DOI :

การศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

The Study of Cooling Load Calculation Error by CLTD/CLF Method Compared to Simulation with DOE2.1E

ณัฐนิช จันทร์สิงห์* และ รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ**

Nattanit Junsing* and Rungroj Wongmahasiri**

Received : March 15, 2021 Revised : August 2, 2021 Accepted : August 17, 2021

บทคัดย่อ

ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานมีค่าสูงถึง 40-60 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทย ดังนั้นการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่แม่นยำ จะสามารถส่งผลถึงการอนุรักษ์พลังงานในด้านต่างๆ อีกทั้งยังส่งผลในการเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายในส่วนของระบบปรับอากาศลงได้อีกด้วย ในประเทศไทยการคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็ว และ ยังสามารถทำความเข้าใจในหลักการได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้ระบบโปรแกรมที่ซับซ้อนเข้ามาช่วยในการคำนวณ หากแต่ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าการคำนวณด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงได้ทำการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

ผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 พบว่าการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF ด้วยค่า CLTD จากกลุ่มผนังที่กำหนด (Group F) และ จากกลุ่มผนังข้างเคียง (Group E และ Group G) มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทั้งสามเดือน เท่ากับ 11.65%, 16.31% และ 4.82% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่ากลุ่มผนังที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ กลุ่มผนังใกล้เคียง (Group G) จึงจะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกกลุ่มผนังเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ เนื่องจาก

---

* นักศึกษา หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เขตลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 10520

** อาจารย์ประจำ หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เขตลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 10520

* Master of Architecture Program in Tropical Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520

** Master of Architecture Program in Tropical Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520

Corresponding author E-mail: nattanitha@hotmail.com*

ค่า CLTD ถูกสร้างเพื่อการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยอ้างอิงจากวัสดุ และสภาวะแวดล้อมในประเทศของผู้จัดทำ ซึ่งส่งผลให้เมื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยใช้วัสดุและอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมของประเทศไทย ซึ่งมีการหน่วงเวลาของพลังงานความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเข้ามาต่างกันกับประเทศของผู้จัดทำ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ

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 study of cooling load calculation error by CLTD/CLF method compared to simulation with DOE2.1E ver.121 found that the calculation of the CLTD/CLF method with the CLTD values from the selecting wall (Group F) and the neighboring wall group (Group E and Group G) were compared to simulation with DOE2.1E ver.121, has 11.65% error, 16.31% error and 4.82% error, respectively. As a result, Wall group G has a lowest error instead of the selecting wall (Group F) so the discrepancy in the calculation of the cooling load by CLTD/CLT method arises from the process of selecting the wall group because the CLTD values was generated based on the materials and the environment in producers' country so that when calculate by using materials and the environment under the conditions of Thailand, which has a different time lag therefore causing errors in calculations.

คำสำคัญ: CLTD/CLF ค่าภาระการทำความเย็น โปรแกรมDOE2.1E ค่าความคลาดเคลื่อน
Keywords: CLTD/CLF, Cooling Load, DOE2.1E, Percentage Error

บทนำ

จากปัญหาด้านพลังงานที่เกิดขึ้นทั่วโลกในปัจจุบัน ทำให้เกิดนโยบายและมาตรการต่างๆ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมามากมาย ในส่วนของประเทศไทย สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ก็ได้กำหนดนโยบายแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558 – 2579 (Energy Efficiency Plan ; Eep 2015) มีเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงานในขั้นสุดท้าย ซึ่งเป็นพลังงานเชิงพาณิชย์ เช่น น้ำมันสำเร็จรูป ไฟฟ้า และพลังงานทดแทน ให้ได้ 56,142 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) ร่วมกับจากการสำรวจโดยกระทรวงพลังงานพบว่าอาคารที่อยู่อาศัยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 23 จึงทำให้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานในภาคครัวเรือนหรืออาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทย

สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทย จากการสำรวจของศูนย์ประสานงานออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานพบว่า ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานสูงที่สุด ซึ่งมีค่าสูงถึง 40-60 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมด เพื่อตอบสนองต่อนโยบายและมาตรการในการลดการใช้พลังงานในขั้นสุดท้าย การคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่แม่นยำ จะส่งผลถึงการประเมินและการปรับแก้การใช้พลังงานของอาคารอย่างเหมาะสม รวมถึงการประเมินเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการออกแบบ และ การใช้วัสดุของบ้านพักอาศัยได้ อีกทั้งยังส่งผลในการเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายในส่วนของระบบปรับอากาศลงได้อีกด้วย

วิธีการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่สถาปนิกใช้ อาจใช้การคำนวณตามสมการหรือการคำนวณด้วยระบบโปรแกรม ซึ่งข้อดีและข้อเสียของการคำนวณทั้งสองรูปแบบสามารถเปรียบเทียบกันตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการคำนวณทั้งสองรูปแบบ

	การคำนวณตามสมการ	**การคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม**
ความสะดวกรวดเร็ว	เร็ว	ช้า
ความง่ายในการทำความเข้าใจวิธีการคำนวณ	ง่าย	ยาก
การปรับเปลี่ยนแก้ไขแบบ	ช้า	เร็ว
ค่าการคำนวณใกล้เคียงความเป็นจริง	น้อย	มาก

จากตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการคำนวณทั้งสองรูปแบบพบว่า ข้อดีของการคำนวณตามสมการคือมีความสะดวกรวดเร็ว สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย แต่เมื่อมีการปรับเปลี่ยนแก้ไขแบบจะมีการแก้ไขที่ล่าช้าและยุ่งยากกว่าการคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม รวมถึงค่าที่ได้จากการคำนวณยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงน้อยกว่า เนื่องจากการคำนวณตามสมการโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นการคำนวณภายใต้เงื่อนไขสภาพอากาศที่มีการสมมติให้เป็นสภาวะคงตัว (Steady-state Condition) ซึ่งเป็นการคำนวณภายใต้เงื่อนไขสภาวะสภาพอากาศแบบเดียว แต่ในความเป็นจริงแล้ว ค่าต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะสภาพแวดล้อมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเทียบกันแล้ว ระบบโปรแกรมที่ใช้พื้นฐานสภาวะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมและเวลา (Transient Condition) จะสามารถคำนวณและปรับแต่ง (Calibrate) จนกระทั่งผลลัพธ์การคำนวณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงมากกว่า

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธีตามสมการ ASHRAE Handbook ในฉบับ Fundamental จะกล่าวถึงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นหลักอยู่ 4 วิธี ได้แก่ วิธีสมดุลความร้อน (Heat Balance) วิธี Total Equivalent Temperature Differential วิธี Transfer Function (TFM) และ วิธี Cooling Load Temperature Difference/Solar Cooling Load/Cooling Load Factor (CLTD/SCL/CLF) จนกระทั่งตั้งแต่ในปี ค.ศ.2001 เป็นต้นมา ASHRAE Handbook ฉบับ Fundamental ก็ได้กล่าวถึงเฉพาะวิธี Heat Balance (HBM) และ วิธี Radiant Time Series (RTSM) เท่านั้น ซึ่งโดยปกติ วิธี HBM และ RTSM จะมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่นๆ แต่ก็เป็นวิธีที่ค่อนข้างทำความเข้าใจได้ยาก โดยผู้ใช้งานต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นเป็นอย่างดี รวมถึงมีความยุ่งยากในการใช้งานที่อาจจะต้องเขียนโปรแกรมประกอบ ซึ่งนอกจากวิธี CLTD/CLF แล้ว วิธีอื่นๆ ต่างต้องใช้การคำนวณที่ซับซ้อนทำให้จำเป็นต้องมีการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

บทความนี้จึงเลือกที่จะศึกษาการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นตามสมการด้วยวิธี CLTD/CLF เนื่องจากเป็นวิธีเดียวที่สามารถคำนวณได้โดยใช้เครื่องมือทั่วไป รวมทั้งง่ายต่อการทำความเข้าใจในหลักการ ทำให้แม้ว่าจะเป็นบุคคลที่ไม่ได้ประกอบอาชีพด้านระบบปรับอากาศก็สามารถทำความเข้าใจและนำไปใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งยังเป็นวิธีการคำนวณตามสมการที่ยังนิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและระดับความเชื่อมั่นของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทยด้วยวิธี CLTD/CLF รวมถึงประโยชน์ในส่วนของการประเมินพลังงานในอาคาร จึงนำไปศึกษาเปรียบเทียบกับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ซึ่งเป็นระบบโปรแกรมที่สามารถป้อนค่าคุณสมบัติของวัสดุ งานระบบ ร่วมกับข้อมูลสภาพอากาศได้อย่างอิสระ อีกทั้งยังเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง ที่ถูกใช้สำหรับทั้งการศึกษา ออกแบบวิเคราะห์ และ การทดสอบมาตรฐานพลังงานของอาคารในสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก อีกทั้งได้รับการยอมรับในการคำนวณตามมาตรฐานในระดับสากล เช่น ASHRAE LEED เป็นต้น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาได้ทำการทดสอบรูปแบบการคำนวณภาระทำความเย็น 2 รูปแบบ คือ การคำนวณตามสมการด้วยวิธี CLTD/CLF และ การคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

เพื่อการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีพื้นฐานของบ้านพักอาศัยที่ตรงกัน และ เป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย จึงใช้แบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน จากผลการสำรวจตามโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และการสำรวจตามโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 2

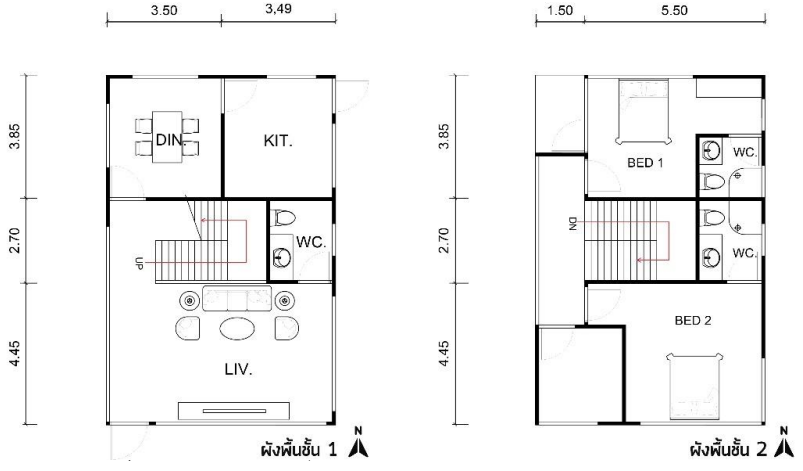
ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลลักษณะของบ้านพักอาศัยพื้นฐานในประเทศไทย

บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	รายละเอียด
จำนวนสมาชิก	3-4 คน
พื้นที่ใช้สอยรวม	154 ตารางเมตร
จำนวนห้องนอน	2 ห้องนอน
ค่าองศาหลังคา	30 องศา
ความสูงผนังแต่ละชั้น	2.89 เมตร
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	77% ของพื้นที่ใช้สอยภายใน
ความยาวชายคา	1.13 เมตร
ช่องเปิด	23% ของพื้นที่ผนังภายนอก
ความสูงของวงกบบนจากระดับพื้นเฉลี่ย	1.80 เมตร
ความสูงของวงกบล่างจากระดับพื้นเฉลี่ย	0.80 เมตร
วัสดุประกอบอาคาร	- ผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสีอ่อน - หลังคากระเบื้องลอนคู่ มีช่องว่างใต้หลังคา และ ฝ้ายิปซั่มความหนา 9 มม. กระจกใสความหนา 5 มม.

โดยในการศึกษาได้วางขั้นตอนการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ดังต่อไปนี้

1. กำหนดแบบบ้านมาตรฐานในประเทศไทย

นำข้อมูลจากตารางที่ 2 ซึ่งแสดงข้อมูลของบ้านพักอาศัยพื้นฐานในประเทศไทย มาออกแบบบ้านมาตรฐานเพื่อใช้ในการศึกษาซึ่งมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงแบบผังบ้านพักอาศัยที่ออกแบบจากข้อมูลโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560

2. ศึกษาการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

2.1 วิธี CLTD/CLF ของ ASHRAE

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

2.2 ทฤษฎีการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

หลักการของการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF คือ การรวมผลของการนำความร้อนจากภายนอกที่ผ่านผนัง กระจก และหลังคา รวมถึงผลของการสะสมความร้อนในผนัง กระจก และหลังคา ให้อยู่ในรูปอุณหภูมิเทียบเท่าที่เรียกว่า Cooling Load Temperature Difference ดังสมการที่ 1

$$Qc = U \times A \times (CLTD) \quad (1)$$

เมื่อ Qc = ค่าภาระการทำความเย็นจากความร้อนผ่านผนังทึบ หลังคา/ค่าภาระการนำความร้อนผ่านกระจก (W)

U = ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวม ($W/ft^2 . °F$)

A = พื้นที่ที่ส่งผ่านความร้อน (ft^2)

CLTD = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาระการทำความเย็น (°F)

การหาค่า CLTD สามารถหาได้จากตารางที่กำหนดโดย ASHRAE ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่ว่า อุณหภูมิภายในเท่ากับ 78 °F (25.5 °C) อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 85 °F (29.4 °C) และอยู่ที่ละติจูด 40N แต่ถ้าหากมีการแก้ไขในส่วนสภาวะออกแบบที่ต่างไปต้องแก้ไขตามเส้นละติจูดและเดือน (LM) และสีของผนัง (K) รวมทั้งแก้ไขอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (tO) และอุณหภูมิภายในห้อง (tR) ตามที่เป็นจริง โดยแก้ไขจากสมการดังสมการที่ 2

$$CLTDc = (CLTD + LM) \times K + (78 - tR) + (tO - 85) \quad (2)$$

เมื่อ CLTDc = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาระการทำความเย็น (°F)
CLTD = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาระการทำความเย็นที่กำหนดโดย ASHRAE (°F)
LM = ปรับค่าละติจูดและเดือน
K = ปรับค่าสีพื้นผิว
tR = อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ย (°F)
tO = อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (°F)

2.3 การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

คำนวณโดยใช้ข้อมูลบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และ อ้างอิงกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

2.3.1 วัสดุกรอบอาคารและผนังภายใน

ในการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF จำเป็นต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุกรอบอาคารและผนังภายในที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 3 และ การหาค่า CLTD เพื่อนำมาคำนวณเพื่อหาภาระการทำความเย็นตามสมการที่ (2) และ (1) ตามลำดับ สามารถหาได้ด้วยการเทียบน้ำหนักต่อพื้นที่และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุผนังภายนอก และหลังคา เทียบกับตารางแบ่งประเภทผนัง และหลังคาของ ASHRAE โดยผนังแบ่งออกเป็นทั้งหมด 7 กลุ่ม ได้แก่ Group A, Group B, Group C, Group D, Group E, Group F, Group G ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุประกอบอาคารและผนังภายใน

วัสดุกรอบอาคารและผนังภายใน	น้ำหนักต่อพื้นที่ (lb/ ft²)	U (BTU/h.ft².°F)	Group
ผนังภายนอกและภายใน	34.95	0.23	F
กระจกใส หนา 6 มิลลิเมตร ไม่มีอุปกรณ์บังเงาภายใน	2.87	3.2	-
หลังคา (วัสดุมุงหลังคา + ช่องว่างอากาศ + ฝ้าเพดาน)	17.16	0.03	-

2.3.2 ตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อค่าภาระการทำความเย็น

นอกจากภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากความร้อนที่เข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศ ผ่านทางวัสดุกรอบอาคารและผนังภายในแล้ว ยังมีตัวแปรอื่นๆ ที่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นภายในพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งเป็นไปตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แสดงตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อค่าภาระการทำความเย็น

ตัวแปรที่มีผลต่อค่าภาระการทำความเย็น	รายละเอียด
พื้นที่ปรับอากาศ	2 ห้องนอน (23% ของพื้นที่ใช้สอยภายใน)
ผู้ใช้งานพื้นที่ปรับอากาศ	2 คน/ห้อง ระยะเวลาการใช้งานพื้นที่เท่ากับ 10 ชั่วโมง (20.00 - 6.00)
อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง	ระยะเวลาการใช้งานเท่ากับ 5 ชั่วโมง 30 นาที
เครื่องปรับอากาศ	ขนาด 12300 BTU ระยะเวลาการใช้งานเท่ากับ 10 ชั่วโมง (20.00 – 6.00)

อ้างอิง : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.3.3 คำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

คำนวณโดยใช้ข้อมูลบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และ อ้างอิงกับสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ คือ ในช่วงเวลา 20.00-6.00 น. ของประเทศไทยในเดือนมีนาคม เมษายน และ พฤษภาคม ซึ่งเป็นกลุ่มเดือนที่ร้อนที่สุดจากสถิติอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงของกรมอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ.2558 - พ.ศ.2563 โดยแบ่งตามกลุ่มของผนังเพื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มของผนังของตัวอย่าง ซึ่งได้จากการนำน้ำหนักต่อพื้นที่และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุผนังอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐานเทียบกับตารางการแบ่งกลุ่มผนังของ ASHRAE โดยกลุ่มผนังที่มีค่าใกล้เคียงกับวัสดุผนังของอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐานมากที่สุด ได้แก่ Group F และกลุ่มผนังใกล้เคียง ได้แก่ Group E และ Group G ดังนั้นจึงได้ค่า CLTD ดังแสดงในตารางที่ 5 และ ผลการคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF ของกลุ่มผนัง Group E, Group F และ Group G ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 แสดงค่า CLTD สำหรับผนังทึบ Group E, Group F และ Group G ตามลำดับ

	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 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	9	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

ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

กลุ่มของผนัง	ค่าภาระการทำความเย็น (kWh/Month)		
	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
Group E	248.81	254.00	262.22
Group F	239.02	244.21	252.43
Group G	223.63	228.81	237.04

3. ศึกษาการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธีการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

3.1 โปรแกรม DOE2.1E ver.121

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

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทำนายการใช้พลังงานรายชั่วโมงและต้นทุนพลังงานของอาคาร และ ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งสำหรับการศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์ และการทดสอบมาตรฐานด้านพลังงานของอาคารที่ได้รับการยอมรับในการคำนวณตามมาตรฐานระดับสากล โดยในการคำนวณจะมีการระบุค่าการจำลองสภาพทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ พฤติกรรมการใช้งานอาคาร รูปลักษณะอาคาร การใช้วัสดุ และ งานระบบที่เกี่ยวข้อง ในการกำหนดแบบจำลองด้วยโปรแกรม DOE2.1 E ประกอบด้วยการกำหนดค่าดังที่แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงการกำหนดค่าในระบบโปรแกรม DOE2.1E

องค์ประกอบสำคัญในการกำหนดแบบจำลอง	การระบุค่าในระบบโปรแกรม
กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในพื้นที่	- กำลังไฟฟ้าแสงสว่างต่อตารางเมตร - กำลังไฟฟ้าอุปกรณ์ต่อตารางเมตร
พฤติกรรมหรือเวลาการใช้งานพื้นที่	เวลาในหน่วยชั่วโมงที่ใช้งานพื้นที่
วัสดุประกอบอาคาร	ค่าเบื้องต้นต่างๆ ของวัสดุประกอบอาคาร
รูปทรงอาคาร	ลักษณะรูปทรงอาคาร
งานระบบต่างๆ	เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ เป็นต้น

หลังจากการสร้างโมเดลอาคาร และกำหนดประเภทและค่าเบื้องต้นต่างๆ ของวัสดุพื้น ผนัง ประตู หน้าต่าง ฝ้าเพดาน และหลังคา ซึ่งเป็นการนำความร้อนจากผนังภายนอก รวมถึงจำนวนผู้ใช้งานอาคาร ระบบปรับอากาศ และข้อมูลการใช้งานของไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดภาระทำความเย็นที่เกิดจากปัจจัยภายในอาคาร รวมถึงการตั้งค่าเบื้องต้นของที่ตั้งอาคาร การรายงานผลการคำนวณของโปรแกรม DOE2.1E ver.121 จะสามารถเลือกดูการรายงานผลในรูปแบบผลการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน หรือรายปี

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

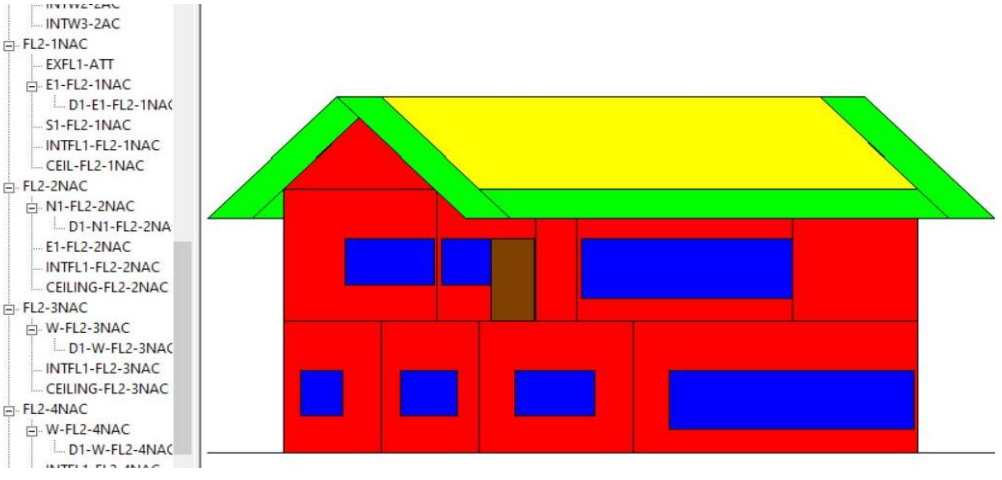
3.2.1 ค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่เพื่อใช้ในระบบโปรแกรม

ในระบบโปรแกรม DOE2.1E ต้องการการป้อนค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่เพื่อใช้ในการกำหนดสัดส่วนของภาระปรับอากาศที่เกิดขึ้น และ พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง รวมถึงอุปกรณ์ประกอบอาคาร

เนื่องจากระบบโปรแกรมไม่สามารถกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ทุกชิ้นได้ จึงต้องใช้อัตราส่วนของการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละประเภทประกอบกัน เพื่อให้สามารถกำหนดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ได้ ดังนั้น จากผลการสำรวจตามโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และการสำรวจตามโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อัตราส่วนของการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง คือ 0.26 W/ft² และ อัตราส่วนของการทำงานของไฟฟ้าอุปกรณ์ คือ 1.00 W/ft²

3.2.2 ป้อนข้อมูลแบบจำลองเข้าระบบโปรแกรม

การศึกษาการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยพื้นฐานโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 ดำเนินการโดยการป้อนข้อมูลอาคารเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างแบบจำลองผ่าน BDL Processor ในรูปของฟอร์มอาคาร 3 มิติ ดังที่แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบจำลองบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

3.3 การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธีการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

คำนวณโดยใช้ข้อมูลบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และ อ้างอิงกับสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงในระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2554 - พ.ศ.2558) ประเทศไทย โดยเลือกใช้ข้อมูลของเดือนมีนาคม เมษายน และ พฤษภาคม เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นกลุ่มเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด โดยเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด ได้แก่ เดือนพฤษภาคม รองลงมาคือเดือนเมษายน และ เดือนมีนาคมตามลำดับ ซึ่งผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธีการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 เป็นไปดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธีการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ค่าภาระการทำความเย็น (kWh/Month)		
มีนาคม	**เมษายน**	**พฤษภาคม**
216	213	229

4. ศึกษาเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณทั้งสองรูปแบบ เพื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อน

4.1 ค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) คือผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง โดยทั่วไปแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยถ้าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมาก แสดงว่าการวัดนั้นมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3

$$\% \text{ Error} = \frac{|Xt - Xmea|}{Xt} \times 100 \qquad (3)$$

เมื่อ % Error = เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

Xt = ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม DOE2.1E

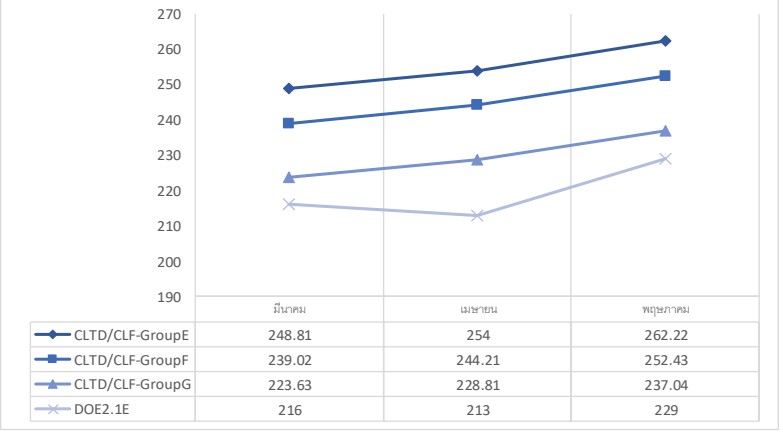
Xmea = ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF

4.2 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณทั้งสองรูปแบบ เพื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อน

เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณทั้งสองรูปแบบ เพื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อน ดังที่แสดงในตารางที่ 9 และ ภาพที่ 3

ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

กลุ่มของผนัง	เดือน	CLTD/CLF (kWh)	DOE 2.1E (kWh)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)
Group E	มีนาคม	248.81	216	15.19	16.31
	เมษายน	254.00	213	19.25	
	พฤษภาคม	262.22	229	14.51	
Group F	มีนาคม	239.02	216	10.06	11.65
	เมษายน	244.21	213	14.65	
	พฤษภาคม	252.43	229	10.23	
Group G	มีนาคม	223.63	216	3.53	4.82
	เมษายน	228.81	213	7.42	
	พฤษภาคม	237.04	229	3.51	



ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณโดยการจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 ดังที่แสดงในตารางที่ 9 พบว่าการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF ด้วยค่า CLTD จากกลุ่มผนังที่กำหนด (Group F) และ จากกลุ่มผนังข้างเคียง (Group E และ Group G) มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทั้งสามเดือน เท่ากับ 11.65%, 16.31% และ 4.82% ตามลำดับ ซึ่งพบว่ากลุ่มผนัง Group G มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากทั้งสามกลุ่มผนัง รองลงมาคือกลุ่มผนัง Group F ซึ่งเป็นกลุ่มผนังที่กำหนด และกลุ่มผนัง Group E ตามลำดับ

การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่าผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 มีผลรวมปริมาณภาระการทำความเย็นในแต่ละเดือนต่ำกว่าการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เนื่องจากเป็นการคำนวณที่มีการอ้างอิงสภาวะอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน ในขณะที่การคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF เป็นการคำนวณด้วยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ทำให้ผลการคำนวณเกิดความคลาดเคลื่อน จึงจำเป็นต้องมีการปรับลดผลการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF ที่มีค่าสูงกว่า เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า

ค่ากลุ่มผนังที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ กลุ่มผนังใกล้เคียง (Group G) ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่ากลุ่มผนังที่กำหนด (Group F) 6.83% จึงจะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกกลุ่มผนังเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ เนื่องจากค่า CLTD ถูกสร้างเพื่อการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยอ้างอิงจากวัสดุ และสภาวะแวดล้อมในประเทศของผู้จัดทำ ซึ่งส่งผลให้เมื่อนำมาใช้คำนวณโดยใช้วัสดุและอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมของประเทศไทย ซึ่งมีการหน่วงเวลาของพลังงานความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเข้ามาต่างกันกับประเทศของผู้จัดทำ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณได้

การศึกษาปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF ด้วยกลุ่มผนังที่กำหนดและกลุ่มผนังที่ใกล้เคียงกันเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยจำลองด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 โดยใช้แบบบ้านพื้นฐานที่มาจากการสำรวจแบบบ้านพักอาศัยทั่วประเทศไทย และอ้างอิงภูมิอากาศของประเทศไทย ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการศึกษาจะสามารถช่วยให้การคำนวณค่าภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD/CLF มีความแม่นยำ และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นเทียบเท่าการใช้ระบบโปรแกรมในการคำนวณ โดยมีความสะดวกรวดเร็วที่มากกว่าการใช้ระบบโปรแกรมที่ซับซ้อนที่ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก และใช้เวลามากในการดำเนินงาน อีกทั้งยังส่งผลถึงการประเมินและการปรับแก้การใช้พลังงานของอาคารอย่างเหมาะสม การประเมินเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการออกแบบและการใช้วัสดุของบ้านพักอาศัยได้ และ การเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับภาระการทำความเย็น

ข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการศึกษา

1. การศึกษาวิจัยนี้ใช้ข้อมูลของอาคารที่อยู่อาศัยในการอ้างอิง ดังนั้น สำหรับอาคารประเภทอื่นๆ ที่มีการใช้งานและวัสดุที่แตกต่างกัน อาจจะมีผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน หรือ มีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

2. ขั้นตอนการเลือกกลุ่มผนังสามารถทำให้เกิดความผิดพลาดได้ เนื่องจากการเลือกกลุ่มผนังต้องทำด้วยการเทียบน้ำหนักต่อพื้นที่และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุผนังภายนอก ซึ่งไม่ตรงกับวัสดุที่ระบุในตาราง จึงมีความน่าสนใจในการศึกษาต่อโดยการประเมินร่วมไปกับการปรับเปลี่ยนการเลือกกลุ่มของผนังให้เหมาะสมกับวัสดุในประเทศไทย

3. เมื่อมีการปรับเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศให้แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยก็อาจจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันได้ จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติมสำหรับแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

4. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF กับการคำนวณด้วยวิธีการ หรือ Software อื่นๆ เพิ่มเติม เช่น BEC ซึ่งมีการใช้ค่า Tdeq แทนค่า CLTD ในการคำนวณ เพื่อให้การคำนวณตามสมการด้วยวิธี CLTD/CLF เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยหรือมีผลลัพธ์ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). *โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน.* กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

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

ตุลย์ มณีวัฒนา. (2008). *เส้นทางสู่ HBM & RTSM : วิวัฒนาการของการคำนวณภาระความร้อน.* สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บทความวิชาการชุดที่ 14 : 28-35.

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์ และ บุญยฤทธิ์ เผือกผ่องสุริยะ. (2007). *ค่า CLTD และ SCL ที่ใช้คำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารภายใต้ภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร.* สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บทความวิชาการชุดที่ 12 : 57-78.

American Society of Heating. (1989). *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. Atlanta: Refrigerating and Air Condition Engineers.

Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2016). *Studying Energy Consumption Criteria in Resident Building and Creating the Energy-Saving House model Project.* Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2018). *Studying to Formulate Resident Building Energy Efficiency Standards Project.* Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Ministry of Energy. (2558). *Energy Efficiency Plan; EEP 2015*. Retrieved January, 2021 from: http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/EEP2015.pdf.

Pita, Edward G. (2002). *Air-Conditioning Principles and Systems. 4th***.** New Jersey: Prentice-Hall.

Somsak Chaiyapinunt, Khemmachat Mangkornsaksit and Boonyarit Phueakphongsuriya. (2007). *Development of Cooling Load Calculation Methods.* Air Conditioning Engineering Club of Thailand; Academic Article no.12 : 57-78.

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

Tul Manewattana. (2008). *Development of Cooling Load Calculation Methods.* Air Conditioning Engineering Club of Thailand; Academic Article no.14: 28-35.