	21.4	22.4	21.2	18.7	15.7	13.2	11.1	9.47	251.17		
Total			24.53	21.2	17.9	15.2	13	11.1	9.37	9.53	13.9	22.3	32.6	41.8	48.8	54.2	59.8	64.2	66.5	65.4	60.6	53.3	45.7	39.1	33.7	29	852.87		
กระจก โพลีใส ความหนา 5 มม.	SC	SHGF (BTU/h)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม	
	N	0.95	39	1	12.47	10.8	9.23	8.03	6.80	5.90	5.63	9.57	15.4	21.9	26.6	30.9	35.3	37.5	39.2	40.4	38.2	34.2	30.1	25.5	22.1	19.4	16.7	14.5	516.47
	E	0.95	227	1	16.30	14	12.1	10.5	8.97	7.80	7.23	15.9	33.0	51.0	61	61.2	59.0	57.6	56.1	54.7	49.8	44.1	38.2	32.8	28.6	25.0	21.6	18.7	785.27
	S	0.95	45	1	13.00	11.2	9.57	8.30	7.03	6.13	5.97	9.30	15.2	22	27.6	33.0	38.3	40.9	42.4	42.8	39.7	35.4	30.5	26.1	22.6	19.9	17.2	14.9	539.07
	W	0.95	227	1	26.30	22.7	19.6	17	14.6	12.7	11.6	14.2	18.3	24.2	28.3	32.1	37.2	48.4	62.1	73.2	77.3	72.1	64.5	53.4	46.4	40.6	35.1	30.5	882.60
Total			68.07	58.6	50.5	43.8	37.4	32.6	30.4	48.9	82.4	119	144	157	170	184	200	211	205	186	163	138	120	105	90.6	78.6	2723.4		
หลังคา (กระเบื้อง+ ช่องว่าง อากาศ+ฝ้า)	U (BTU/ft ² .°F)	A (ft ²)	Sensible Heat Gain (BTU)																										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	รวม		
			0.36	1	6.13	5.57	4.80	4.57	4.07	3.77	3.77	6.53	10.73	15.33	19.63	23.20	25.00	25.07	22.73	21.30	17.43	13.87	11.80	10.20	9.13	8.37	7.33	6.70	287.03

4.1.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

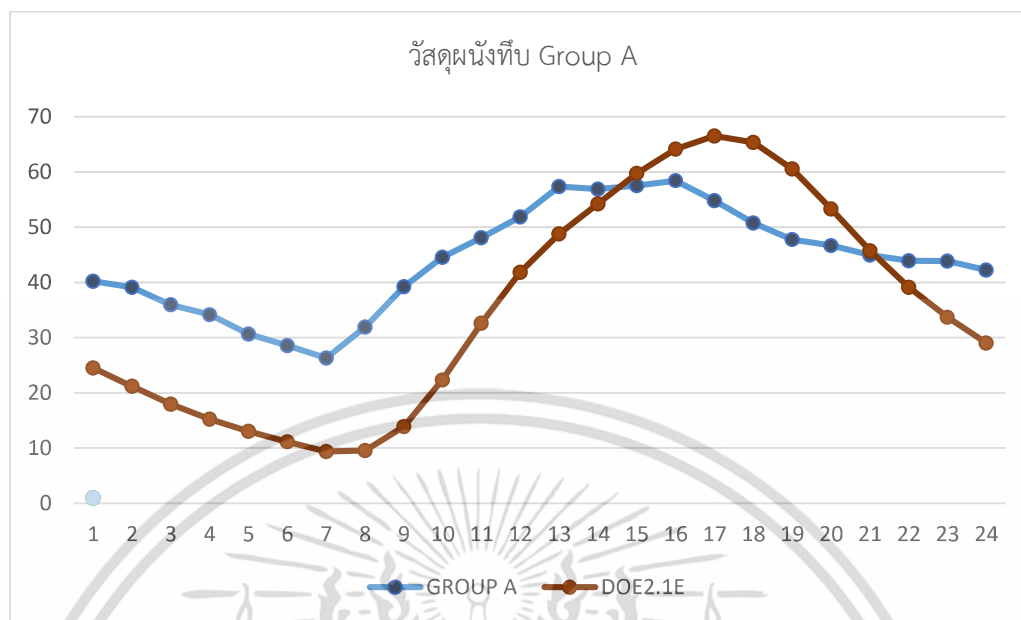
4.1.3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังที่บด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

จากผลการคำนวณค่า Heat Gain ด้วยวิธี CLTD/CLF และ ด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ในหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 จึงทำการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุผนังที่กลุ่มต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ดังตารางที่ 4.11



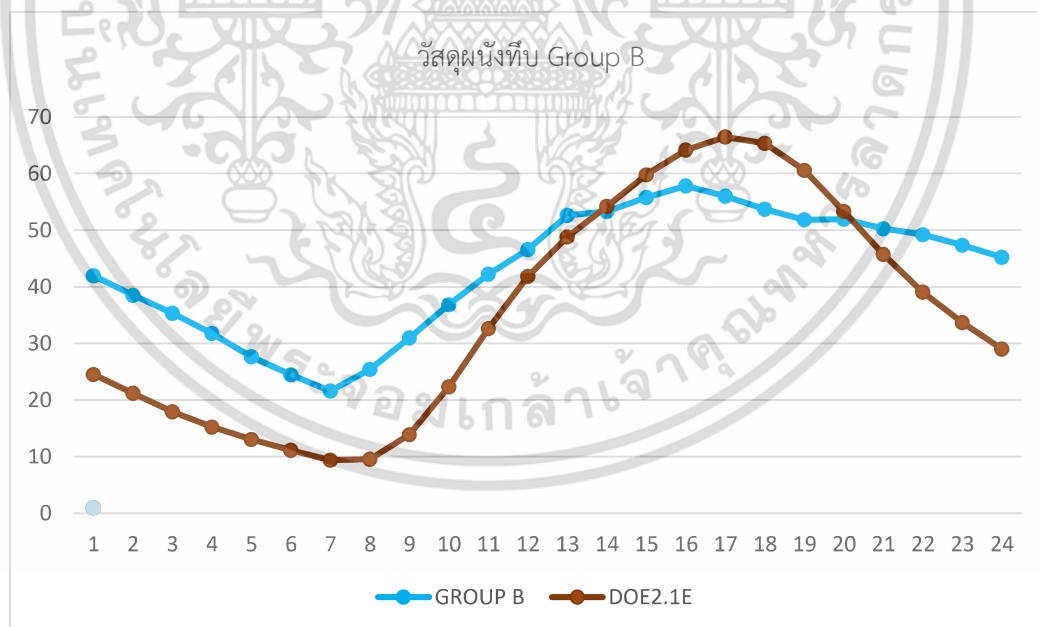
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังกลุ่มต่าง ๆ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	DOE2.1E	CLTD/CLF													
		Group A	ERROR	Group B	ERROR	Group C	ERROR	Group D	ERROR	Group E	ERROR	Group F	ERROR	Group G	ERROR
1	24.53	40.19	15.66	41.96	17.43	42.55	18.02	39.60	15.07	28.98	4.45	16.59	7.94	0.07	24.46
2	21.17	39.11	17.94	38.52	17.35	37.93	16.76	32.62	11.45	21.41	0.24	9.02	12.15	-4.55	25.72
3	17.93	35.92	17.99	35.33	17.40	32.97	15.04	26.48	8.55	14.09	3.84	3.47	14.46	-8.92	26.85
4	15.23	34.15	18.92	31.79	16.56	27.66	12.43	19.99	4.76	8.19	7.04	-3.02	18.25	-12.46	27.69
5	13.03	31.81	18.78	27.68	14.65	22.96	9.93	14.70	1.67	2.90	10.13	-6.54	19.57	-15.39	28.42
6	11.13	29.74	18.61	24.43	13.30	19.12	7.99	9.09	2.04	-0.94	12.07	-9.20	20.33	-6.25	17.38
7	9.37	28.08	18.71	21.59	12.22	15.10	5.73	5.66	3.71	-3.19	12.56	-7.91	17.28	9.20	0.17
8	9.53	32.50	22.97	25.42	15.89	18.93	9.40	11.26	1.73	5.95	3.58	6.54	2.99	30.14	20.61
9	13.90	39.22	25.32	30.96	17.06	25.65	11.75	19.16	5.26	18.57	4.67	23.29	9.39	48.07	34.17
10	22.33	44.53	22.20	36.86	14.53	32.73	10.40	28.60	6.27	31.55	9.22	40.40	18.07	65.18	42.85
11	32.63	48.14	15.51	42.24	9.61	38.70	6.07	36.93	4.30	44.01	11.38	54.63	22.00	76.46	43.83
12	41.83	51.87	10.04	46.56	4.73	45.97	4.14	45.97	4.14	54.82	12.99	66.62	24.79	83.73	41.90
13	48.80	57.35	8.55	52.63	3.83	53.22	4.42	55.58	6.78	66.79	17.99	78.00	29.20	94.52	45.72
14	54.23	56.88	2.65	53.34	0.89	56.88	2.65	60.42	6.19	71.63	17.40	84.61	30.38	102.90	48.67
15	59.77	57.54	2.23	55.77	4.00	61.08	1.31	66.39	6.62	78.78	19.01	91.17	31.40	110.05	50.28
16	64.17	58.41	5.76	57.82	6.35	64.90	0.73	71.39	7.22	84.37	20.20	97.94	33.77	112.10	47.93
17	66.50	54.82	11.68	56.00	10.50	64.26	2.24	71.93	5.43	86.09	19.59	97.30	30.80	105.56	39.06
18	65.37	50.74	14.63	53.69	11.68	63.13	2.24	72.57	7.20	84.37	19.00	94.40	29.03	92.63	27.26
19	60.57	47.74	12.83	51.87	8.70	61.90	1.33	70.75	10.18	80.78	20.21	87.27	26.70	67.80	7.23
20	53.33	46.68	6.65	51.99	1.34	61.43	8.10	70.28	16.95	76.77	23.44	75.59	22.26	44.32	9.01
21	45.73	44.96	0.77	50.27	4.54	59.71	13.98	65.61	19.88	66.20	20.47	60.30	14.57	30.21	15.52
22	39.10	43.90	4.80	49.21	10.11	56.29	17.19	60.42	21.32	55.70	16.60	45.08	5.98	20.89	18.21
23	33.67	43.83	10.16	47.37	13.70	53.86	20.19	55.04	21.37	46.78	13.11	37.98	4.31	13.74	19.93
24	29.00	42.24	13.24	45.19	16.19	48.14	19.14	47.55	18.55	37.52	8.52	25.13	3.87	6.25	22.75
รวม	852.85	1,060.35	207.50	1,028.49	175.64	1,065.07	212.22	1,057.99	205.14	1,062.12	209.27	1072.02	219.17	1,066.25	213.40
RMSE			3.03		2.49		2.26		2.20		2.90		4.30		6.50



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group A) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

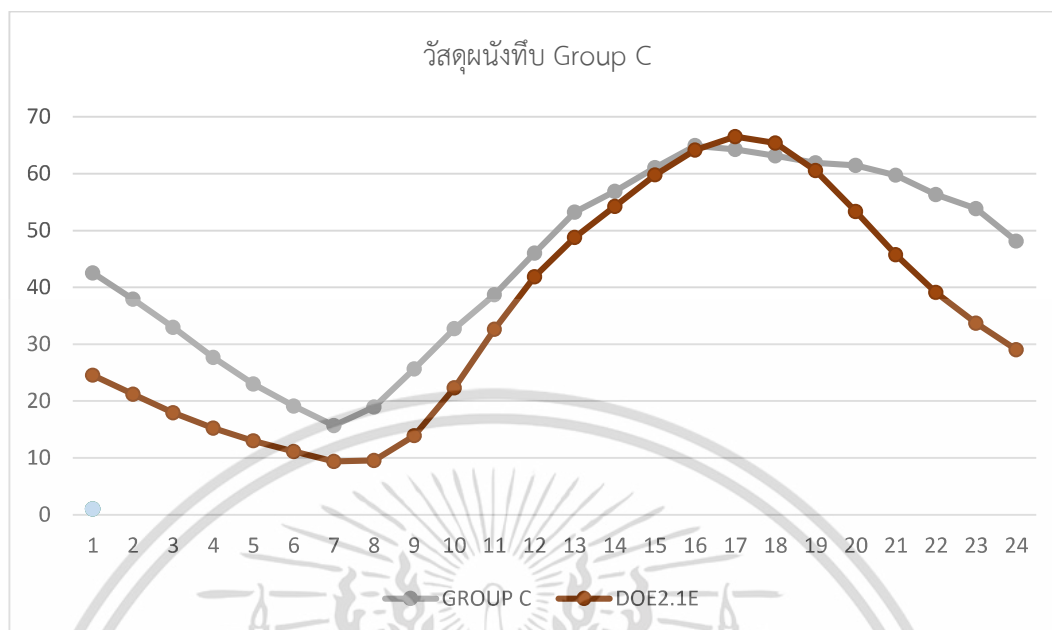
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group B) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

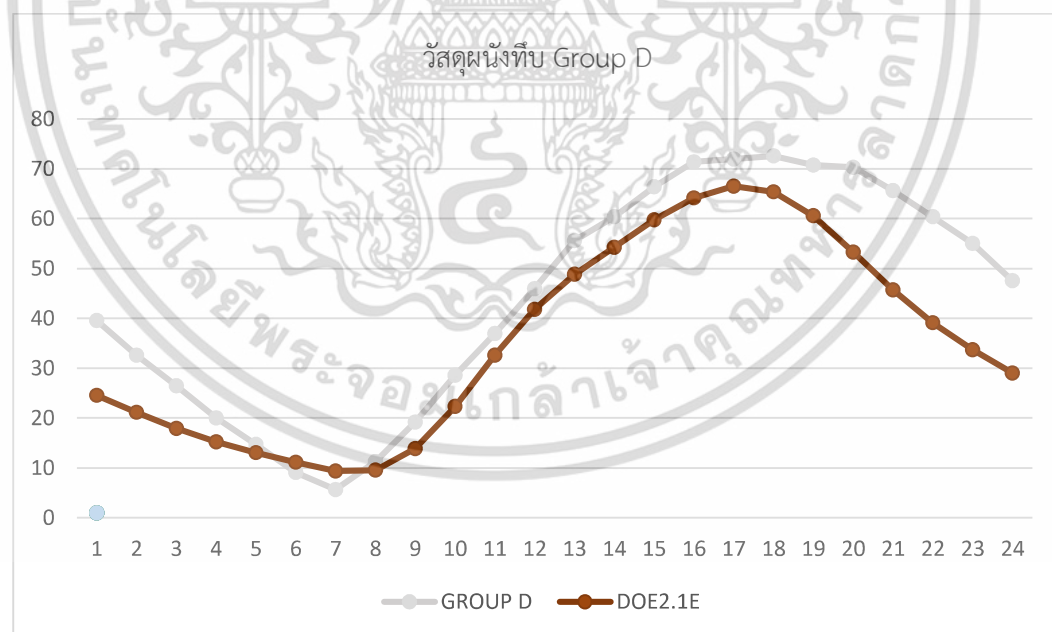
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบ ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group C) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

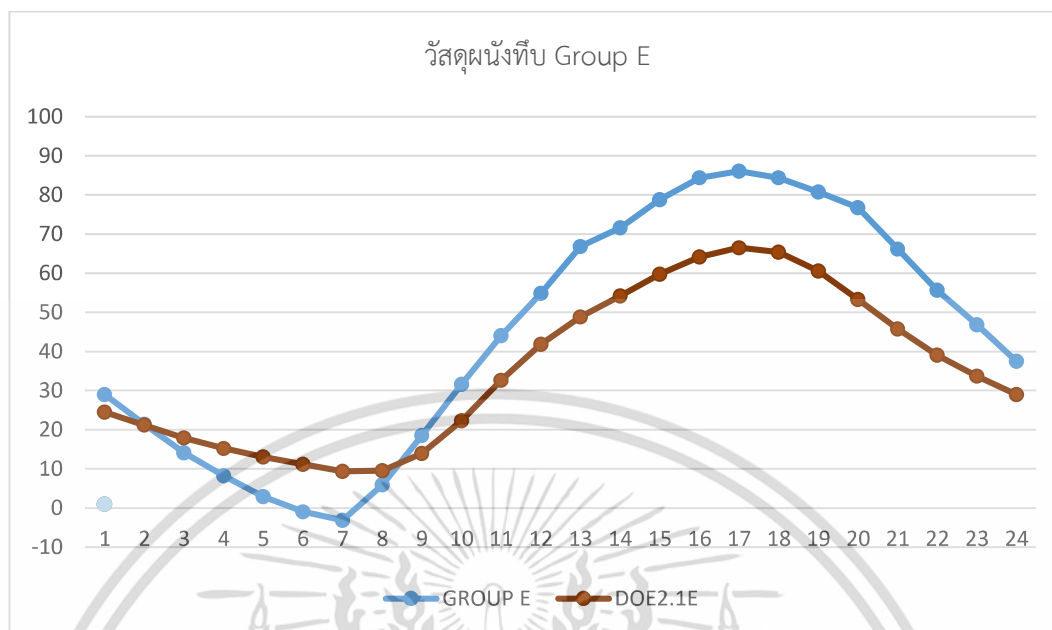
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group D) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

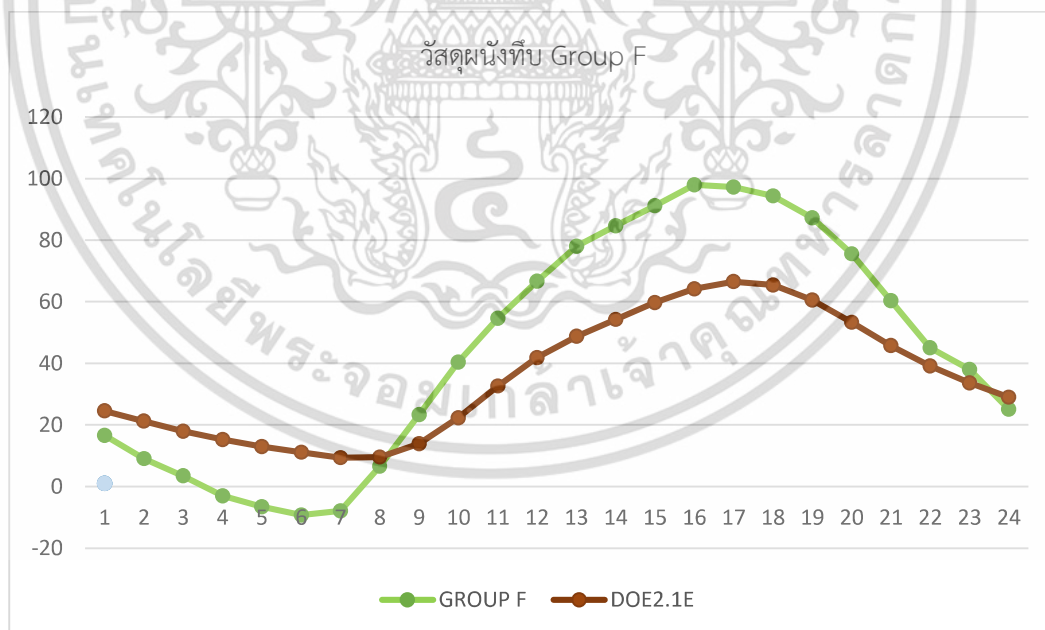
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group E) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

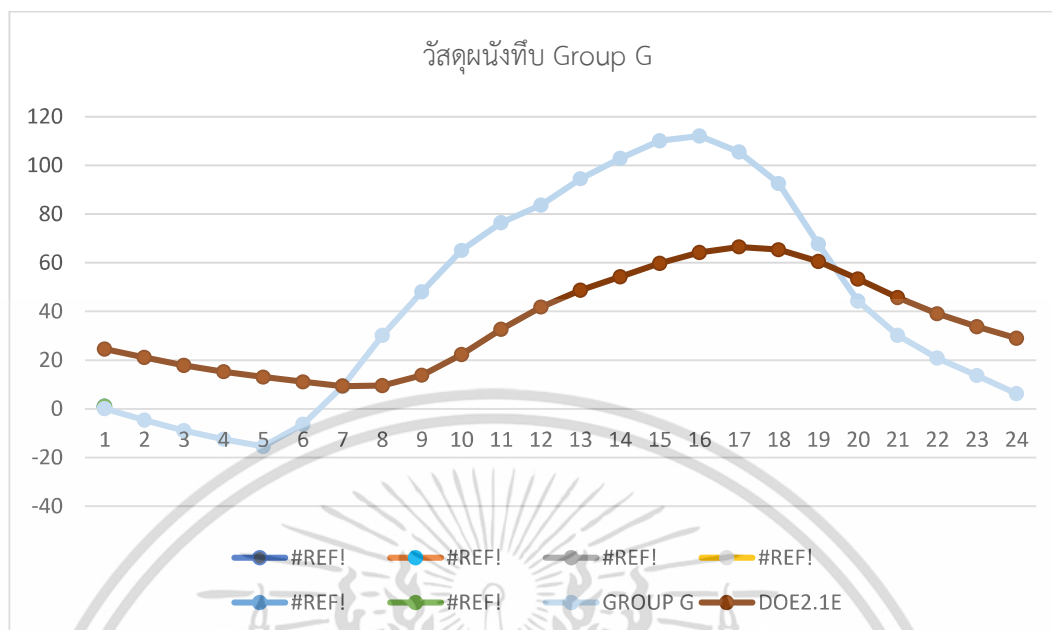
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group F) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

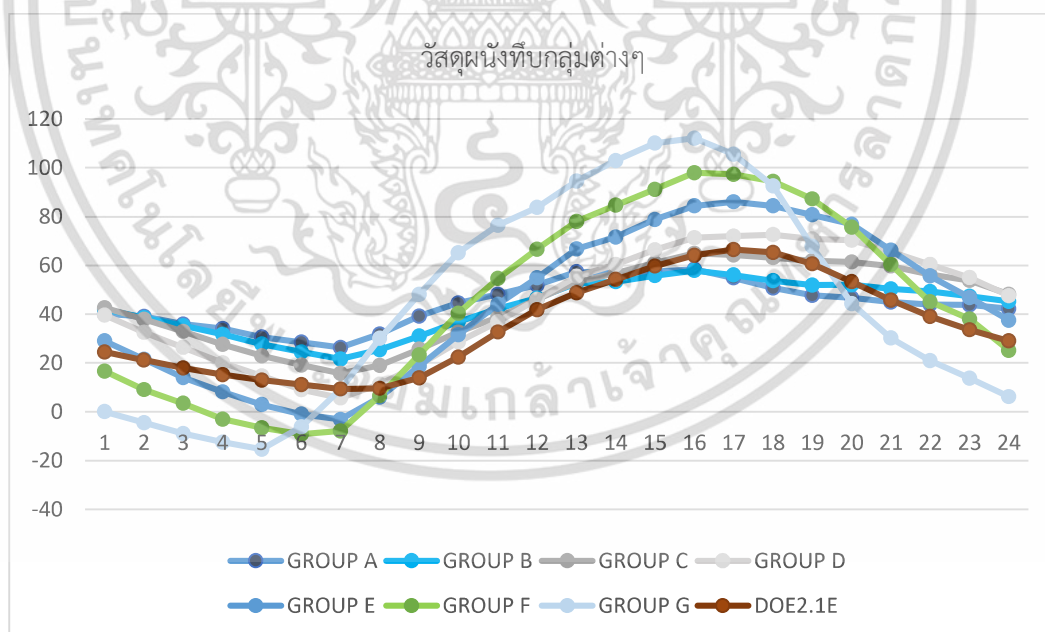
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group G) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

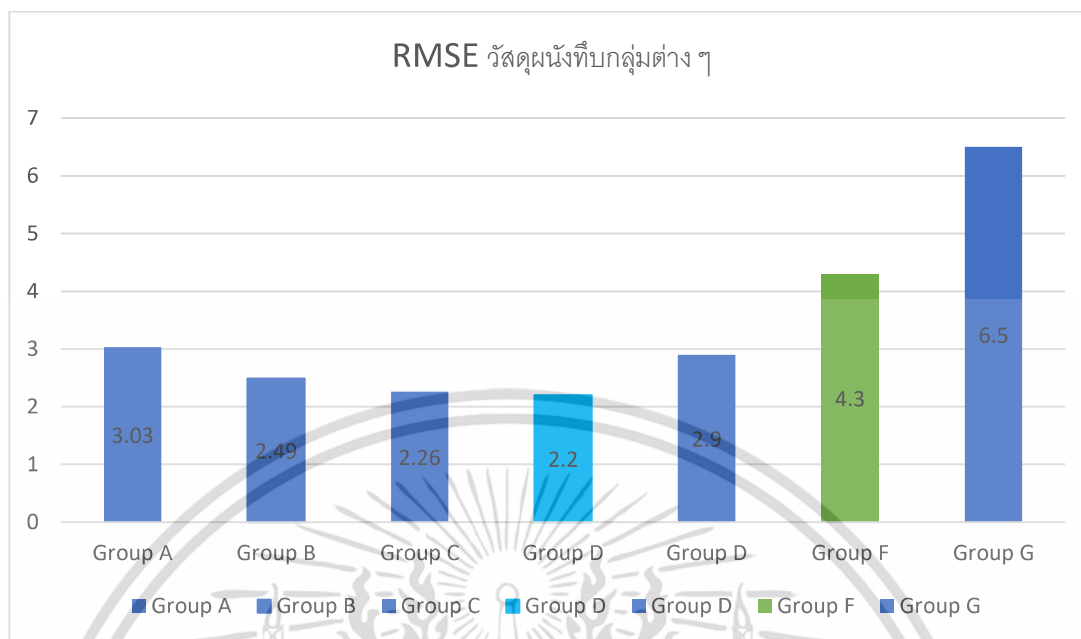
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบกลุ่มต่างๆ รายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนรวมของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังที่บ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E
ที่มา : ผู้วิจัย

จากการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังที่บกลุ่มต่าง ๆ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E สรุปผลดังตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.14 พบว่าผลรวมของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุผนังทุกกลุ่มให้ค่าที่สูงกว่าการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E และ ความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังที่บด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ของวัสดุผนังที่บ GROUP D มีค่า RMSE น้อยที่สุด คือ 2.20 ในขณะที่กลุ่มผนังที่บกำหนดมีค่า RMSE เท่ากับ 4.30 และจากรูปที่ 4.7 - รูปที่ 4.13 พบว่ากราฟ GROUP D (รูปที่ 4.10) มีรูปทรงของกราฟเข้าใกล้กราฟของผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DOE2.1E มากที่สุด

4.1.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

จากผลการคำนวณค่า Heat Gain ด้วยวิธี CLTD/CLF และ ด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ในหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 จึงทำการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุหลังคากลุ่มต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ดังตารางที่ 4.12

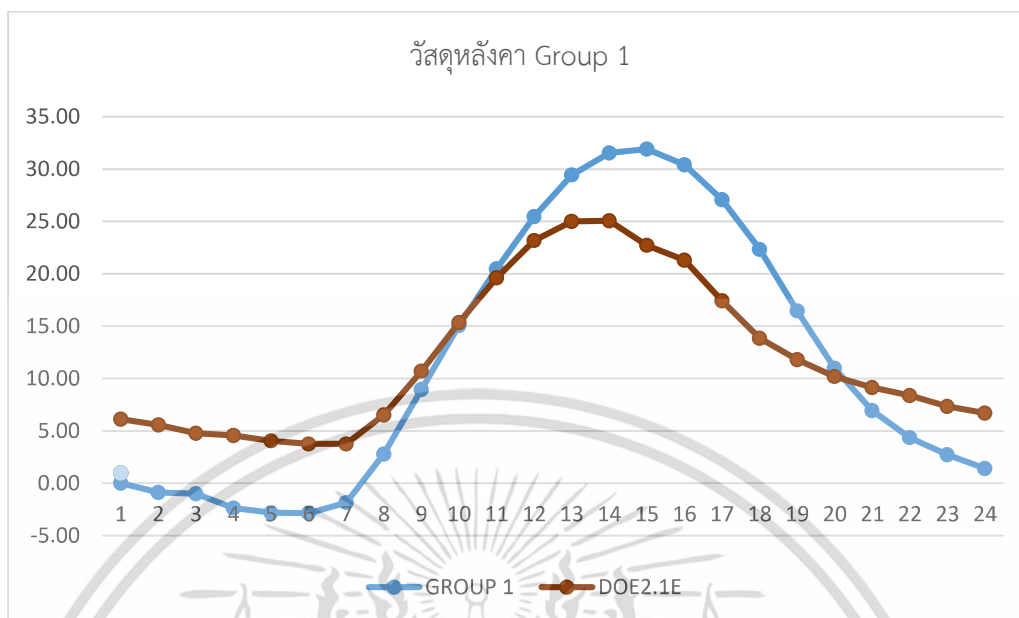


ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคากลุ่มต่าง ๆ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	DOE2.1E	CLTD/CLF													
		Group 1	ERROR	Group 2	ERROR	Group 3	ERROR	Group 4	ERROR	Group 5	ERROR	Group 6	ERROR	Group 7	ERROR
1	6.13	0.01	6.12	6.49	0.36	6.13	0.00	9.37	3.24	8.29	2.16	10.81	4.68	11.53	5.40
2	5.57	-0.87	6.44	4.53	1.04	4.17	1.40	8.13	2.56	6.33	0.76	9.21	3.64	10.29	4.72
3	4.80	0.66	4.14	2.87	1.93	2.51	2.29	7.19	2.39	4.67	0.13	7.19	2.39	9.35	4.55
4	4.57	-2.35	6.92	1.61	2.96	1.25	3.32	5.93	1.36	3.41	1.16	5.57	1.00	8.09	3.52
5	4.07	-2.80	6.86	0.44	3.62	0.08	3.98	4.76	0.70	2.24	1.82	4.40	0.34	6.92	2.86
6	3.77	-2.84	6.61	-0.32	4.09	-0.68	4.45	4.00	0.23	1.12	2.65	3.28	0.49	6.16	2.39
7	3.77	-1.84	5.60	-0.76	4.52	-1.48	5.24	3.20	0.56	0.32	3.44	2.12	1.64	5.00	1.24
8	6.53	2.80	3.74	0.64	5.90	-0.44	6.98	4.24	2.30	1.36	5.18	2.44	4.10	5.32	1.22
9	10.73	8.95	1.78	3.19	7.54	2.11	8.62	5.71	5.02	3.19	7.54	3.19	7.54	6.07	4.66
10	15.33	15.07	0.26	6.43	8.90	5.35	9.98	7.51	7.82	6.07	9.26	4.63	10.70	7.15	8.18
11	19.63	20.48	0.85	10.04	9.59	9.32	10.31	9.68	9.95	8.96	10.67	6.44	13.19	8.24	11.39
12	23.20	25.46	2.26	13.94	9.26	13.58	9.62	12.14	11.06	12.14	11.06	8.90	14.30	9.62	13.58
13	25.00	29.45	4.45	18.29	6.71	17.93	7.07	14.69	10.31	15.77	9.23	11.81	13.19	11.45	13.55
14	25.07	31.54	6.47	21.10	3.97	21.10	3.97	16.42	8.65	18.58	6.49	14.26	10.81	12.82	12.25
15	22.73	31.91	9.17	23.63	0.89	23.99	1.25	17.87	4.87	21.11	1.63	16.79	5.95	14.63	8.11
16	21.30	30.42	9.12	25.38	4.08	26.10	4.80	19.26	2.04	22.86	1.56	18.90	2.40	16.02	5.28
17	17.43	27.08	9.65	25.28	7.85	26.36	8.93	19.52	2.09	23.48	6.05	20.24	2.81	16.64	0.79
18	13.87	22.32	8.45	24.12	10.25	25.20	11.33	19.08	5.21	22.68	8.81	20.88	7.01	16.92	3.05
19	11.80	16.46	4.66	22.22	10.42	23.30	11.50	17.90	6.10	21.50	9.70	20.78	8.98	16.82	5.02
20	10.20	10.99	0.79	19.27	9.07	20.35	10.15	16.75	6.55	19.63	9.43	20.35	10.15	16.75	6.55
21	9.13	6.95	2.19	16.31	7.17	17.03	7.89	15.23	6.09	17.03	7.89	18.83	9.69	16.31	7.17
22	8.37	4.36	4.01	13.36	4.99	13.72	5.35	13.72	5.35	14.44	6.07	16.96	8.59	15.16	6.79
23	7.33	2.73	4.61	10.65	3.31	10.65	3.31	12.45	5.11	12.09	4.75	14.97	7.63	14.25	6.91
24	6.70	1.40	5.30	8.60	1.90	8.24	1.54	11.12	4.42	10.04	3.34	12.92	6.22	12.92	6.22
รวม	287.03	278.34	8.70	277.31	9.73	275.87	11.17	275.87	11.17	277.31	9.73	275.87	11.17	274.43	12.61
RMSE			1.16		1.28		1.41		1.16		1.32		1.59		1.44

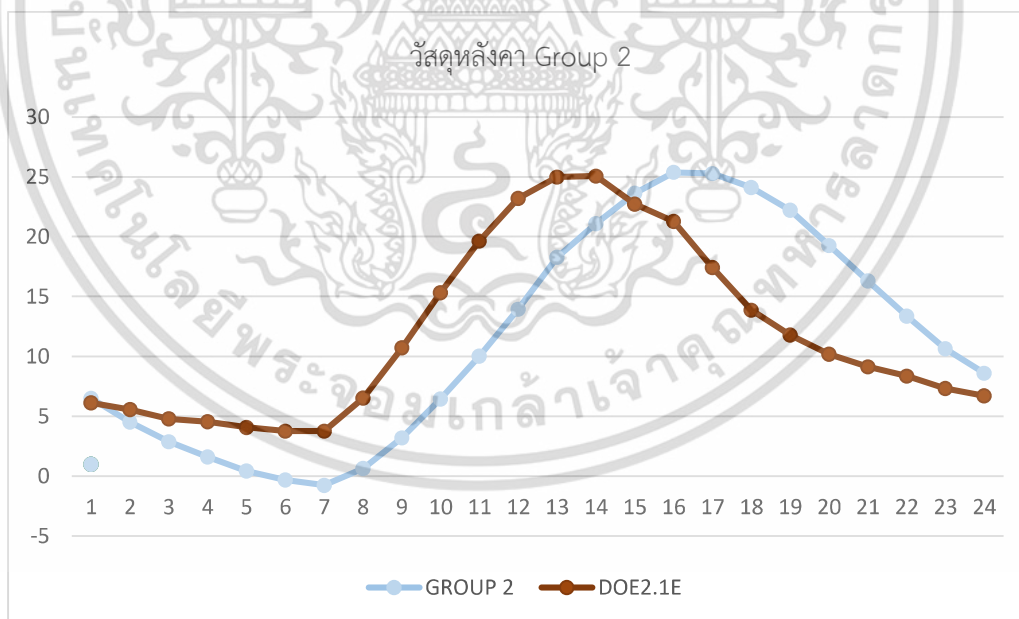
ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

ชั่วโมง	DOE2.1E	CLTD/CLF											
		Group 8	ERROR	Group 9	ERROR	Group 10	ERROR	Group 11	ERROR	Group 12	ERROR	Group 13	ERROR
1	6.13	13.33	7.20	10.09	3.96	11.89	5.76	10.09	3.96	9.73	3.60	11.89	5.76
2	5.57	12.09	6.52	9.57	4.00	11.01	5.44	9.57	4.00	9.21	3.64	11.37	5.80
3	4.80	10.79	5.99	8.63	3.83	9.71	4.91	8.99	4.19	8.63	3.83	10.79	5.99
4	4.57	9.17	4.60	8.09	3.52	8.81	4.24	8.45	3.88	8.09	3.52	10.25	5.68
5	4.07	8.00	3.94	7.28	3.22	8.00	3.94	8.00	3.94	7.64	3.58	9.80	5.74
6	3.77	6.88	3.11	6.52	2.75	7.24	3.47	7.60	3.83	7.24	3.47	9.04	5.27
7	3.77	5.72	1.96	6.08	2.32	6.44	2.68	7.16	3.40	6.80	3.04	8.24	4.48
8	6.53	6.04	0.50	6.76	0.22	6.76	0.22	7.84	1.30	7.48	0.94	8.92	2.38
9	10.73	6.07	4.66	7.87	2.86	7.15	3.58	8.59	2.14	8.23	2.50	9.31	1.42
10	15.33	6.79	8.54	9.31	6.02	8.23	7.10	9.67	5.66	9.31	6.02	10.03	5.30
11	19.63	7.52	12.11	10.40	9.23	8.96	10.67	10.40	9.23	10.40	9.23	10.40	9.23
12	23.20	8.54	14.66	11.78	11.42	10.34	12.86	11.42	11.78	11.42	11.78	10.70	12.50
13	25.00	10.01	14.99	13.61	11.39	11.81	13.19	12.17	12.83	12.89	12.11	11.81	13.19
14	25.07	11.02	14.05	14.26	10.81	12.82	12.25	12.82	12.25	13.18	11.89	11.74	13.33
15	22.73	12.83	9.91	15.35	7.39	13.91	8.83	13.19	9.55	13.91	8.83	12.47	10.27
16	21.30	14.22	7.08	16.02	5.28	15.30	6.00	13.86	7.44	14.58	6.72	12.78	8.52
17	17.43	15.20	2.23	15.92	1.51	15.56	1.87	13.40	4.03	14.48	2.95	12.68	4.75
18	13.87	15.84	1.97	15.84	1.97	15.84	1.97	13.32	0.55	14.04	0.17	12.96	0.91
19	11.80	16.46	4.66	15.02	3.22	15.74	3.94	12.86	1.06	13.58	1.78	12.86	1.06
20	10.20	17.11	6.91	14.59	4.39	15.67	5.47	12.79	2.59	13.15	2.95	13.15	2.95
21	9.13	17.03	7.89	13.79	4.65	15.23	6.09	12.35	3.21	12.71	3.57	13.07	3.93
22	8.37	16.24	7.87	13.00	4.63	14.44	6.07	11.92	3.55	11.92	3.55	13.00	4.63
23	7.33	15.69	8.35	12.09	4.75	13.89	6.55	11.73	4.39	11.37	4.03	13.17	5.83
24	6.70	14.72	8.02	11.48	4.78	12.92	6.22	11.12	4.42	10.76	4.06	12.56	5.86
รวม	287.03	277.31	9.73	273.35	13.69	277.67	9.37	259.31	27.73	260.75	26.29	272.99	14.05
RMSE			1.64		1.18		1.40		1.26		1.21		1.42



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 1) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

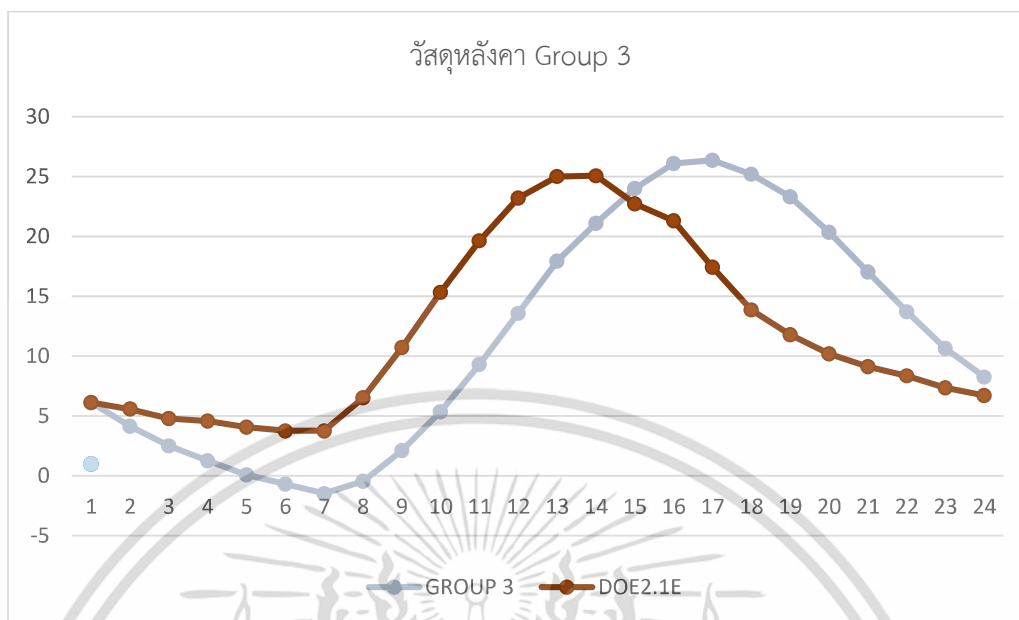
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 2) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

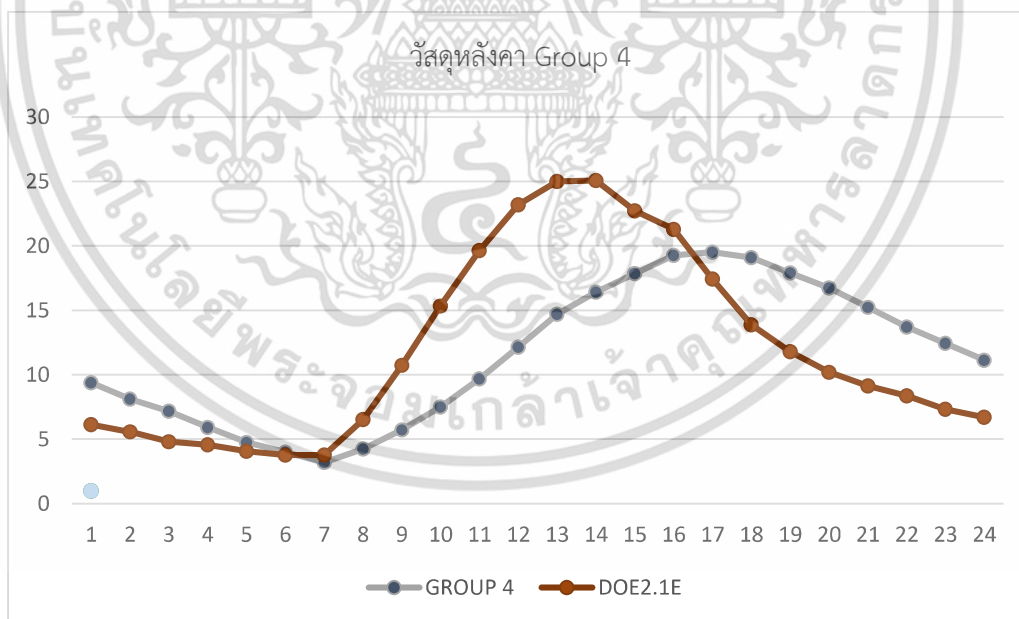
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 3) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

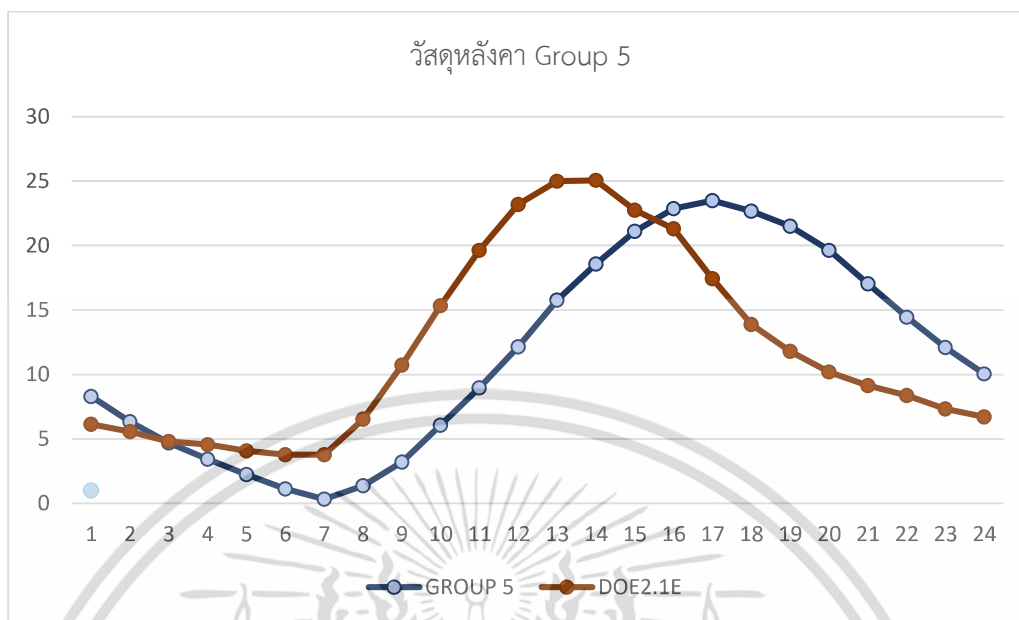
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 4) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

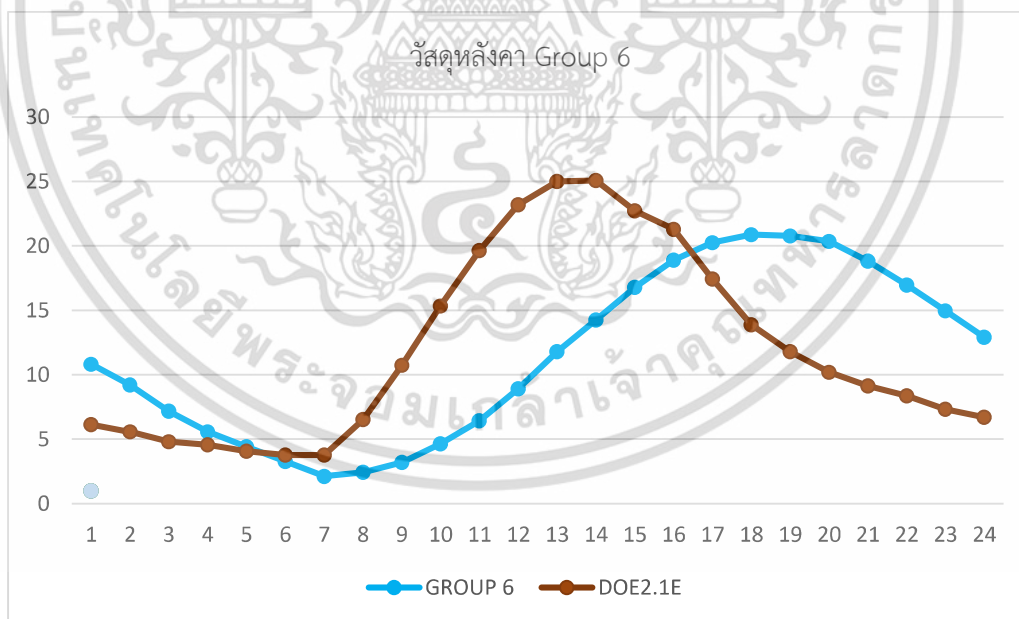
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 5) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

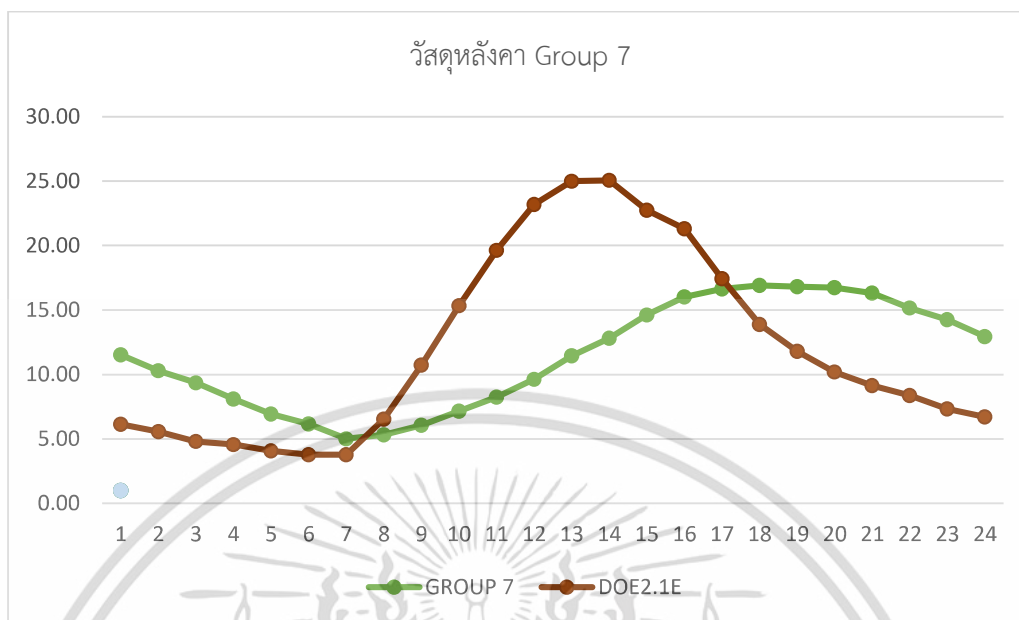
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 6) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

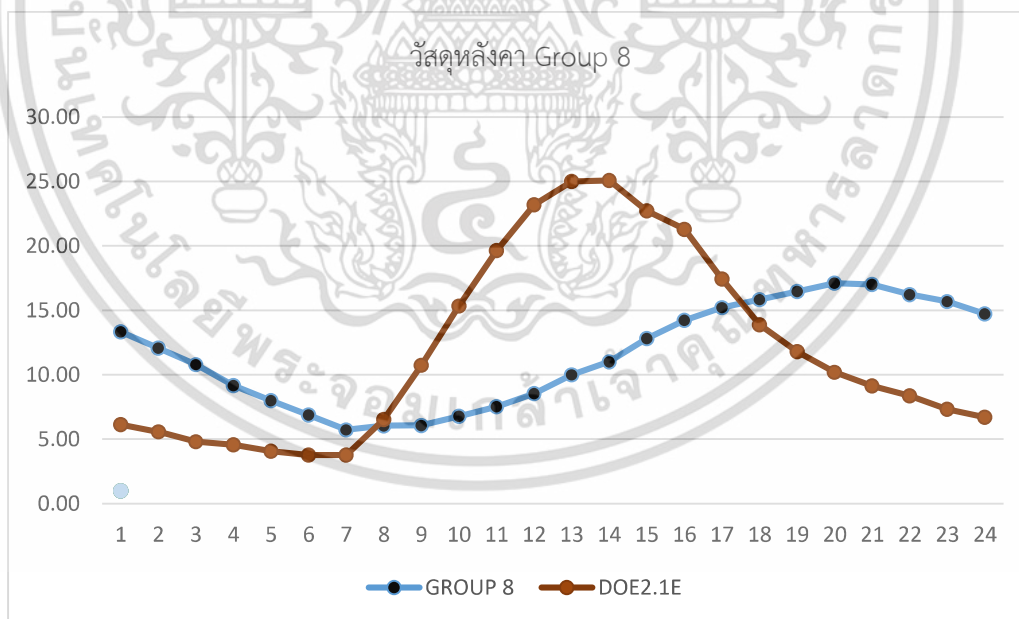
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 7) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

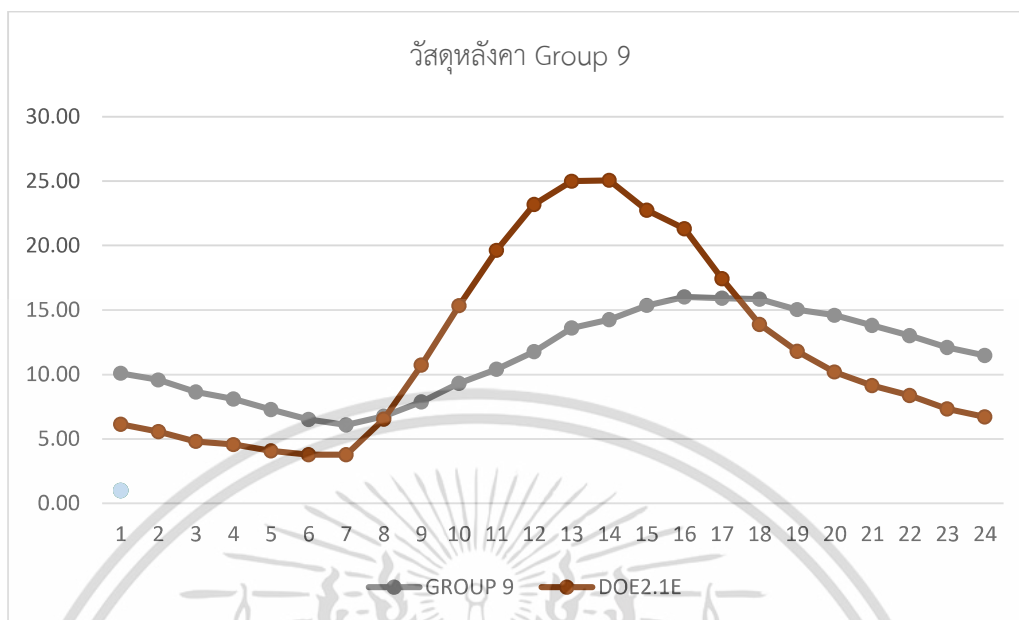
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 8) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

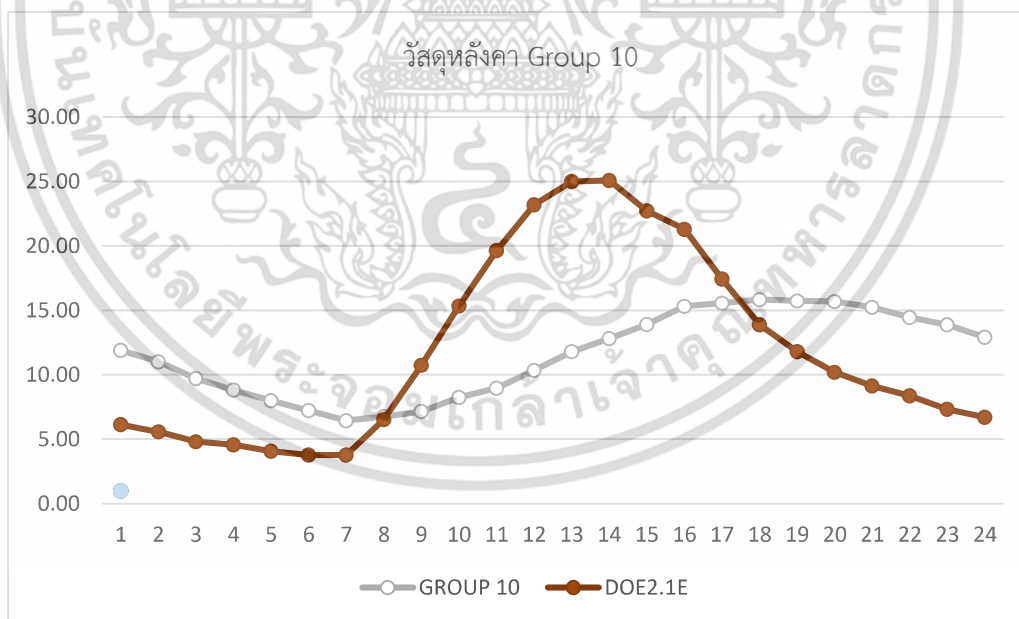
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 9) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

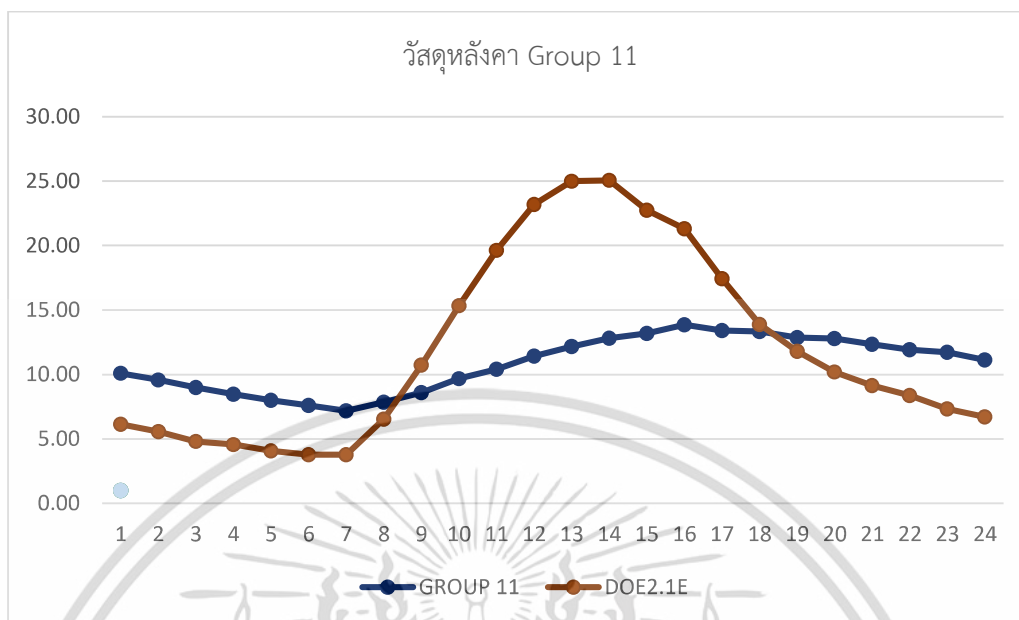
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 10) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

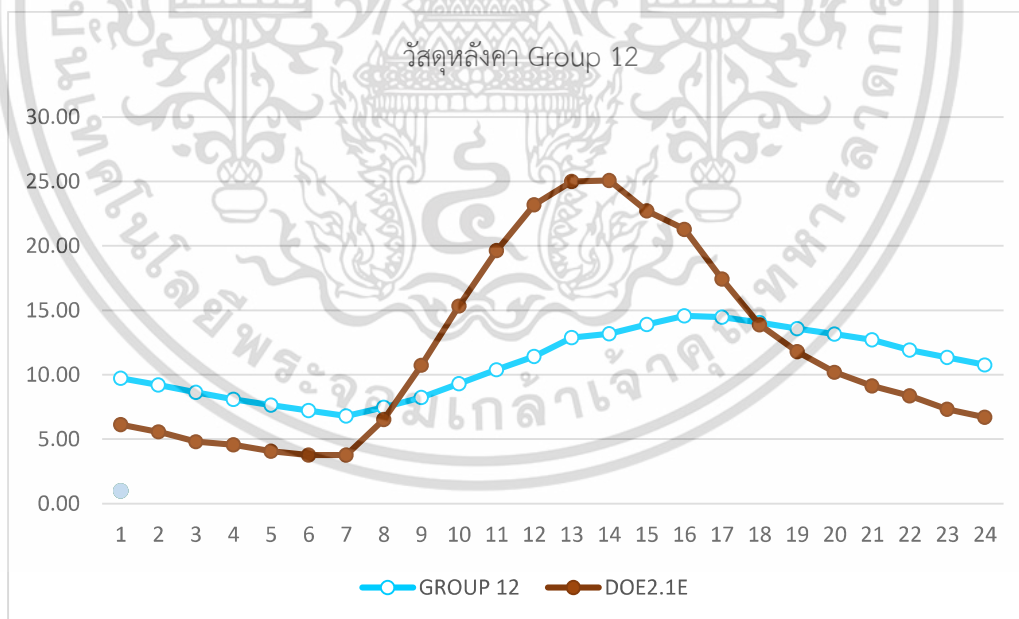
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 11) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

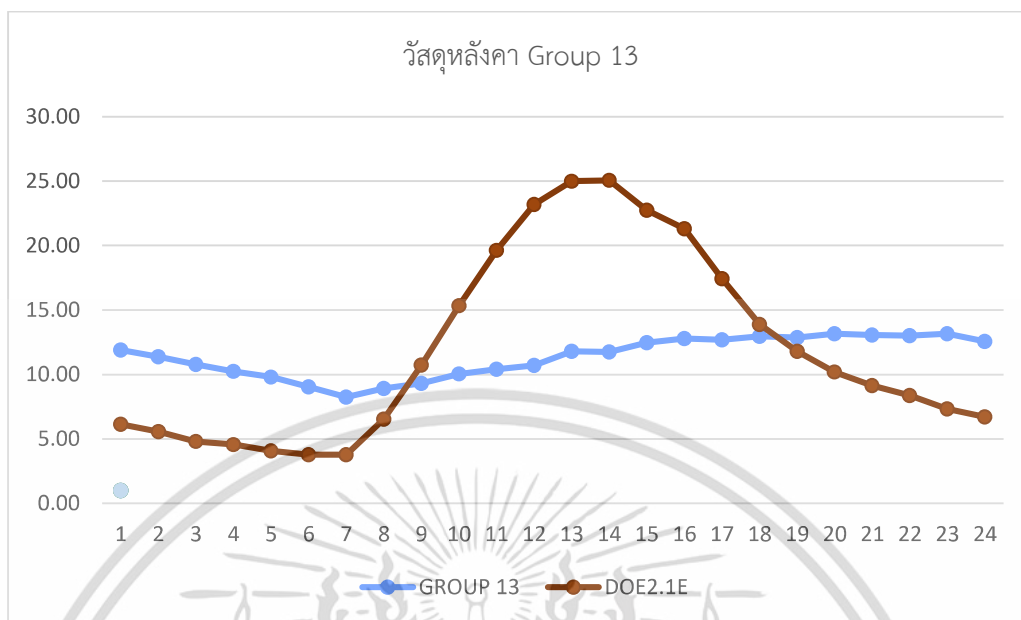
ที่มา : ผู้วิจัย



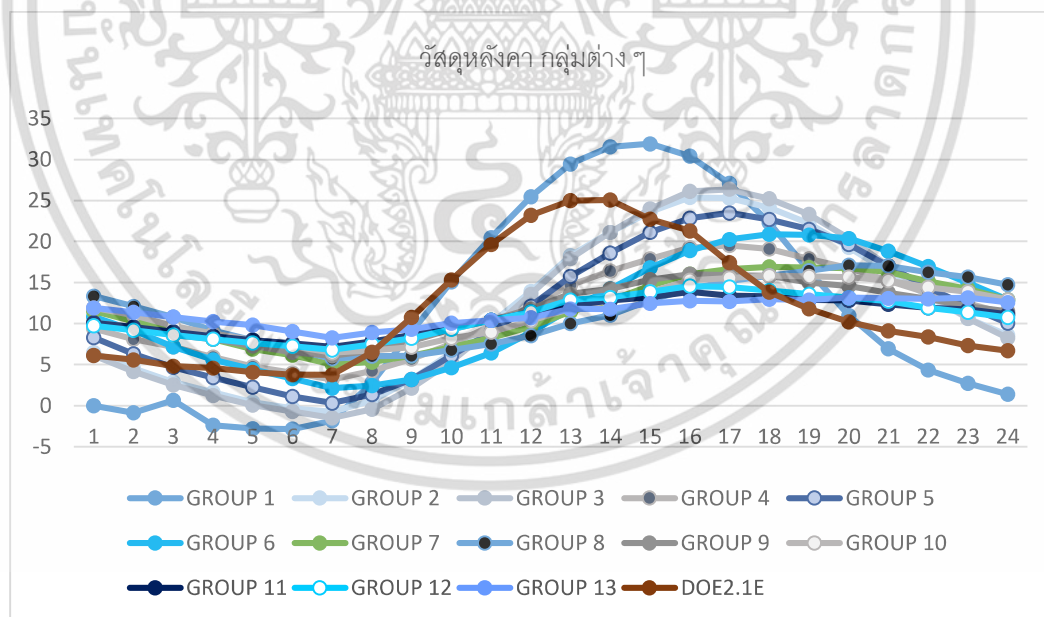
รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 12) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

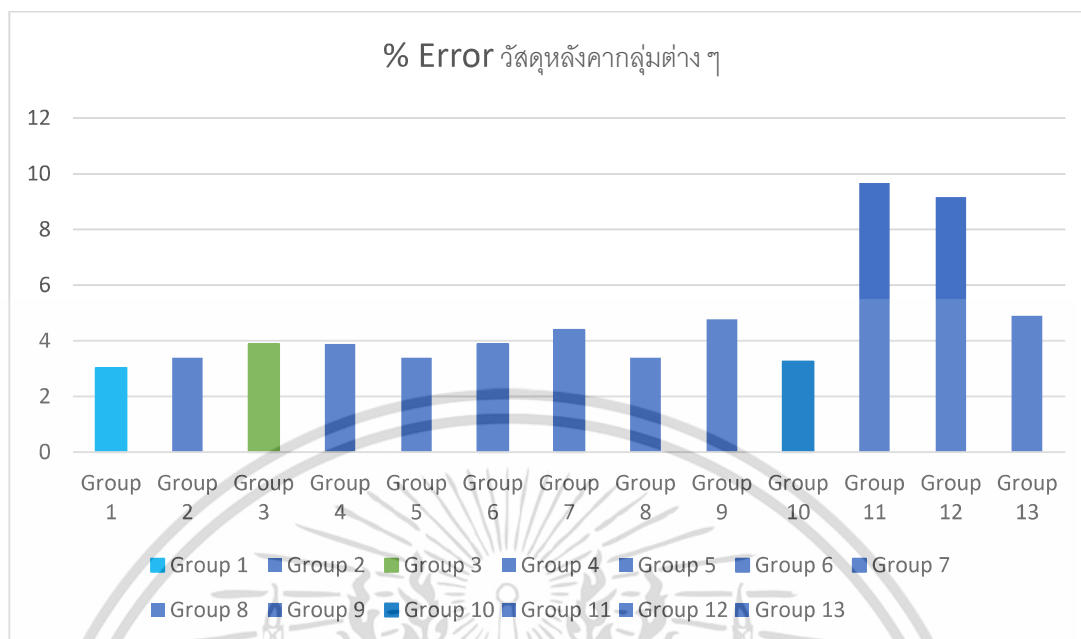


รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 13) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E
ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคา กลุ่มต่าง ๆ รายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E
ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนรวมของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E
ที่มา : ผู้วิจัย

จากการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคากลุ่มต่าง ๆ ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E 14 พบว่าผลรวมของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุหลังคาทุกกลุ่มให้ค่าที่ต่ำกว่าการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E และสรุปผลดังตารางที่ 4.12 รูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.30 พบว่าผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคาทุกกลุ่มด้วยวิธี CLTD/CLF เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคา GROUP 1 มีค่า RMSE น้อยที่สุด คือ 1.16 โดย GROUP 3 ซึ่งเป็นกลุ่มวัสดุที่กำหนด มีค่า RMSE เท่ากับ 1.41 แต่มีลักษณะกราฟใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ซึ่งเหมาะสำหรับการเปรียบเทียบ

4.1.3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

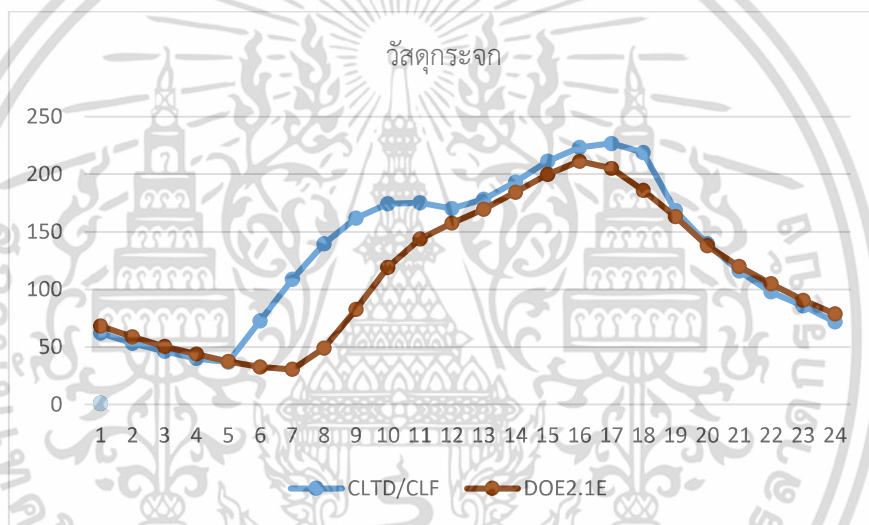
จากผลการคำนวณค่า Heat Gain ด้วยวิธี CLTD/CLF และ ด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ในหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 จึงทำการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุกระจก เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	DOE2.1E	วัสดุกระจก	
		CLTD/CLF	ERROR
1	68.07	61.94	6.13
2	58.6	53.09	5.51
3	50.47	46.38	4.09
4	43.77	40	3.77
5	37.4	36.67	0.73
6	32.57	72.54	39.97
7	30.4	108.77	78.37
8	48.93	139.48	90.55
9	82.37	161.86	79.49
10	119.07	174.37	55.30
11	143.5	175.21	31.71
12	157.33	170.1	12.77
13	169.73	178.05	8.32
14	184.4	193.01	8.61
15	199.83	211.5	11.67
16	211.2	223.29	12.09
17	204.93	226.72	21.79
18	185.93	218.74	32.81
19	163.33	168.57	5.24
20	137.77	139.52	1.75

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

ชั่วโมง	DOE2.1E	วัสดุกระจก	
		CLTD/CLF	ERROR
21	119.7	115.89	3.81
22	104.93	97.75	7.18
23	90.6	85.57	5.03
24	78.57	71.6	6.97
รวม	2723.4	3,170.62	447.22
RMSE			7.06



รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain รายชั่วโมงของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

จากการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ดังที่แสดงตามตารางที่ 4.13 และ รูปที่ 4.31 พบว่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E มีค่า RMSE ได้แก่ 7.06 รวมถึงรูปทรงของกราฟมีความใกล้เคียงกัน โดยที่ช่วงเวลาที่มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ 6.00 – 11.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.4 วิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

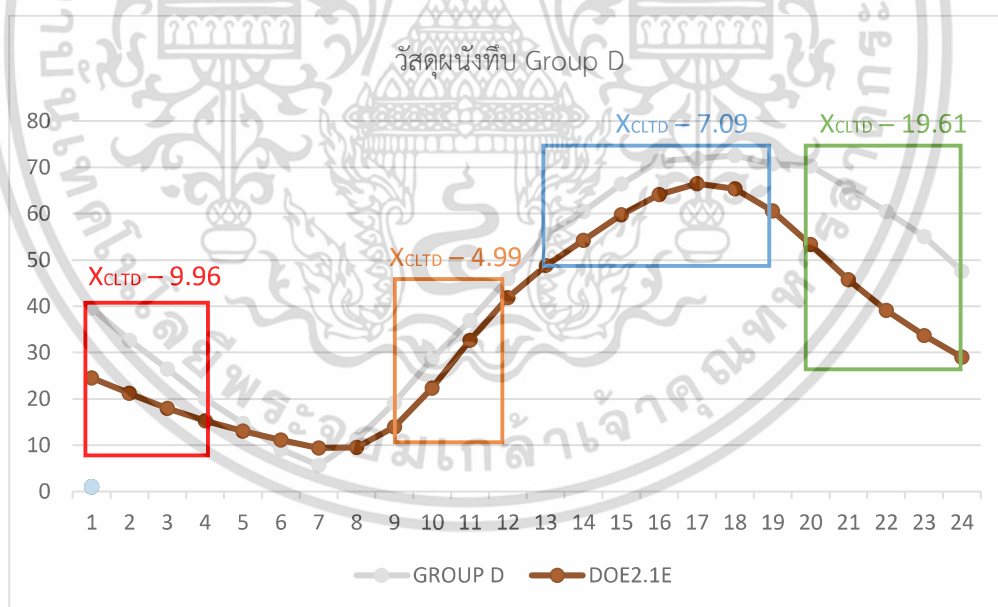
จากผลลัพธ์การคำนวณและการหาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ในหัวข้อที่ 4.1.3.1, 4.1.3.2 และ 4.1.3.3 ได้แก่ ผลการคำนวณวัสดุผนังทึบ, วัสดุหลังคา และวัสดุกระจก ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังทึบและหลังคา ด้วยวิธี CLTD/CLF มีแนวโน้มที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกกลุ่มของวัสดุผนัง/หลังคา ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft².°F) และ น้ำหนักของผนังต่อพื้นที่ (lb/ft²) เนื่องจากรูปแบบการคำนวณ CLTD/CLF ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ค่าเฉลี่ยภูมิอากาศที่มีความแตกต่างกันของละติจูดที่ตั้ง ซึ่งเมื่อนำมาปรับใช้กับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยจึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

จากการศึกษา พบว่าผลการคำนวณด้วยกลุ่มของวัสดุผนังทึบที่กำหนด ได้แก่ Group F และ กลุ่มของวัสดุหลังคาที่กำหนด ได้แก่ Group 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัสดุผนัง Group D ให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำและเหมาะสมสำหรับการเปรียบเทียบมากกว่า เนื่องจาก วัสดุผนัง Group D มีลักษณะกราฟที่เข้าใกล้กับกราฟของผลการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E มากที่สุด และ วัสดุหลังคา Group 3 มีค่า RMSE เท่ากับ 1.41 และมีลักษณะกราฟใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ซึ่งเหมาะสำหรับการเปรียบเทียบ

4.1.4 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

4.1.4.1 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุผนังทึบ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ผู้ศึกษาได้ปรับกลุ่มวัสดุผนังขึ้นสองกลุ่ม (จากกลุ่มผนังที่กำหนดคือ Group F เป็น Group D) และ เปรียบเทียบค่าผลของการคำนวณโดยใช้ค่าผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ลบด้วยเฉลี่ยผลต่างของค่า Heat gain (ต่อพื้นที่ 4 ตร.ม.) พิจารณาจากรูปทรงของกราฟแสดงผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังทึบด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับกราฟแสดงผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E และค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลา โดยช่วง 1.00 – 4.00 น. ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่า Heat gain คือ 9.96, 9.00 – 12.00 น. คือ 4.99, 13.00 – 19.00 น. คือ 7.09 และ 20.00 – 24.00 น. คือ 19.61 ดังรูปที่ 4.32



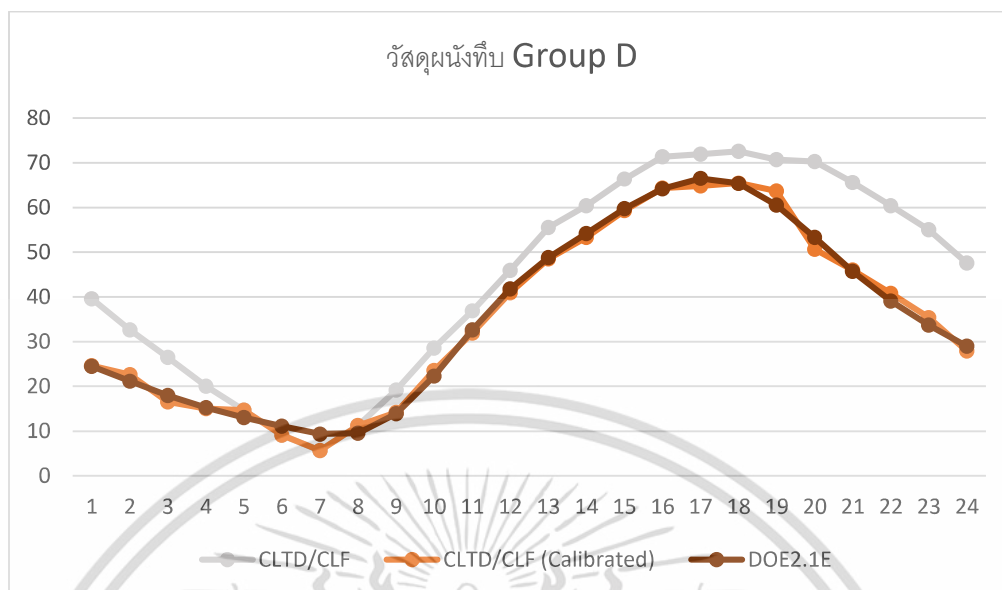
รูปที่ 4.32 แสดงวิธีการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group D) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังทึบด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	DOE2.1E	วัสดุผนังทึบ		วัสดุผนังทึบ (เปรียบเทียบ)	
		CLTD/CLF	ERROR	CLTD/CLF	ERROR
1	24.53	39.60	15.07	24.64	0.11
2	21.17	32.62	11.45	22.66	1.49
3	17.93	26.48	8.55	16.52	1.41
4	15.23	19.99	4.76	15.03	0.20
5	13.03	14.70	1.67	14.7	1.67
6	11.13	9.09	2.04	9.09	2.04
7	9.37	5.66	3.71	5.66	3.71
8	9.53	11.26	1.73	11.26	1.73
9	13.90	19.16	5.26	14.17	0.27
10	22.33	28.60	6.27	23.61	1.28
11	32.63	36.93	4.30	31.94	0.69
12	41.83	45.97	4.14	40.98	0.85
13	48.80	55.58	6.78	48.49	0.31
14	54.23	60.42	6.19	53.33	0.90
15	59.77	66.39	6.62	59.30	0.47
16	64.17	71.39	7.22	64.30	0.13
17	66.50	71.93	5.43	64.84	1.66
18	65.37	72.57	7.20	65.48	0.11
19	60.57	70.75	10.18	63.66	3.09
20	53.33	70.28	16.95	50.67	2.66
21	45.73	65.61	19.88	46.00	0.27
22	39.10	60.42	21.32	40.81	1.71
23	33.67	55.04	21.37	35.43	1.76
24	29.00	47.55	18.55	27.94	1.06
รวม	852.85	1,057.99	205.14	850.51	2.34
RMSE			2.20		0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



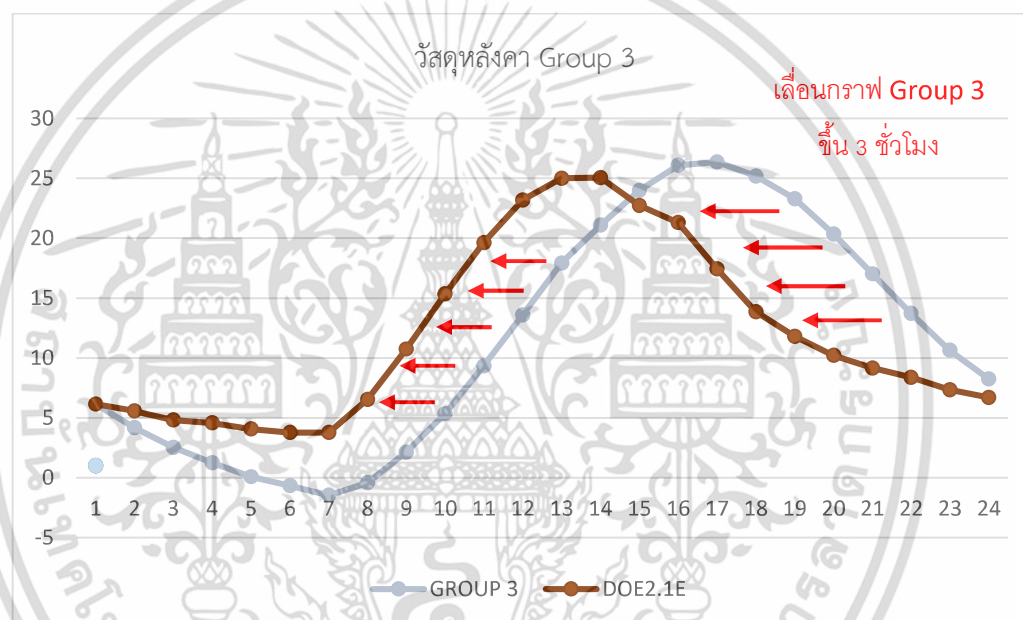
รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุผนังทึบรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (ผนัง Group D) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

จากตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.33 ผลการเปรียบเทียบค่าผลการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุผนังทึบที่คำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับกราฟแสดงผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ลักษณะกราฟมีความใกล้เคียงกันมากขึ้น และมีค่า RMSE ลดลงจาก 2.20 เป็น 0.32 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

4.1.4.2 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุหลังคา เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนรวมและรูปทรงของกราฟแสดงผลการคำนวณค่า Heat gain ด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุหลังคา Group 3 มีค่า RMSE เท่ากับ 1.41 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ผู้ศึกษาจึงเปรียบเทียบค่าผลของการคำนวณของกลุ่มวัสดุที่กำหนด คือ Group 3 โดยการเลื่อนผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุหลังคา Group 3 ขึ้น 3 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.34



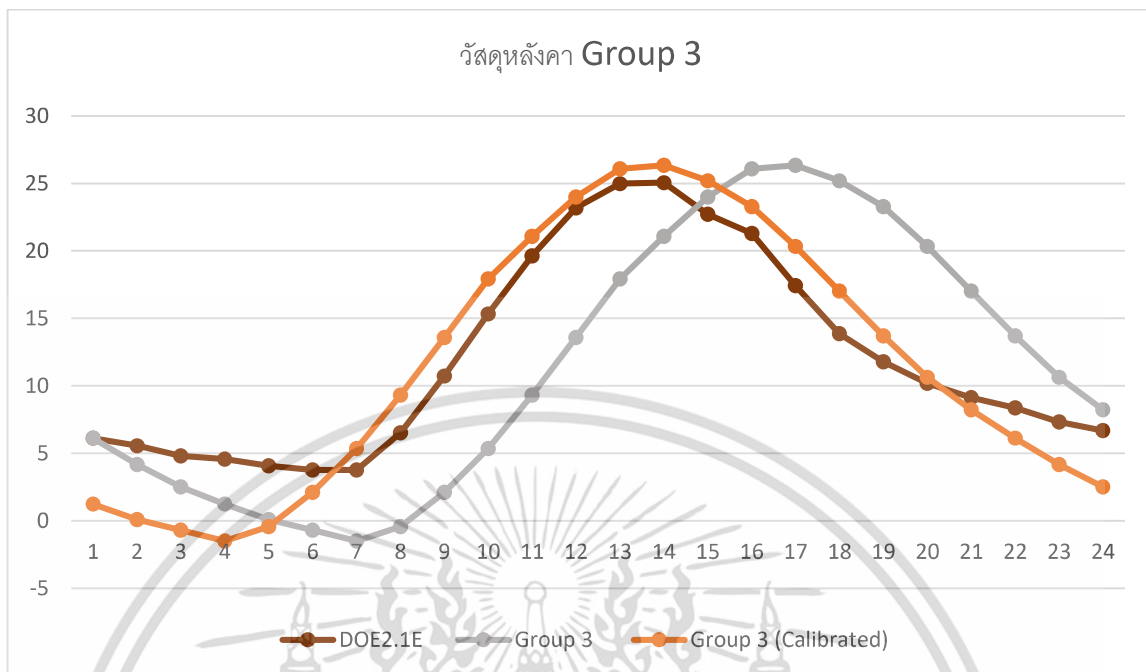
รูปที่ 4.34 แสดงวิธีการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 3) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	DOE2.1E	วัสดุหลังคา		วัสดุหลังคา (เปรียบเทียบ)	
		CLTD/CLF	ERROR	CLTD/CLF	ERROR
1	6.13	6.13	0.00	1.25	4.88
2	5.57	4.17	1.40	0.08	5.48
3	4.80	2.51	2.29	-0.68	5.48
4	4.57	1.25	3.32	-1.48	6.04
5	4.07	0.08	3.98	-0.44	4.51
6	3.77	-0.68	4.45	2.11	1.65
7	3.77	-1.48	5.24	5.35	1.59
8	6.53	-0.44	6.98	9.32	2.79
9	10.73	2.11	8.62	13.58	2.85
10	15.33	5.35	9.98	17.93	2.59
11	19.63	9.32	10.31	21.10	1.46
12	23.20	13.58	9.62	23.99	0.79
13	25.00	17.93	7.07	26.10	1.10
14	25.07	21.10	3.97	26.36	1.30
15	22.73	23.99	1.25	25.20	2.47
16	21.30	26.10	4.80	23.30	2.00
17	17.43	26.36	8.93	20.35	2.92
18	13.87	25.20	11.33	17.03	3.16
19	11.80	23.30	11.50	13.72	1.92
20	10.20	20.35	10.15	10.65	0.45
21	9.13	17.03	7.89	8.24	0.89
22	8.37	13.72	5.35	6.13	2.24
23	7.33	10.65	3.31	4.17	3.17
24	6.70	8.24	1.54	2.51	4.19
รวม	287.03	275.87	11.17	275.87	11.17
RMSE			1.41		0.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

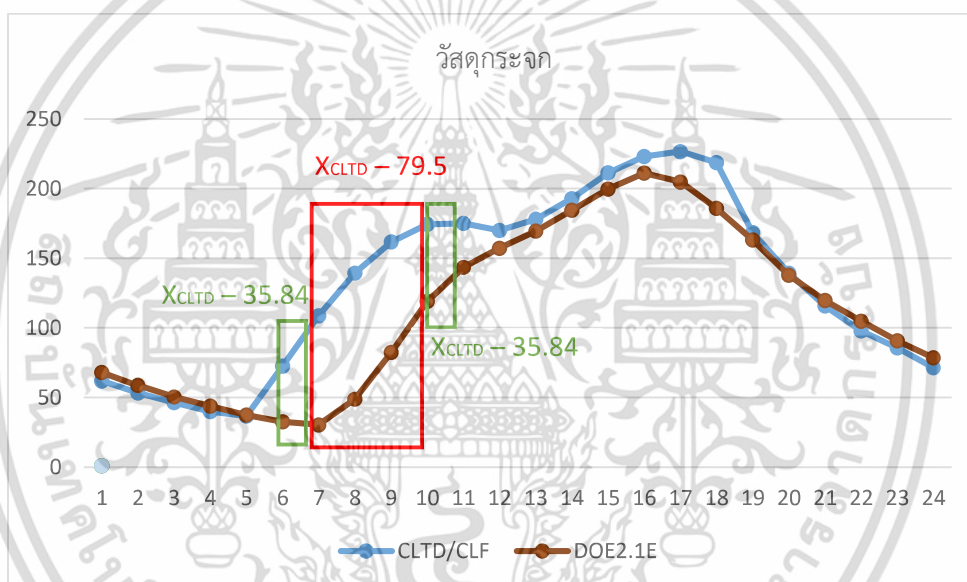


รูปที่ 4.35 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุหลังคารายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF (Group 3) กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E
ที่มา : ผู้วิจัย

จากตารางที่ 4.15 และ รูปที่ 4.35 ผลการเปรียบเทียบค่าผลการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุหลังคาที่คำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับกราฟแสดงผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ลักษณะกราฟมีความใกล้เคียงกันมากขึ้น และมีค่า RMSE ลดลงจาก 1.41 เป็น 0.65 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

4.1.4.3 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุกระจก ผู้ศึกษาได้เปรียบเทียบในช่วงเวลาที่มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ 6.00–11.00 น. โดยใช้ค่าผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ลบด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของค่า Heat gain ของช่วงเวลาที่พิจารณา (ต่อพื้นที่ 4 ตร.ม.) ซึ่งได้จากการพิจารณารูปทรงของกราฟแสดงผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคาด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E และค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาที่พิจารณา ดังรูปที่ 4.36



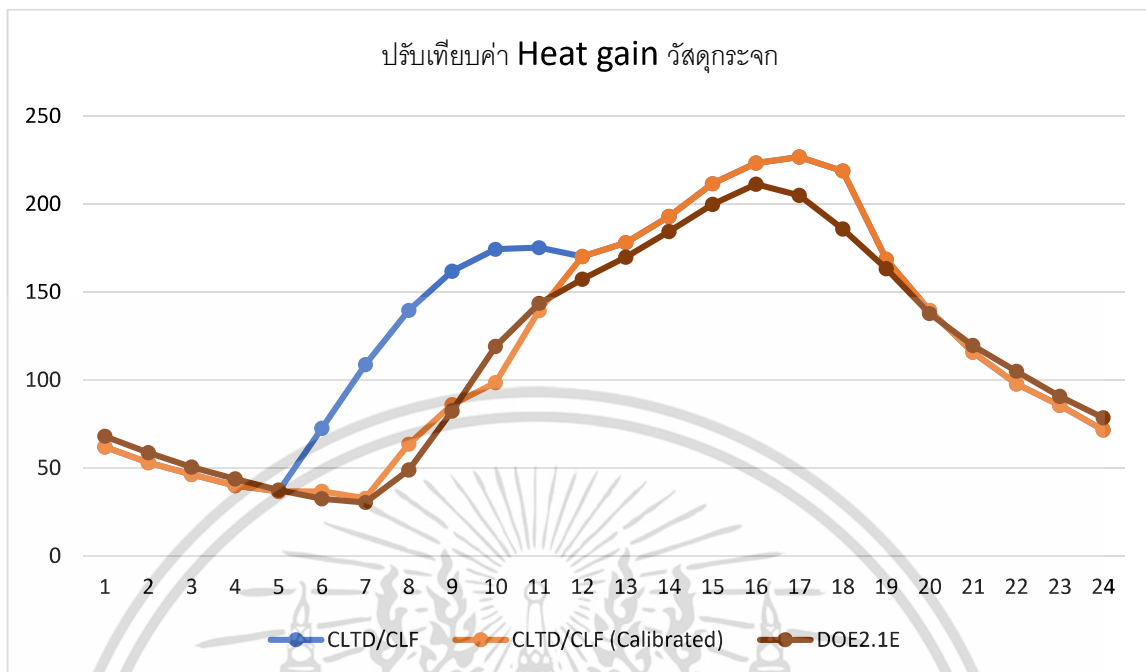
รูปที่ 4.36 แสดงวิธีการเปรียบเทียบปริมาณ Heat Gain ของวัสดุกระจกรายชั่วโมง ด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจกด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	DOE2.1E	วัสดุกระจก		วัสดุกระจก (เปรียบเทียบ)	
		CLTD/CLF	ERROR	CLTD/CLF	ERROR
1	68.07	61.94	6.13	61.94	6.13
2	58.6	53.09	5.51	53.09	5.51
3	50.47	46.38	4.09	46.38	4.09
4	43.77	40	3.77	40	3.77
5	37.4	36.67	0.73	36.67	0.73
6	32.57	72.54	39.97	36.70	4.13
7	30.4	108.77	78.37	32.84	2.44
8	48.93	139.48	90.55	63.55	14.62
9	82.37	161.86	79.49	85.93	3.56
10	119.07	174.37	55.30	98.44	20.63
11	143.5	175.21	31.71	139.37	4.13
12	157.33	170.1	12.77	170.1	12.77
13	169.73	178.05	8.32	178.05	8.32
14	184.4	193.01	8.61	193.01	8.61
15	199.83	211.5	11.67	211.5	11.67
16	211.2	223.29	12.09	223.29	12.09
17	204.93	226.72	21.79	226.72	21.79
18	185.93	218.74	32.81	218.74	32.81
19	163.33	168.57	5.24	168.57	5.24
20	137.77	139.52	1.75	139.52	1.75
21	119.7	115.89	3.81	115.89	3.81
22	104.93	97.75	7.18	97.75	7.18
23	90.6	85.57	5.03	85.57	5.03
24	78.57	71.6	6.97	71.6	6.97
รวม	2723.4	3,170.62	447.22	2795.23	71.83
RMSE			7.06		2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจก ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E
ที่มา : ผู้วิจัย

จากตารางที่ 4.16 และ รูปที่ 4.37 ผลการเปรียบเทียบค่าผลการคำนวณค่า Heat gain ของวัสดุกระจกที่คำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับกราฟแสดงผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ลักษณะกราฟมีความใกล้เคียงกันมากขึ้น และมีค่า RMSE ลดลงจาก 7.06 เป็น 2.32 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

4.2 การคำนวณหาค่าภาระทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

4.2.1 คำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF

ออกแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ตามรายละเอียดจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากโครงการ การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และ โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 จัดทำโดยกระทรวงพลังงานร่วมกับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งถือเป็นตัวแทนของบ้านพักอาศัยที่มีอยู่ทั่วไปในปัจจุบันของประเทศไทย

ในการคำนวณได้มีการแก้ไขค่า CLTD ให้เป็นไปตามสภาวะของสถานที่ตั้งอาคารที่ต้องการคำนวณ จึงต้องแก้ไขตามเส้นละติจูดและเดือน (LM) และ สีของผนัง (K) รวมทั้งแก้ไขอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (t_o) และ อุณหภูมิออกแบบภายในห้อง (t_r) ในช่วงเวลาปรับอากาศ รวมถึงการหาค่า CLTD/CLF เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ($BTU/h.ft^2.°F$) และ น้ำหนักของผนังต่อพื้นที่ (lb/ft^2) อ้างอิงตามตารางที่ 4.3

คำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของห้องนอน 2 ห้อง (BED 1 และ BED 2) ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ปรับอากาศรวม 23% ของพื้นที่ใช้สอยภายใน และ ใช้ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงในระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2554 - พ.ศ.2558) ของ เดือนเมษายน ของจังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศประเภทเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) ขนาด 12300 BTU และ มีค่า EER เท่ากับ 15 โดย กำหนดให้มีการปรับอากาศตลอด 24 ทำการคำนวณด้วยกลุ่มผนังที่กำหนด คือ Group F และ กลุ่มผนังที่เลื่อนขึ้นสองกลุ่ม คือ Group D

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการคำนวณค่าภาระทำความเย็นรายชั่วโมงของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของพื้นที่ปรับอากาศ ห้องนอน 1 (BED 1) และ ห้องนอน 2 (BED 2) ด้วยค่า CLTDc ของกลุ่มผนัง Group D

GROUP	ค่าภาระทำความเย็น (KW)																								
	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
BED 1	16.69	15.05	13.71	12.32	11.32	12.11	11.76	14.99	18.33	21.38	23.42	25.24	27.11	28.73	30.25	31.19	30.56	29.59	26.75	25.94	24.15	22.24	20.68	18.73	512.24
BED 2	13.67	12.43	11.32	10.79	9.97	11.55	12.24	15.99	19.54	22.69	24.51	26.03	27.50	28.53	29.22	29.39	27.79	26.15	23.61	22.89	21.09	19.24	15.66	14.31	476.12
รวม	30.36	27.48	25.03	23.11	21.29	23.67	24.00	30.97	37.87	44.07	47.93	51.27	54.61	57.26	59.47	60.58	58.35	55.75	50.36	48.84	45.24	41.48	36.34	33.05	988.35

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการคำนวณค่าภาระทำความเย็นรายชั่วโมงของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ของพื้นที่ปรับอากาศ ห้องนอน 1 (BED 1) และ ห้องนอน 2 (BED 2) ด้วยค่า CLTDc ของกลุ่มผนัง Group F

GROUP	ค่าภาระทำความเย็น (KW)																								
	F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
BED 1	15.13	12.90	11.25	9.54	8.43	9.45	9.80	14.78	20.05	24.81	28.40	31.26	33.27	36.49	38.70	40.63	40.10	38.63	34.89	32.08	27.98	23.80	20.79	17.99	581.16
BED 2	13.34	11.39	9.87	8.95	8.02	9.61	10.64	15.90	21.52	26.76	30.61	33.70	35.41	38.28	39.43	39.63	37.44	34.54	30.64	28.10	24.89	21.39	18.92	16.37	565.36
รวม	28.47	24.28	21.12	18.49	16.45	19.06	20.44	30.68	41.57	51.57	59.02	64.96	68.68	74.78	78.13	80.26	77.55	73.17	65.53	60.18	52.87	45.19	39.72	34.36	1146.52

4.2.2 คำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ในการศึกษาการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 ดำเนินการโดยการป้อนข้อมูลอาคารเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างแบบจำลองผ่าน BDL Processor ในรูปของฟอร์มอาคาร 3 มิติ

โดยกำหนดให้แสดงผลค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 2 ห้อง (BED 1 และ BED 2) ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ปรับอากาศรวม 23% ของพื้นที่ใช้สอยภายใน และ ใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงในระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2554 - พ.ศ.2558) ของเดือนเมษายน จังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศประเภทเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) โดยกำหนดให้มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และมีอุณหภูมิออกแบบภายในเท่ากับ 78 °F (25 °C)



รูปที่ 4.38 แสดงการจำลองโมเดลอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ที่มา : ผู้วิจัย

จากการใช้โปรแกรม DOE2.1E ver.121 ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของส่วนพื้นที่ปรับอากาศ จึงได้ผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนเมษายน ในหน่วย BTU และ KW ดังตารางที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของพื้นที่ปรับอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมง ด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ชั่วโมง	ห้องนอน 1 (BED 1)		ห้องนอน 2 (BED 2)		ผลรวม (KW)
	BTU	KW	BTU	KW	
1	6,595.00	13.19	7,731.80	15.46	28.65
2	5,968.43	11.93	6,955.75	13.91	25.84
3	5,425.03	10.85	6,318.20	12.64	23.49
4	4,950.53	9.90	5,689.97	11.38	21.28
5	4,457.43	8.91	5,125.40	10.25	19.17
6	3,995.67	7.99	4,747.93	9.50	17.49
7	3,912.13	7.82	4,612.13	9.22	17.05
8	3,989.9	7.98	4,815.33	9.63	17.61
9	4,546.63	9.09	5,403.2	10.81	19.9
10	5,915.87	11.83	6,914.57	13.83	25.66
11	6,963.87	13.93	8,152.53	16.31	30.23
12	7,930.33	15.86	9,245.93	18.49	34.35
13	8,412.73	16.83	9,792	19.58	36.41
14	8,785.83	17.57	10,131	20.26	37.83
15	9,156.7	18.31	10,434.87	20.87	39.18
16	9,383.2	18.77	10,673.83	21.35	40.11
17	9,418.13	18.84	10,713.67	21.43	40.25
18	9,458.53	18.92	10,715.67	21.43	40.35
19	9,329.93	18.66	10,597.07	21.19	39.85
20	8,876.73	17.75	10,332.4	20.66	38.42
21	8,593.73	17.19	9,889	19.78	36.97
22	8,235.53	16.47	9,517.63	19.04	35.51
23	7,774.57	15.55	8,984.6	17.97	33.52
24	7,262.87	14.53	8,448.53	16.90	31.42
รวม	169,339.30	338.68	195,943.01	391.89	730.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย พื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ทำการศึกษาโดยคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ด้วยกลุ่มผนังที่กำหนด (Group F), กลุ่มหลังคาที่กำหนด (Group 3) และ ค่า CLF ของกระจกที่กำหนด เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

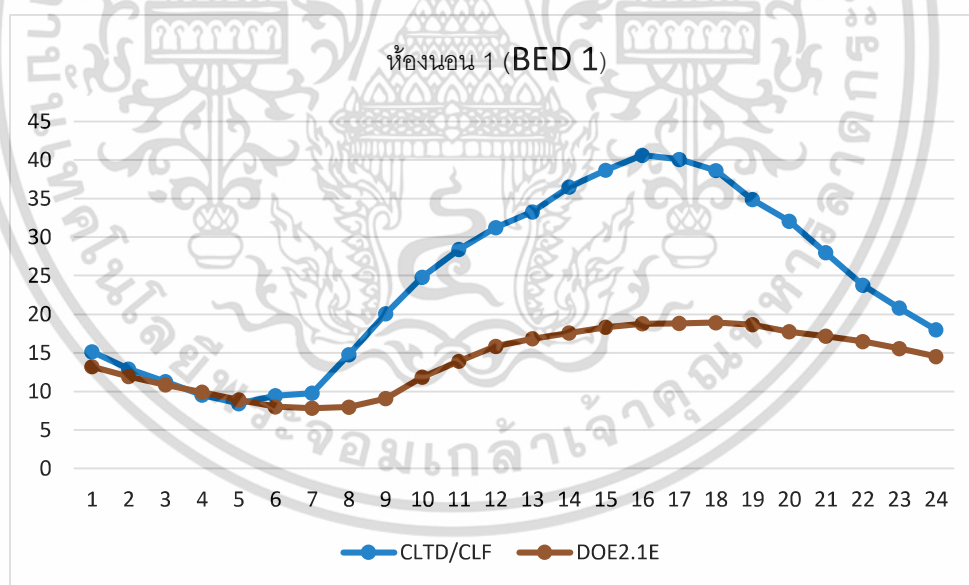
ตารางที่ 4.20 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย
พื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม
DOE2.1E

ชั่วโมง	ห้องนอน 1 (BED 1)			ห้องนอน 2 (BED 2)		
	DOE2.1E (KW)	CLTD/CLF (KW)	ERROR	DOE2.1E (KW)	CLTD/CLF (KW)	ERROR
1	13.19	15.13	1.94	15.46	13.34	2.12
2	11.94	12.9	0.96	13.91	11.39	2.52
3	10.85	11.25	0.40	12.64	9.87	2.77
4	9.90	9.54	0.36	11.38	8.95	2.43
5	8.91	8.43	0.48	10.25	8.02	2.23
6	7.99	9.45	1.46	9.50	9.61	0.11
7	7.82	9.8	1.98	9.22	10.64	1.42
8	7.98	14.78	6.80	9.63	15.9	6.27
9	9.09	20.05	10.96	10.81	21.52	10.71
10	11.83	24.81	12.98	13.83	26.76	12.93
11	13.93	28.4	14.47	16.31	30.61	14.30
12	15.86	31.26	15.40	18.49	33.7	15.21
13	16.83	33.27	16.44	19.58	35.41	15.83
14	17.57	36.49	18.92	20.26	38.28	18.02
15	18.31	38.7	20.39	20.87	39.43	18.56
16	18.77	40.63	21.86	21.35	39.63	18.28
17	18.84	40.1	21.26	21.43	37.44	16.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

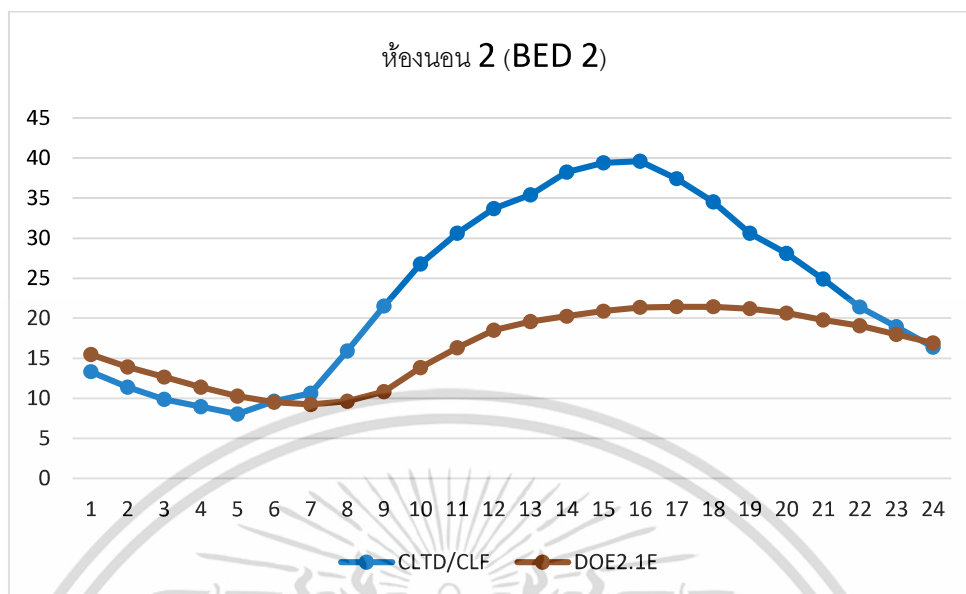
ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

ชั่วโมง	ห้องนอน 1 (BED 1)			ห้องนอน 2 (BED 2)		
	DOE2.1E (KW)	CLTD/CLF (KW)	ERROR	DOE2.1E (KW)	CLTD/CLF (KW)	ERROR
18	18.92	38.63	19.71	21.43	34.54	13.11
19	18.66	34.89	16.23	21.19	30.64	9.45
20	17.75	32.08	14.33	20.66	28.1	7.44
21	17.19	27.98	10.79	19.78	24.89	5.11
22	16.47	23.8	7.33	19.04	21.39	2.35
23	15.55	20.79	5.24	17.97	18.92	0.95
24	14.53	17.99	3.46	16.90	16.37	0.53
รวม	338.68	581.16	242.48	391.89	565.36	173.46
RMSE			2.58			2.14



รูปที่ 4.39 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนรายชั่วโมงของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 1 (BED 1) ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.40 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนรายชั่วโมงของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องนอน 2 (BED 2) ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.4 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ทำการศึกษาโดยคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณด้วยกลุ่มผนังที่กำหนด (Group F)/กลุ่มหลังคาที่กำหนด (Group 3)/ค่า CLF ของกระจกที่กำหนด และ กลุ่มผนัง (Group D)/กลุ่มหลังคา (Group 3)/กระจกที่ทำการเปรียบเทียบแล้ว ตามหัวข้อ 4.1.4 เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของของห้องนอน 1 (BED 1) บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

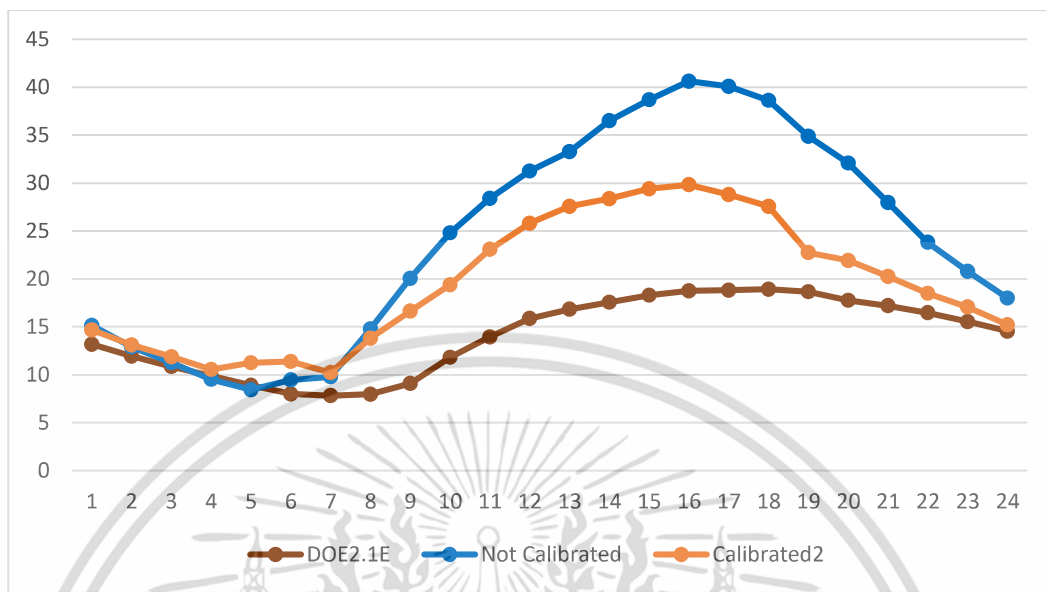
ชั่วโมง	DOE2.1E (KW)	Not calibrated		Calibrated	
		CLTD/CLF	ERROR	CLTD/CLF	ERROR
1	13.19	15.13	1.94	14.66	2.07
2	11.94	12.9	0.96	13.12	1.68
3	10.85	11.25	0.40	11.89	1.44
4	9.90	9.54	0.36	10.55	0.99
5	8.91	8.43	0.48	11.25	2.41
6	7.99	9.45	1.46	11.38	3.04
7	7.82	9.8	1.98	10.21	1.54
8	7.98	14.78	6.80	13.80	4.60
9	9.09	20.05	10.96	16.64	6.13
10	11.83	24.81	12.98	19.39	6.44
11	13.93	28.4	14.47	23.09	7.70
12	15.86	31.26	15.40	25.82	8.66
13	16.83	33.27	16.44	27.56	9.26
14	17.57	36.49	18.92	28.37	10.14
15	18.31	38.7	20.39	29.39	10.93
16	18.77	40.63	21.86	29.82	11.40
17	18.84	40.1	21.26	28.79	10.70
18	18.92	38.63	19.71	27.56	9.66
19	18.66	34.89	16.23	22.75	5.28
20	17.75	32.08	14.33	21.93	5.39
21	17.19	27.98	10.79	20.25	4.15
22	16.47	23.8	7.33	18.49	2.96
23	15.55	20.79	5.24	17.07	2.33
24	14.53	17.99	3.46	15.21	1.40
รวม	338.68	581.16	242.48	468.99	130.31
RMSE			2.58		1.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของของห้องนอน 2 (BED 2) บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

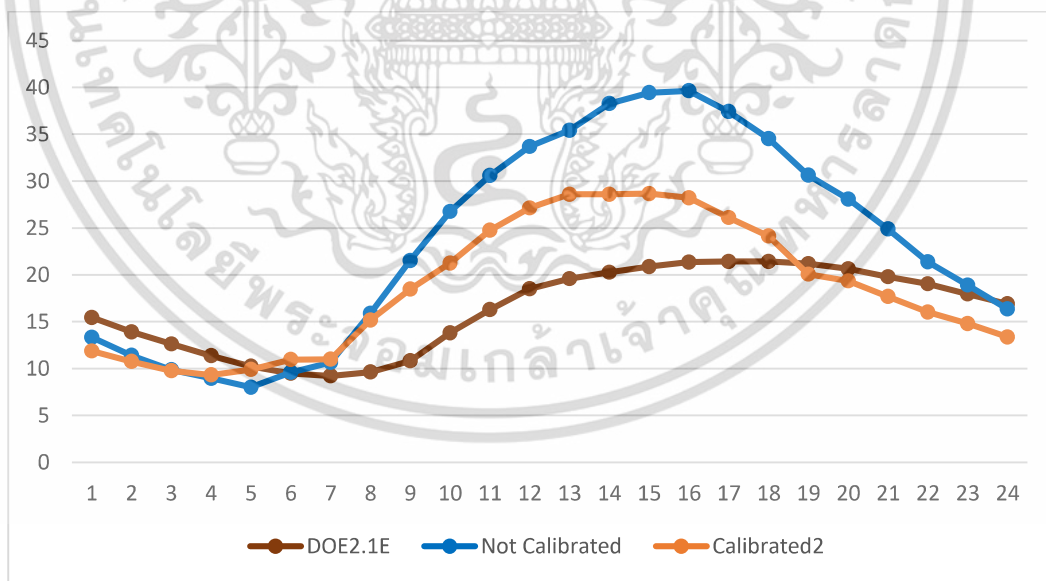
ชั่วโมง	DOE2.1E (KW)	Not calibrated		Calibrated	
		CLTD/CLF	ERROR	CLTD/CLF	ERROR
1	15.46	13.34	2.12	11.88	2.83
2	13.91	11.39	2.52	10.76	2.52
3	12.64	9.87	2.77	9.78	2.37
4	11.38	8.95	2.43	9.32	1.64
5	10.25	8.02	2.23	9.89	0.28
6	9.50	9.61	0.11	10.95	1.02
7	9.22	10.64	1.42	10.99	0.72
8	9.63	15.9	6.27	15.19	4.06
9	10.81	21.52	10.71	18.48	5.90
10	13.83	26.76	12.93	21.25	6.03
11	16.31	30.61	14.30	24.77	6.64
12	18.49	33.7	15.21	27.12	7.02
13	19.58	35.41	15.83	28.58	7.18
14	20.26	38.28	18.02	28.60	7.53
15	20.87	39.43	18.56	28.66	7.61
16	21.35	39.63	18.28	28.22	7.30
17	21.43	37.44	16.01	26.12	5.62
18	21.43	34.54	13.11	24.15	3.98
19	21.19	30.64	9.45	20.08	0.37
20	20.66	28.1	7.44	19.34	0.18
21	19.78	24.89	5.11	17.68	0.74
22	19.04	21.39	2.35	16.02	1.85
23	17.97	18.92	0.95	14.81	2.16
24	16.90	16.37	0.53	13.36	2.66
รวม	391.89	565.36	173.46	446.01	54.12
RMSE			2.14		0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 แสดงการเปรียบเทียบผลคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของของห้องนอน 1 (BED 1) บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย



รูปที่ 4.42 แสดงการเปรียบเทียบผลคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของของห้องนอน 2 (BED 2) บ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

ที่มา : ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การอภิปรายผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาการคำนวณหาค่า Heat gain ของวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

1.1. ค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนัง ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E โดยมีกลุ่มผนังที่กำหนด ได้แก่ Group F พบว่า ผนัง Group F มีค่า RMSE เท่ากับ 4.30 ซึ่งเป็นกลุ่มผนังที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดในขณะที่กลุ่มผนัง Group D มีค่า RMSE ต่ำที่สุด คือ 2.20 และ ผนัง Group D มีลักษณะกราฟใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 มากที่สุด จึงสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนัง ทำการศึกษาโดยการเลื่อนกลุ่มผนังขึ้นสองกลุ่มสำหรับประเทศไทย และเปรียบเทียบผลการคำนวณในช่วงเวลา 9.00 – 12.00 น. และ 13.00 – 4.00 น. ซึ่งสามารถลดค่า RMSE ลงจาก 4.30 เป็น 0.32 และสามารถปรับลักษณะกราฟให้มีความใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

1.2. ค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคา ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E โดยมีกลุ่มวัสดุที่กำหนด ได้แก่ Group 3 พบว่าวัสดุหลังคา Group 1 มีค่า RMSE น้อยที่สุด เท่ากับ 1.16 และ Group 3 ซึ่งเป็นกลุ่มวัสดุที่กำหนด มีค่า RMSE เท่ากับ 1.41 และมีลักษณะกราฟใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E จึงสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุหลังคา ทำการศึกษาโดยใช้กลุ่มผนังที่กำหนด (Group 3) ปรับเลื่อนขึ้น 3 ชั่วโมง ซึ่งสามารถลดค่า RMSE ลงจาก 1.41 เป็น 0.65 และสามารถปรับลักษณะกราฟให้มีความใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

1.3. ค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจก ด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E มีค่า RMSE เท่ากับ 7.06 และมีลักษณะกราฟใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E จึงสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุกระจก ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบผลการคำนวณในช่วงเวลา 6.00 – 11.00 น. ซึ่งสามารถลดค่า RMSE ลงจาก 7.06 เป็น 2.32 และสามารถปรับลักษณะกราฟให้มีความใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E

2. ผลการศึกษาการคำนวณค่าภาระทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

2.1. ทำการศึกษาโดยการเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าภาระทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบในส่วนของวัสดุประกอบอาคารตามหัวข้อที่ 1 ซึ่งได้ผลการศึกษาว่า สามารถลดค่า RMSE ของห้องนอน 1 (BED1) จาก 2.58 เป็น 1.32 และ สามารถลดค่า RMSE ของห้องนอน 2 (BED2) จาก 2.14 เป็น 0.92 จึงสรุปได้ว่ากระบวนการการเปรียบเทียบตามหัวข้อ 1 สามารถลดค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนรวมของอาคารได้ประมาณ 30% และสามารถปรับลักษณะกราฟให้มีความใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E มากยิ่งขึ้น



บทที่ 5

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าวิธีการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 ที่มีความแม่นยำมากกว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง ซึ่งอาจจะทำให้การประเมินภาระทำความเย็นเบื้องต้นของอาคารเกิดความคลาดเคลื่อน และส่งผลต่อการเลือกเครื่องปรับอากาศที่ไม่เหมาะสม ตลอดจนส่งผลกระทบต่อการคำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ดังนั้นตราบเท่าที่วิธีการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ยังคงเป็นที่นิยมที่วิศวกรหรือสถาปนิกในประเทศไทยเลือกใช้ จึงสมควรจะต้องมีการศึกษาเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เพื่อการประเมินภาระทำความเย็นที่แม่นยำยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้คือเพื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ซึ่งมีวิธีการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ตลอดจนการปรับเทียบเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำยิ่งขึ้น โดยจากการศึกษาการคำนวณค่า Heat gain ด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

1. การคำนวณค่า Heat Gain ของวัสดุผนังทึบและหลังคา ด้วยวิธี CLTD/CLF มีแนวโน้มที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกกลุ่มของวัสดุผนัง/หลังคา ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (BTU/h.ft².°F) และ น้ำหนักของผนังต่อพื้นที่ (lb/ft²) เนื่องจากรูปแบบการคำนวณ CLTD/CLF ถูกสร้างขึ้นโดยใช้วัสดุ และ ค่าเฉลี่ยภูมิอากาศที่มีความแตกต่างกันของละติจูดที่ตั้งเมื่อนำมาปรับใช้กับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน

2. จากการศึกษาคำนวณค่า Heat gain ด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุประกอบอาคารแต่ละชนิดจากแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ได้แก่ วัสดุผนังทึบ วัสดุหลังคา และ วัสดุกระจก เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยการจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121 พบว่าผลการคำนวณวัสดุที่เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ วัสดุผนัง ในขณะที่วัสดุอื่น ๆ มีค่าผลความคลาดเคลื่อนและลักษณะกราฟที่สามารถรับได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าวัสดุผนังเป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับการปรับเทียบมากที่สุด

3. การปรับเทียบอย่างง่ายที่สุดของการคำนวณค่า Heat gain ด้วยวิธี CLTD/CLF ของวัสดุผนัง คือการเลื่อนกลุ่มค่า CLTD ที่กำหนดขึ้นสองกลุ่มสำหรับประเทศไทย

และเมื่อทำการศึกษาคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยการจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121 โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณที่ไม่ได้ปรับเทียบ และผลการคำนวณที่ทำการปรับเทียบแล้ว สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

1. การปรับเทียบด้วยวิธีการเลื่อนกลุ่มผนังชั้นสองกลุ่มเป็นวิธีที่สามารถปรับลักษณะกราฟและค่าความคลาดเคลื่อนให้ใกล้เคียงกับการคำนวณโดยการจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121 ได้มากที่สุด
2. การปรับเทียบของวัสดุผนังทึบ วัสดุหลังคา และ วัสดุกระจกสามารถปรับลักษณะกราฟและลดค่าความคลาดเคลื่อนให้ใกล้เคียงกับการคำนวณโดยการจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121 มากขึ้น ประมาณ 30%

สรุปผลได้ว่าการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยการจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1E ver.121 เป็นการคำนวณที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นประมาณ 40-60% และ สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ได้โดยการปรับเทียบค่าตามผลการศึกษา โดยสามารถลดค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนลงได้ประมาณ 30% ซึ่งทำให้ผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

1. การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E โดยยังไม่มี การเปรียบเทียบด้วยค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในอาคารที่ก่อสร้างจริงในประเทศไทย จึงควรมี การศึกษาเพิ่มเติมโดยการเปรียบเทียบร่วมกับอาคารจริง
2. นอกจากวิธีการคำนวณที่ไม่ใช้คอมพิวเตอร์วิธี CLTD/CLF แล้วยังมีการคำนวณด้วยวิธีอื่นๆ เช่น TETD/TA หรือ RTSM เป็นต้น ที่นิยมในประเทศไทย จึงสมควรต่อการศึกษาต่อไป
- 3.. การปรับเทียบผลการคำนวณในงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการปรับเทียบอย่างง่ายเพื่อให้สามารถทำ ความเข้าใจได้ง่าย จึงสมควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับเทียบค่าด้วยวิธีการอื่นๆ ซึ่งอาจจะส่งผลให้ ให้ผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

American Society of Heating. *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. Atlanta:

Refrigerating and Air Condition Engineers. 1989.

Pita, Edward G. *Air-Conditioning Principles and Systems. 4th*. New Jersey: Prentice-Hall. 2545.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัย และสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2559.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานบ้านที่อยู่อาศัย*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2561.

ตุลย์ มณีวัฒนา. *เส้นทางสู่ HBM & RTSM : วัตินาการของการคำนวณภาวะความร้อน*. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บทความวิชาการชุดที่ 14 : 28-35. 2551.

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์ และ บุญยฤทธิ์ เผือกผ่องสุริยะ. *ค่า CLTD และ SCL ที่ใช้คำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารภายใต้ภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร*. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บทความวิชาการชุดที่ 12 : 57-78. 2550.

อมรรัตน์ ชินธนวัดน์. *การเลื่อนเวลาเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อประหยัดพลังงาน กรณีศึกษา : ห้องทดสอบชั้น 3 อาคารเรียนรวมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2562.

โอม ปนาทกุล. *แนวทางวิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ กรณีศึกษา : อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.

The U.S. Department of Energy. *DOE-2 Reference Manual Part1 Version2.1*. Retrieved January,2021 from: <https://doe2.com/Download/DOE-21E/DOE-2ReferenceManualVersion2.1A.pdf>

บรรณานุกรม (ต่อ)

Porntiva Visitsora-at. *Metrics* พื้นฐานสำหรับวัดประสิทธิภาพโมเดล *Machine Learning*. สืบค้นเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2564, <https://medium.com/@615162020027/metrics-พื้นฐานสำหรับวัดประสิทธิภาพของโมเดล-machine-learning-c00fcc32fa30>

กระทรวงพลังงาน. *แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558-2579 (Energy Efficiency Plan; EEP 2015)*. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2564, <http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/EEP2015.pdf>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นฉบับไม่มีภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฐนิช จันทร์สิงห์
 วัน เดือน ปีเกิด 27 ตุลาคม พ.ศ.2539
 ที่อยู่ 44/10 หมู่ 3 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
 E-mail nattanitha@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

2552-2558 โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรีพิษณุโลก
 2558-2563 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน สาขาวิชา
 สถาปัตยกรรมหลัก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 2563-2565 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน สาขาวิชา
 สถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์ทำงาน

2564-2565 ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง บริษัท อรุณชัยเสรี คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง จำกัด