

การสร้างแบบประเมินบ้านรักษานิเวศสำหรับภูมิภาคนี้

นางสาวจิตพัทธ์ อนุเรืองวิวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF ASSESSMENT METHOD FOR ECO-HOUSE IN HOT-HUMID REGION

Miss Jittapat Choruengwiwat

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบประเมินบ้านรักษานิเวศสำหรับภูมิภาคอันดามัน
โดย	นางสาวจิตพัทธ์ ใจเรืองวิวัฒน์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ บุรณากาญจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ บุรณากาญจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ยุวีร์ อินนา)

จิตพัทธ์ ขอเรื่องวิวัฒน์ : การสร้างแบบประเมินบ้านรักษ์นิเวศสำหรับภูมิภาคร้อนชื้น.

(DEVELOPMENT OF ASSESSMENT METHOD FOR ECO-HOUSE IN HOT-

HUMID REGION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ดมรงค์สิทธิ์ บุญนา

กาญจน์ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ 290 หน้า.

แบบประเมินอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน เกิดขึ้นในหลายประเทศ อาทิเช่น BREEAM (สหราชอาณาจักร) CASBEE (ประเทศญี่ปุ่น) GREEN STAR (ประเทศออสเตรเลีย) และ LEED (สหรัฐอเมริกา) หากแต่แบบประเมินเหล่านี้ไม่เหมาะสำหรับประเทศไทยเนื่องจากภูมิอากาศของประเทศที่แตกต่างกัน จาก ทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต ระบุว่า ปริมาณการใช้ พลังงาน ในอาคารสูงถึง 60-90% ในช่วงอายุอาคารระหว่าง 30-50 ปี การวิจัยนี้เสนอการวิเคราะห์ขั้นตอนการผลิต วัสดุการก่อสร้าง ขั้นตอนการออกแบบ และขั้นตอนการใช้งานอาคารเพื่อสร้างแบบประเมินอาคาร

กระบวนการวิจัยประกอบด้วย การ วิเคราะห์ วัฏจักรชีวิตของอาคารในขั้นตอนการผลิตวัสดุจาก พลังงานสะสม จากนั้นวิเคราะห์ ปัจจัยที่มีผลต่อค่า รออกแบบและการใช้งาน อาคาร ได้แก่ ตัวแปรที่มีอิทธิพลภายนอก ได้แก่ ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม รูปทรงอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ และการรั่วซึม ตัวแปรที่มีอิทธิพลภายในอาคาร ได้แก่ การใช้ไฟฟ้าในอาคาร การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร และ ตัวแปรด้านประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

การวิจัยนี้เสนอดัชนีการประเมินการใช้พลังงานในอาคารดังนี้ ดัชนีสภาพแวดล้อม (องศาเซลเซียส) ค่าดีที่สุดเท่ากับ 5.25 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.81 ค่าไม่ดีเท่ากับ 20.37 ดัชนีรูปทรงอาคารค่าดีที่สุดเท่ากับ 0.50 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 ค่าไม่ดีเท่ากับ 6.50 ดัชนีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (วัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส) ค่าดีที่สุดเท่ากับ 0.06 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.64 ค่าไม่ดีเท่ากับ 5.22 ดัชนีการรั่วซึม(วัตต์ต่อตารางเมตร) ค่าดีที่สุดเท่ากับ 12 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36 ค่าไม่ดีเท่ากับ 60 ดัชนีการใช้ไฟฟ้าในอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร) ค่าดีที่สุดเท่ากับ 6 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12 ค่าไม่ดีเท่ากับ 18 ดัชนีอุปกรณ์ไฟฟ้า (วัตต์ต่อตารางเมตร) ค่าดีที่สุดเท่ากับ 1.89 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.90 ค่าไม่ดีเท่ากับ 29.91 ดัชนีประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศค่าดีที่สุดเท่ากับ 0.23 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 ค่าไม่ดีเท่ากับ 0.65 การแบ่งระดับการให้คะแนนการประเมินอาคาร มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ได้แก่ ระดับดีเยี่ยมมีค่าน้อยกว่า 55 ระดับดีมากมีค่าระหว่าง 55-112.50 ระดับดีมีค่าระหว่าง 112.50-170 ระดับมาตรฐานมีค่าระหว่าง 170-227.50 ระดับไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมีค่าระหว่าง 227.50-285 ระดับต่ำมีค่าระหว่าง 285-342.50 ระดับต่ำมากมีค่าระหว่าง 342.50-400 ระดับต่ำที่สุดมีค่ามากกว่า 400 แบบประเมินอาคารนี้เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบ ด้านการใช้พลังงาน ในอาคารได้อย่างดี เนื่องจากรวมตัวแปรที่มีอิทธิพล อย่างมากต่อการ ใช้พลังงานในอาคารทั้งหมด ซึ่งสามารถใช้ประเมินอาคารเก่าและอาคารที่ออกแบบใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบอาคารสำหรับสถาปนิก วิศวกรและผู้เกี่ยวข้อง ได้เป็นอย่างดี

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์..ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา....สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา...2552.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

4874401025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : GREEN BUILDING / INDEX / SUSTAINABLE DESIGN / HOT-HUMID

JITTAPAT CHORUENGWIWAT : DEVELOPMENT OF ASSESSMENT METHOD

FOR ECO-HOUSE IN HOT-HUMID REGION. THESIS ADVISOR : ASSOC.

PROFESSOR VORASUN BURANAKARN, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR :

PROFESSOR SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 290 pp.

Nowadays, there are building energy assessment methods in many countries, for example, BREEAM (UK), CASBEE (Japan) GREEN STAR (Australia) and LEED (USA). However, these indexes can not be applied directly to Thailand because of climatic differences. From the life cycle assessment theory, energy consumption of building can reach as high as 60 – 90 percent during its life span of 30 – 50 years. This research analysed the process of material production, design and operation for the development of building assessment method.

The development process consisted of embodied energy analysis of building materials. Factors that influenced design and operation including external factor as micro-climate, building form, thermal transfer and infiltration, internal factors such as lighting and electrical loads, and air-condition efficient factor were also analyzed.

Proposed energy assessment index of building consists of micro climate sub-index ($^{\circ}\text{C}$) values of 5.25 (good), 12.81 (average) and 20.37 (bad); building form index values of 0.50 (good), 3.50 (average) and 6.50 (bad); thermal transfer index ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$) values of 0.06 (good), 2.64 (average) and 5.22 (bad); infiltration index (W/m^2) values of 12 (good), 36 (average) and 60 (bad); lighting index (W/m^2) values of 6 (good), 12 (average) and 18 (bad); appliance index (W/m^2) values of 1.89 (good), 15.90 (average) and 29.91 (bad); air condition index values of 0.23 (good), 0.44 (average) and 0.65 (bad). The energy assessment of building ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{yr}$) can be categorized in different levels. The values lower than 55 is counted as the excellent level (A^+), 55 – 112.50 as very good level (A), 112.50 – 170 as good level (B^+), 170 – 227.50 as average level (B), 227.50 – 285 as lower than the average level (C^+), 285– 342.50 as low level (C), 342.50 – 400 as very low level (D^+), and the values higher than 400 as the lowest level (D). This building assessment covers all building influential factors that can be used both for old and new buildings. Furthermore, this building assessment also provides design guidelines for architects, engineers and other stakeholders to improve those physical and policy impact factors for buildings in this region.

Department : Architecture..... Student's Signature

Field of Study : Architecture..... Advisor's Signature

Academic Year : 2009..... Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี อันเนื่องด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ จากหลายบุคคลโดยเฉพาะ ขอขอบพระคุณในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุญนากาญจน์ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ และคำปรึกษา มา โดยตลอด รองศาสตราจารย์ เลอสม สภาปิตานนท์ อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และ ดร.ยุวรี อินนา ที่เสียสละเวลาในการตรวจงาน และชี้แนะประเด็นสำคัญต่างๆมากมายที่ทำให้วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สามารถลุล่วงผลสำเร็จมาได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวขอเรื่องวิวัฒน์ ที่ ให้กำลังใจและความห่วงใยเสมอมา วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่สามารถสำเร็จได้ถ้าขาดบุคคลดังต่อไปนี้ที่คอยอยู่เคียงข้างเป็นเสมือนกำลังใจผลักดันให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินมาถึงวันนี้ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่าน มา ณ ที่นี้ คุณจุฑามาส ขอเรื่องวิวัฒน์ อ. อาจารย์ ชัยวัฒน์ ธีรรัตนพงษ์ ที่คอยสนับสนุน ห่วงใย และให้กำลังใจทุกเมื่อ คุณพูลศักดิ์ ต้นเจริญ สำหรับคำแนะนำด้านสถิติในการวิจัย คุณสุฤกกา พงษ์ สุวรรณ เพื่อนที่ให้กำลังใจกันและกันตลอดระยะเวลาในการศึกษา คุณทิพาภรณ์ เจียรนวนนท์ ที่ให้โอกาสในการทำงานประสบการณ์ในการดูงานหลายประเทศพร้อม คำแนะนำต่อผู้วิจัย คุณ เศรษฐวิวัฒน์ ศรีวิโรจน์ คุณสิริธร อมรจารุชิต และเพื่อนร่วมงานที่ DT Group ที่คอยสนับสนุน ข้อมูล เจ้าหน้าที่ทุกคนใน Center Excellence ที่คอยช่วยเหลืออำนวยความสะดวกต่อผู้วิจัยมา โดยตลอด รวมถึงผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนามที่ท่านเหล่านั้นคอย อนุเคราะห์โอกาสมากมาย และ คำแนะนำตลอดเวลา 5 ปีในการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งต่อทุกความช่วยเหลือ ทุกกำลังใจ ทุกคำพูดที่ทำให้มี แรงกาย แรงใจ ในการต่อสู้กับตัวเอง และความยากลำบากนานัปการ จนสามารถสำเร็จบรรลุได้ ตามประสงค์ ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านจากหัวใจดวงนี้ ขอขอบพระคุณค่ะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฅ
สารบัญแผนภูมิ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	9
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	9
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	9
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	10
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบอาคารยั่งยืน.....	12
2.1.1 ความหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืน.....	12
2.1.2 การพัฒนาแนวคิดยั่งยืนของสถาปัตยกรรม.....	13
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับสภาวะน่าสบายของมนุษย์.....	13
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของภูมิภาคร้อนชื้น.....	17
2.3.1 การปรุงแต่งสภาพแวดล้อม.....	18
2.3.1.1 การใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่.....	18
2.3.1.2 การใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดิน.....	18
2.3.1.3 การใช้ประโยชน์จากวัสดุปูผิว.....	18
2.3.1.4 การใช้ประโยชน์จากลม.....	18
2.3.2 รูปทรงอาคารและการประยุกต์ใช้ปัจจัยธรรมชาติ.....	19
2.3.2.1 รูปทรงอาคารและอิทธิพลของลม.....	19

2.3.2.2	รูปทรงอาคารกับการกันแดด.....	19
2.3.2.3	การใช้รูปทรงอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำ.....	19
2.3.3	การเลือกใช้วัสดุประกอบอาคาร.....	19
2.3.3.1	การต้านทานความร้อน.....	20
2.3.3.2	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน.....	20
2.3.3.3	การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร.....	21
2.3.4	การเลือกใช้แสงประดิษฐ์.....	23
2.3.5	การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า.....	23
2.3.6	การรั่วซึมของอากาศ.....	24
2.4	ทฤษฎีแนวทางการประเมินความยั่งยืนในอาคาร.....	25
2.4.1	รอยเท้านิเวศ (Ecological Footprint).....	25
2.4.2	พลังงานสะสม (Embodied Energy).....	28
2.4.3	ความคงทนถาวร (Durability).....	29
2.4.4	การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA).....	30
2.5	แบบประเมินอาคารที่ใช้ในภูมิภาคต่างๆที่ใช้ในการวิจัย.....	34
2.5.1	แบบประเมินอาคารของประเทศอังกฤษ BREEAM (Building Research Establishment Energy and Environmental Assessment Method).....	37
2.5.2	แบบประเมินอาคารของประเทศญี่ปุ่น CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency).....	37
2.5.3	แบบประเมินอาคารของประเทศสิงคโปร์ GREENMARK.....	38
2.5.4	แบบประเมินอาคารของประเทศออสเตรเลีย Green Star.....	39
2.5.5	แบบประเมินอาคารของสหรัฐอเมริกา LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).....	40
2.5.6	แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมประเทศไทย TEEAM (Thailand Energy and Environment Assessment Method).....	41
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	49

3.1	การจำแนกตัวแปรที่มีผลต่อแบบประเมินอาคาร.....	49
3.2	เกณฑ์มาตรฐานด้านการใช้พลังงานในอาคาร.....	53
3.2.1	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร.....	53
3.3	การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อแบบประเมินอาคาร.....	56
3.3.1	ค่าพลังงานสะสม.....	56
3.3.2	ตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ.....	57
3.3.3	ตัวแปรด้านภาระการทำความเย็น.....	61
3.3.3.1	คุณสมบัติของเปลือกอาคาร.....	61
3.3.3.2	รูปทรงอาคารและสัดส่วนพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย.....	62
3.3.3.3	สภาพแวดล้อมที่ตั้งโครงการ.....	63
3.3.3.4	ประสิทธิภาพของระบบเครื่องกลในอาคาร.....	64
3.3.3.5	การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....	66
3.4	การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก.....	67
3.4.1	การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂).....	67
3.4.2	การใช้ที่ดินและการปลูกต้นไม้.....	67
3.5	ขั้นตอนการศึกษาในการวิจัย.....	68
3.6	การกำหนดอาคารในการศึกษา.....	69
3.7	การออกแบบแบบประเมินอาคาร.....	80
3.8	แบบประเมินความคิดเห็นจากผู้ใช้โปรแกรม.....	80
บทที่ 4	ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างดัชนีในแบบประเมิน.....	82
4.1	การวิเคราะห์พลังงานสะสมของวัสดุสำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร.....	82
4.2	การวิเคราะห์สภาพอากาศของประเทศที่ทำการศึกษา.....	86
4.2.1	การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของสหราชอาณาจักร (London).....	87
4.2.2	การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของประเทศญี่ปุ่น (Tokyo).....	89
4.2.3	การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar)....	91
4.2.4	การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของประเทศออสเตรเลีย (Sydney)....	93
4.2.5	การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของสหรัฐอเมริกา (New York Laguardia).....	95
4.2.6	การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย (Bangkok).....	97

4.3 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของผนังสำหรับการสร้างแบบ ประเมินอาคาร.....	100
4.4 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาสำหรับการสร้างแบบ ประเมินอาคาร.....	126
4.5 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของกระจกสำหรับการสร้างแบบ ประเมินอาคาร.....	149
4.6 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็น ของการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิด สำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร.....	157
4.7 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของหลอดไฟฟ้าสำหรับการสร้าง แบบประเมินอาคาร.....	161
4.8 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการสร้าง แบบประเมินอาคาร.....	167
4.9 การให้ค่าคะแนนดัชนีของแบบประเมินอาคาร.....	170
4.10 โปรแกรมการประเมินอาคาร.....	176
4.10.1 ขั้นตอนในการสร้างเกณฑ์การประเมินของโปรแกรม.....	178
4.10.2 ขั้นตอนการคำนวณผลลัพธ์ของตัวแปรต่างๆ.....	180
4.10.3 ขั้นตอนการประเมินผลประสิทธิภาพอาคาร.....	184
4.11 การทดสอบโปรแกรมการประเมินอาคาร.....	187
บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ.....	194
5.1 ขั้นตอนการทำงานของแบบประเมิน.....	194
5.2 สรุปการทดสอบและการปรับปรุงโปรแกรม.....	195
5.3 การสร้างค่าตัวเลือกอัตโนมัติ (Default).....	197
5.3.1 ขั้นตอนการกำหนดคะแนนในแต่ละหัวข้อ.....	198
5.3.2 การออกแบบแผนภูมิในการประเมินระดับเกณฑ์การออกแบบเชิง อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.....	203
5.4 การกรอกข้อมูล.....	204
5.5 การประเมินอาคารตัวอย่าง.....	225
5.6 บทสรุป.....	239
5.7 ข้อเสนอแนะ.....	244

รายการอ้างอิง.....	247
ภาคผนวก.....	255
ภาคผนวก ก ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสะสมของวัสดุ.....	256
ภาคผนวก ข ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนวัสดุกรอบอาคาร (ผนัง หลังคา พื้น กระจก).....	260
ภาคผนวก ค แบบสอบถาม.....	281
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	290

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1-1	แสดงการเปรียบเทียบพลังงานขั้นสุดท้ายและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ข้อมูลปี พ.ศ.2551.....	4
ตารางที่ 2-1	แสดงการประเมินรอยเท้านิเวศระดับโลกข้อมูลปี ค.ศ. 2005.....	26
ตารางที่ 2-2	แสดงการจัดแบ่งลำดับรูปแบบการออกแบบอายุของโครงสร้าง ของ EN 1990: 2002.....	30
ตารางที่ 2-3	แสดงอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA อยู่ใน ISO 14040.....	32
ตารางที่ 2-4	แสดงที่ตั้งและจำแนกภูมิอากาศของแต่ละประเทศในการศึกษาแบบประเมินอาคาร.....	36
ตารางที่ 2-5	แสดงแนวคิดด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตในแบบประเมินอาคารต่างๆที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน.....	48
ตารางที่ 3-1	แสดงตัวแปรที่การวิจัยนี้ศึกษาในแต่ละขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร.....	51
ตารางที่ 3-2	แสดงตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย.....	53
ตารางที่ 3-3	แสดงข้อกำหนดการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายกระทรวงปีพ.ศ. 2535.....	55
ตารางที่ 3-4	แสดงค่าพลังงานสะสม และ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุอาคาร.....	56
ตารางที่ 3-5	แสดงตัวอย่างค่าสัดส่วนพื้นที่ผิวอาคารกับพื้นที่ใช้สอยอาคาร ในพื้นที่ 1 ลูกบาศก์หน่วย.....	63
ตารางที่ 3-6	แสดงสัดส่วนภูมิสถาปัตยกรรมกับ Hardscape (%) ในพื้นที่โครงการที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม.....	64
ตารางที่ 3-7	แสดงค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศกับฉลากแสดงประสิทธิภาพ.....	66
ตารางที่ 3-8	แสดงค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ.....	66
ตารางที่ 3-9	แสดงค่าในการคำนวณการดูดกลับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ของภูมิสถาปัตยกรรม.....	67
ตารางที่ 3-10	แสดงรายละเอียดต่างๆด้านพื้นที่อาคารของบ้าน 16 หลังสำหรับการ	

	คำนวณค่าภาระการทำความเย็น.....	69
ตารางที่ 3-11	แสดงอัตราส่วนของแต่ละตัวแปรในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย ตัวอย่าง 16 หลัง.....	78
ตารางที่ 4-1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับค่าพลังงานสะสมของวัสดุ (จากการคำนวณ).....	83
ตารางที่ 4-2	แสดงจำนวนชั่วโมงของแต่ละประเทศที่สามารถนำเทคนิคการปรับสภาพภูมิอากาศนอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายมาใช้ในประเทศต่างๆ.....	99
ตารางที่ 4-3	แสดงรายละเอียดค่าความต้านทานความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารต่างๆที่ศึกษา.....	100
ตารางที่ 4-4	แสดงการแบ่งกลุ่มของประเภทผนังอาคารต่างๆ สำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น.....	101
ตารางที่ 4-5	แสดงการแบ่งประเภทของหลังคา.....	127
ตารางที่ 4-6	แสดงตัวอย่างหลังคาที่ใช้ในการศึกษาและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของวัสดุหลังคา 8 ชนิด.....	128
ตารางที่ 4-7	แสดงชนิดและคุณสมบัติของกระจก.....	150
ตารางที่ 4-8	แสดงภาระการทำความเย็นที่ต้องใช้ในการปรับอุณหภูมิและความชื้นให้กับอากาศที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิด.....	157
ตารางที่ 4-9	แสดงค่า Lighting Power Densities (L_{wfs}).....	161
ตารางที่ 4-10	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การออก แบบโดยคำนึงถึงการตกแต่งภายในจากดวงโคมและการระบายอากาศ.....	162
ตารางที่ 4-11	แสดงการแบ่งค่าในการคำนวณสำหรับโครงสร้างพื้นที่ต่างกันและปริมาณการไหลเวียนอากาศ.....	162
ตารางที่ 4-12	แสดงค่าจากการคำนวณภาระการทำความเย็นจากค่า L_{wfs} ตั้งแต่ 1.0-3.0.....	165
ตารางที่ 4-13	แสดงค่า Equipment Heat Gain.....	167
ตารางที่ 4-14	แสดงค่า Cooling Load Factor (CLF_{eq}) ของอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	167
ตารางที่ 4-15	แสดงผลของค่าภาระการทำความเย็น ของอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	18
ตารางที่ 4-16	แสดงผลของค่าภาระการทำความเย็นจากสูตรของอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	168
ตารางที่ 4-17	แสดงรายละเอียดและความหมายเกณฑ์ในการประเมินอาคาร.....	171

ตารางที่ 4-18	แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรที่ได้จากการวิจัย.....	171
ตารางที่ 4-19	แสดงเป้าหมายของการทำงานเพื่อสร้างโปรแกรมการประเมินอาคาร.....	177
ตารางที่ 4-20	แสดงตัวแปรที่ วิเคราะห์ในการประเมินอาคารโดยจะแสดงผลให้ผู้ใช้งานทราบว่า ตัวแปรที่ต้องปรับปรุงและตัวแปรที่อยู่ในเกณฑ์ดี.....	186
ตารางที่ 4-21	ผลสรุปการใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรมจากผู้ทดสอบ.....	191
ตารางที่ 4-22	ผลสรุปข้อดี ข้อด้อย ของการใช้โปรแกรมจากผู้ทดสอบ.....	191
ตารางที่ 4-23	สรุปแนวทางการปรับปรุงโปรแกรมจากความเห็นผู้ทดสอบ.....	192
ตารางที่ 5-1	แสดงเกณฑ์คะแนนของหัวข้อในการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อมจากสถิติของประเทศ พ.ศ. 2550.....	199
ตารางที่ 5-2	แสดงเกณฑ์คะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.....	242

สารบัญภาพ

	หน้า	
ภาพที่ 2-1	รอยเท้านิเวศ (Ecological Footprint) สามารถวัดภาระที่ได้รับจากประชากรในระบบธรรมชาติ เป็นการตรวจสอบพื้นที่ในการพัฒนาอย่างยั่งยืนโดยวัดค่าการบริโภคทรัพยากรและการผลิตของเสียและมลพิษ.....	26
ภาพที่ 2-2	แสดงกรอบการดำเนินงาน LCA ตามขั้นตอนในมาตรฐานISO 14040.....	32
ภาพที่ 2-3	แสดงวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยแสดงความสัมพันธ์ การใช้ พลังงาน วัสดุุดิบและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดอายุอาคาร.....	33
ภาพที่ 2-4	แสดงการจำแนกแบบประเมินอาคารต่างๆตามสภาพภูมิอากาศ.....	35
ภาพที่ 2-5	แสดงที่ตั้งของประเทศของแบบประเมินต่างๆตามสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน.....	36
ภาพที่ 2-6	แสดงตัวอย่างฉลากอาคารตามโครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน.....	41
ภาพที่ 3-1	แนวคิดในการออกแบบเชิงสิ่งแวดล้อมที่เน้นการพิจารณาด้านระบบนิเวศเป็นหลัก.....	49
ภาพที่ 3-2	แสดงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	50
ภาพที่ 3-3	การพิจารณาขั้นตอนของLife cycle assessmentในการประเมินอาคาร.....	50
ภาพที่ 3-4	แสดงระดับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าเบอร์ 5.....	65
ภาพที่ 4-1	แสดงเกณฑ์ระดับการให้คะแนนในการประเมินอาคารจากโปรแกรม.....	184
ภาพที่ 4-2	อธิบายตำแหน่งเกณฑ์มาตรฐานของตัวแปร และพื้นที่คะแนนของตัวแปร.....	186
ภาพที่ 4-3	อธิบายการอ่านค่าตำแหน่งของตัวแปรที่กำหนดไปในแผนภูมิว่าอยู่ในเกณฑ์ใดเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน.....	187
ภาพที่ 5-1	แสดงขั้นตอนการทำงานโปรแกรมเพื่อประเมินผลอาคาร.....	194
ภาพที่ 5-2	แสดงปกตัวอย่างของการประเมินอาคาร.....	206
ภาพที่ 5-3	แสดงแบบฟอร์มข้อเสนอแนะของการกรอกข้อมูลของโปรแกรม.....	207
ภาพที่ 5-4	แสดงแบบฟอร์มข้อมูลเบื้องต้นของการกรอกข้อมูลของโปรแกรม.....	208
ภาพที่ 5-5	แสดงตารางสรุปการคำนวณสัดส่วนอาคาร.....	209
ภาพที่ 5-6	แสดงการคำนวณพื้นที่ใช้สอยอาคารและปริมาตรอาคาร.....	209
ภาพที่ 5-7	แสดงพื้นที่หลังคา.....	210
ภาพที่ 5-8	แสดงการคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศเหนือ.....	210

ภาพที่ 5-9	แสดงการคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศใต้.....	210
ภาพที่ 5-10	แสดงการคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศตะวันออก.....	211
ภาพที่ 5-11	แสดงการคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศตะวันตก.....	211
ภาพที่ 5-12	แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ.....	212
ภาพที่ 5-13	แสดงการเลือกวัสดุผนังอาคาร.....	213
ภาพที่ 5-14	แสดงการเลือกวัสดุพื้น.....	213
ภาพที่ 5-15	แสดงการเลือกวัสดุหลังคา.....	214
ภาพที่ 5-16	แสดงการเลือกวัสดุกระจก.....	214
ภาพที่ 5-17	ตารางแสดงความสัมพันธ์และค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและ อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ.....	215
ภาพที่ 5-18	ตารางแสดงความสัมพันธ์และค่าพลังงานของหลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ....	216
ภาพที่ 5-19	ตารางการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากการรั่วซึมอากาศ.....	216
ภาพที่ 5-20	ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ.....	217
ภาพที่ 5-21	แสดงสัดส่วนภูมิสถาปัตยกรรมกับพื้นที่ที่แดดแข็ง.....	217
ภาพที่ 5-22	ตารางแสดงรายละเอียดวัสดุก่อสร้าง.....	218
ภาพที่ 5-23	ตารางแสดงเกณฑ์การประเมินอาคารเชิงสิ่งแวดล้อม.....	218
ภาพที่ 5-24	รูปแสดงระดับคะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.....	219
ภาพที่ 5-25	ภาพแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคาร เชิง อนุรักษ์ สิ่งแวดล้อม และแนวทางการปรับปรุงตัวแปรเพื่อการออกแบบ.....	220
ภาพที่ 5-26	ภาพแสดงจำนวนต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าในการดูดซับก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂).....	223
ภาพที่ 5-27	ภาพแสดงหน้า ปกจากโปรแกรมการคำนวณของบ้านประหยัดเพื่อ ประชาชน แบบที่ 3.....	225
ภาพที่ 5-28	ภาพแสดงข้อมูลเบื้องต้นของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3.....	226
ภาพที่ 5-29	ภาพแสดงตารางสรุปการคำนวณสัดส่วนอาคารของบ้านประหยัดเพื่อ ประชาชน แบบที่ 3.....	226
ภาพที่ 5-30	แสดงการเลือกวัสดุผนังของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 3.....	227
ภาพที่ 5-31	แสดงการเลือกวัสดุพื้นของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 3.....	227
ภาพที่ 5-32	แสดงการเลือกวัสดุหลังคาของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่3.....	228

ภาพที่ 5-33	แสดงการเลือกวัสดุกระจกของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่3.....	228
ภาพที่ 5-34	ภาพแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และแนวทางการปรับปรุงตัวแปรเพื่อการออกแบบของบ้านประหยัดเพื่อ ประชาชน แบบที่ 3.....	229
ภาพที่ 5-35	ภาพแสดงจำนวนต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าในการดูดซับก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่3.....	230
ภาพที่ 5-36	ภาพแสดงหน้าปกจากโปรแกรมการคำนวณ Bio Solar Home.....	232
ภาพที่ 5-37	ภาพแสดงข้อมูลเบื้องต้น Bio Solar Home.....	233
ภาพที่ 5-38	ภาพแสดงตารางสรุปการคำนวณสัดส่วนอาคารของ Bio Solar Home....	233
ภาพที่ 5-39	แสดงการเลือกวัสดุผนังของ Bio Solar Home.....	234
ภาพที่ 5-40	แสดงการเลือกวัสดุพื้นของ Bio Solar Home.....	234
ภาพที่ 5-41	แสดงการเลือกวัสดุหลังคาของ Bio Solar Home.....	235
ภาพที่ 5-42	แสดงการเลือกวัสดุกระจกของ Bio Solar Home.....	235
ภาพที่ 5-43	ภาพแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และแนวทางการปรับปรุงตัวแปรเพื่อการออกแบบของBio Solar Home....	236
ภาพที่ 5-44	ภาพแสดงจำนวนต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าในการดูดซับก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ของ Bio Solar Home.....	237
ภาพที่ 5-45	แสดงระดับเกณฑ์ของคะแนนในโปรแกรมการประเมินอาคารอนุรักษ์เชิง สิ่งแวดล้อม.....	242

สารบัญแผนภูมิ

		หน้า
แผนภูมิที่ 1-1	มูลค่าความเสียหายรวมที่เกิดจากภัยธรรมชาติต่างๆระหว่างพ.ศ.2534-2548 (ค.ศ.1991-2005) โดยคิดมูลค่าเป็นล้านดอลลาร์สหรัฐ.....	2
แผนภูมิที่ 1-2	การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจของประเทศไทย ข้อมูลปี พ.ศ.2551.....	4
แผนภูมิที่ 1-3	การคาดการณ์ความต้องการในการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2538 – 2563.....	5
แผนภูมิที่ 1-4	สัดส่วนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ และพลังงานหมุนเวียนในการใช้พลังงานรวมของประเทศไทย ข้อมูลปี พ.ศ.2551.....	6
แผนภูมิที่ 1-5	การใช้พลังงานในสาขาบ้านอยู่อาศัยจำแนกตามชนิดพลังงานของประเทศไทย ข้อมูลปี พ.ศ.2551.....	6
แผนภูมิที่ 2-1	แสดงเขตสบายและเทคนิคการปรับแต่งสภาพภูมิอากาศนอกเขตสบายในแต่ละโซน.....	16
แผนภูมิที่ 2-2	แสดงรายละเอียดของรอยเท้านิเวศต่อคนรายประเทศ ข้อมูล ค.ศ. 2005.....	27
แผนภูมิที่ 2-3	แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศอังกฤษ โดยมีการให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 35.53.....	43
แผนภูมิที่ 2-4	แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศญี่ปุ่นโดยมีการให้น้ำหนักด้านสิ่งแวดล้อมประมาณร้อยละ 46.4.....	44
แผนภูมิที่ 2-5	แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศสิงคโปร์ โดยมีการให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 85.....	44
แผนภูมิที่ 2-6	แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของ การประเมินอาคารของประเทศออสเตรเลียโดยมีการให้น้ำหนักด้านสิ่งแวดล้อมประมาณร้อยละ 87.....	45
แผนภูมิที่ 2-7	แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศสหรัฐอเมริกาโดยมีการให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 54.....	45
แผนภูมิที่ 2-8	แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศไทย	

	(TEEAM) โดยมีการให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 83.....	46
แผนภูมิที่ 2-9	แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศไทย (อาคารเขียว) โดยมีการให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 28.....	46
แผนภูมิที่ 2-10	แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์การให้น้ำหนักในรายละเอียดหัวข้อต่างๆ ในแบบประเมินแต่ละประเทศโดยมี 8 หัวข้อ ได้แก่ มลภาวะ (Pollution) การจัดการ (Management) พลังงาน (Energy) วัสดุ (Materials) คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality) น้ำ (Water) การขนส่ง (Transportation) ที่ตั้ง (Site).....	47
แผนภูมิที่ 3-1	แสดงอุณหภูมิอากาศของประเทศไทยข้อมูลปี พ.ศ. 2550.....	58
แผนภูมิที่ 3-2	แสดงสภาพภูมิอากาศประเทศไทยข้อมูลปี พ .ศ. 2550 ที่มีจำนวน ชั่วโมงในแต่ละเดือนเข้าสู่เขตสบายในแผนภูมิไบโอโคเมติก.....	59
แผนภูมิที่ 3-3	แสดงค่าเอนทัลปีในแต่ละเดือนของประเทศไทยข้อมูลปี พ.ศ. 2550.....	60
แผนภูมิที่ 3-4	แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุต่างๆที่มีความหนา 1 นิ้ว.....	62
แผนภูมิที่ 3-5	แสดงขั้นตอนการทำงานในการวิจัย.....	68
แผนภูมิที่ 3-6	แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน อยู่สบายประหยัดพลังงานแบบ A.....	70
แผนภูมิที่ 3-7	แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน อยู่สบายประหยัดพลังงานแบบ B.....	70
แผนภูมิที่ 3-8	แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน อยู่สบายประหยัดพลังงานแบบ C.....	71
แผนภูมิที่ 3-9	แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน กรมโยธา แบบประหยัด 1.....	71
แผนภูมิที่ 3-10	แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน กรมโยธา แบบประหยัด 2.....	72
แผนภูมิที่ 3-11	แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน กรมโยธา แบบประหยัด 3.....	72

แผนภูมิที่ 3-12 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ครอบครัวไทยเป็นสุข 1.....	73
แผนภูมิที่ 3-13 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ครอบครัวไทยเป็นสุข 2.....	73
แผนภูมิที่ 3-14 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ครอบครัวไทยเป็นสุข 3.....	74
แผนภูมิที่ 3-15 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ไทยอนุรักษ์ไทยภาคกลาง.....	74
แผนภูมิที่ 3-16 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ไทยอนุรักษ์ไทยภาคใต้.....	75
แผนภูมิที่ 3-17 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ไทยอนุรักษ์ไทยภาคอีสาน.....	75
แผนภูมิที่ 3-18 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ไทยอนุรักษ์ไทยภาคเหนือ.....	76
แผนภูมิที่ 3-19 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 1.....	76
แผนภูมิที่ 3-20 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 2.....	77
แผนภูมิที่ 3-21 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้าน ประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 3.....	77
แผนภูมิที่ 3-22 แสดงค่าน้ำหนักของกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็น ของอาคาร.....	79
แผนภูมิที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นกับค่าพลังงานสะสม ของวัสดุผนังอาคารแต่ละชนิด โดยให้การคำนวณที่ 1 ตารางเมตร อายุ อาคารเท่ากับ 50 ปี จะพบว่าค่าภาระการทำความเย็นและค่าพลังงาน สะสมของวัสดุต่างๆไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกัน	84
แผนภูมิที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นกับค่า พลังงานสะสม ของวัสดุหลังคาอาคารแต่ละชนิด โดยให้การคำนวณที่ 1 ตารางเมตร อายุอาคารเท่ากับ 50 ปี จะพบว่าค่าภาระการทำความเย็นและค่า	

	พลังงานสะสมของวัสดุต่างๆ ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกัน	85
แผนภูมิที่ 4-3	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของ ภูมิอากาศปกติของสหราชอาณาจักร (London).....	87
แผนภูมิที่ 4-4	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับ สภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของ สภาพภูมิอากาศปกติของสหราชอาณาจักร (London).....	88
แผนภูมิที่ 4-5	เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพ ภูมิอากาศปกติของประเทศญี่ปุ่น (Tokyo).....	89
แผนภูมิที่ 4-6	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับ สภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของ สภาพภูมิอากาศปกติของประเทศญี่ปุ่น (Tokyo).....	90
แผนภูมิที่ 4-7	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพ ภูมิอากาศปกติของประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar).....	91
แผนภูมิที่ 4-8	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับ สภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้ เข้าสู่เขตสบายของ สภาพภูมิอากาศปกติของประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar).....	92
แผนภูมิที่ 4-9	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพ ภูมิอากาศปกติของประเทศออสเตรเลีย (Sydney).....	93
แผนภูมิที่ 4-10	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิ การปรับสภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของ สภาพภูมิอากาศปกติของประเทศออสเตรเลีย (Sydney)).....	94
แผนภูมิที่ 4-11	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพ ภูมิอากาศปกติของสหรัฐอเมริกา (New York Laguardia).....	95
แผนภูมิที่ 4-12	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับ สภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของ สภาพภูมิอากาศปกติของสหรัฐอเมริกา (New York Laguardia).....	96
แผนภูมิที่ 4-13	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขต สบายของสภาพ ภูมิอากาศปกติของประเทศไทย (Bangkok).....	97
แผนภูมิที่ 4-14	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับ	

	สภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศไทย (Bangkok).....	98
แผนภูมิที่ 4-15	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 ม. ค่า U-Value = 0.207 Btu/hr.ft ² °F (Group A)ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า(K) = 1, 0.83, 0.65,0.....	103
แผนภูมิที่ 4-16	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 ม. ค่า U-Value = 0.33 Btu/hr.ft ² °F (Group B)ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65,0.....	104
แผนภูมิที่ 4-17	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง ค่า U-Value = 0.313 Btu/hr.ft ² °F (Group C) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0.....	105
แผนภูมิที่ 4-18	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.595 Btu/hr.ft ² °F (Group D)ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0.....	106
แผนภูมิที่ 4-19	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังอิฐบล็อกจากหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.543 Btu/hr.ft ² °F (Group E)ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0.....	107
แผนภูมิที่ 4-20	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.324 Btu/hr.ft ² °F (Group F) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0.....	108
แผนภูมิที่ 4-21	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.20 ม. ค่า U-Value = 0.162 Btu/hr.ft ² °F (Group E)ค่าความเข้มของสี	

	วัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0.....	109
แผนภูมิที่ 4-22	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EPS หนา 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.039 Btu/hr.ft ² ° F (Group G)ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65,0.....	110
แผนภูมิที่ 4-23	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของSandwich Panel 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.042 Btu/hr.ft ² ° F (Group G) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0.....	111
แผนภูมิที่ 4-24	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า CLTD ของผนังต่างๆที่ศึกษาเมื่อค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า = 1.....	112
แผนภูมิที่ 4-25	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า CLTD ของผนังต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า = 0.83.....	113
แผนภูมิที่ 4-26	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า CLTD ของผนังต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า = 0.65.....	114
แผนภูมิที่ 4-27	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 ม. ค่า U-Value = 0.207 Btu/hr.ft ² ° F (Group A)ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.5.....	115
แผนภูมิที่ 4-28	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 ม. ค่า U-Value = 0.33 Btu/hr.ft ² ° F (Group B)ความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.48.....	116
แผนภูมิที่ 4-29	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง ค่า U-Value = 0.313 Btu/hr.ft ² ° F (Group C)ความเข้มของ	

	สียวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.40.....	117
แผนภูมิที่ 4-30	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.595 Btu/hr.ft ² F (Group D) ความเข้มของสียวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.35.....	118
แผนภูมิที่ 4-31	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังอิฐบุฉาบหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.543 Btu/hr.ft ² F (Group E) ความเข้มของสียวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.28.....	119
แผนภูมิที่ 4-32	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.324 Btu/hr.ft ² F (Group F) ความเข้มของสียวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.23.....	120
แผนภูมิที่ 4-33	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.20 ม. ค่า U-Value = 0.162 Btu/hr.ft ² F (Group E) ความเข้มของสียวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.30.....	121
แผนภูมิที่ 4-34	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า ของผนังระบบฉนวนกันความร้อน ภายนอก EPS หนา 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.039 Btu/hr.ft ² F (Group G) ความเข้มของสียวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.30.....	122
แผนภูมิที่ 4-35	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า ของ Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.042 Btu/hr.ft ² F (Group G) ความเข้มของสียวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65,0 และ 0.30.....	123
แผนภูมิที่ 4-36	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า CLTD ของผนังต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของสียวัสดุมีค่าใกล้เคียงกับ ΔT	124
แผนภูมิที่ 4-37	แผนภูมิแสดงค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ได้จากค่า U*A ของผนัง	

อาคารแต่ละชนิดที่มีการปรับค่า CLTD ให้ใกล้เคียง ΔT โดยค่า A มีค่าตั้งแต่ 0-8 เพื่อหาช่วงค่าข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนในการทำแบบประเมินอาคาร..... 125

แผนภูมิที่ 4-38 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า U-Value = 0.353 Btu/hr.ft²°F (No.1) ค่าความชื้นของวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 129

แผนภูมิที่ 4-39 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า U-Value = 0.3264 Btu/hr.ft²°F (No.5) ค่าความชื้นของวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 130

แผนภูมิที่ 4-40 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร ค่า U-Value = 0.258 Btu/hr.ft²°F (No.9) ค่าความชื้นของวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 131

แผนภูมิที่ 4-41 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.15 เมตร มีฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า U-Value = 0.049 Btu/hr.ft²°F (No.11) ค่าความชื้นของวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 132

แผนภูมิที่ 4-42 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีตฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า U-Value = 0.058 Btu/hr.ft²°F (No.5) ค่าความชื้นของวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 133

แผนภูมิที่ 4-43 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีตฉนวนใยแก้ว 9 นิ้ว ค่า U-Value = 0.0277 Btu/hr.ft²°F (No.5) ค่าความชื้นของวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 134

แผนภูมิที่ 4-44 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาแอสฟัลท์ ฉนวนใยแก้ว

	6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.034 Btu/hr.ft ² °F (No.1) ค่าความเข้มของสึ วัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0	135
แผนภูมิที่ 4-45	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของ Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.042 Btu/hr.ft ² °F (No.1) ค่าความเข้มของสึวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0.....	136
แผนภูมิที่ 4-46	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษา ยน โดยพิจารณาค่า CLTD ของหลังคาต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของ สึวัสดุมีค่า = 1.....	137
แผนภูมิที่ 4-47	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า CLTD ของหลังคาต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของ สึวัสดุมีค่า = 0.5.....	138
แผนภูมิที่ 4-48	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า U-Value = 0.353 Btu/hr.ft ² °F (No.1) ค่าความเข้มของสึ วัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 และ 0.1.....	139
แผนภูมิที่ 4-49	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้า เพดาน 12 มม. ค่า U-Value = 0.3264 Btu/hr.ft ² °F (No.5) ค่าความ เข้มของสึวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 และ 0.15.....	140
แผนภูมิที่ 4-50	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร ค่า U-Value = 0.258 Btu/hr.ft ² °F (No.9) ค่าความเข้ม ของสึวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 และ 0.20.....	141
แผนภูมิที่ 4-51	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร มีฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า U-Value = 0.049 Btu/hr.ft ² °F (No.11) ค่าความเข้มของสึวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 และ 0.35.....	142
แผนภูมิที่ 4-52	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน	

	โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า U-Value = 0.058 Btu/hr.ft ² °F (No.5) ค่าความ ซึมของสีย้อมค่า (K)= 1, 0.50, 0 และ 0.20.....	143
แผนภูมิที่ 4-53	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต ฉนวนใยแก้ว 9 นิ้ว ค่า U-Value = 0.0277 Btu/hr.ft ² °F (No.5) ค่า ความซึมของสีย้อมค่า (K)= 1, 0.50, 0 และ 0.20.....	144
แผนภูมิที่ 4-54	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาแอสฟัลท์ ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.034 Btu/hr.ft ² °F (No.1) ค่าความซึมของสีย้อม ค่า (K) = 1, 0.50, 0 และ 0.15.....	145
แผนภูมิที่ 4-55	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของ Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า U- Value = 0.042 Btu/hr.ft ² °F (No.1) ค่าความซึมของสีย้อมค่า (K)= 1, 0.50, 0 และ 0.15.....	146
แผนภูมิที่ 4-56	เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณาค่า CLTD ของหลังคาต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความซึมของ สีย้อมค่าใกล้เคียงกับ ΔT	147
แผนภูมิที่ 4-57	แสดงค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ได้จากค่า U*A ของหลังคา อาคารแต่ละชนิดที่มีการปรับค่า CLTD ให้ใกล้เคียง ΔT โดยค่า A มีค่า ตั้งแต่ 0-2 เพื่อหาช่วงข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ วัสดุหลังคาเพื่อนำไปเป็นสร้างแบบประเมินอาคาร.....	148
แผนภูมิที่ 4-58	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกชนิดต่างๆ.....	151
แผนภูมิที่ 4-59	แสดงค่าภาระการทำความเย็นของกระจกจากการนำความร้อน.....	152
แผนภูมิที่ 4-60	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด.....	154
แผนภูมิที่ 4-61	แสดงค่าผลคูณของค่า SC กับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอย.....	155
แผนภูมิที่ 4-62	แสดงค่าภาระการทำความเย็นจากการแผ่รังสีของกระจกในแต่ละทิศ.....	156
แผนภูมิที่ 4-63	แสดงการสูญเสียภาระการทำความเย็น 1 วันที่เกิดจากการรั่วซึมของ อากาศจากช่องเปิดบานเกล็ดขนาด 1 ตารางฟุตขณะปิดอยู่.....	158

แผนภูมิที่ 4-64	แสดงการสูญเสียภาระการทำความเย็น 1 วันที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางฟุตขณะปิดอยู่.....	158
แผนภูมิที่ 4-65	แสดงการสูญเสียภาระการทำความเย็น 1 วันที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางฟุตขณะปิดอยู่.....	159
แผนภูมิที่ 4-66	แสดงการสูญเสียภาระการทำความเย็น 1 วันที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดบานติดตายขนาด 1 ตารางฟุตขณะปิดอยู่.....	159
แผนภูมิที่ 4-67	แสดงค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดแต่ละชนิดกับอัตราส่วนพื้นที่ที่บานเปิดต่อพื้นที่ใช้สอย.....	160
แผนภูมิที่ 4-68	ค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบจากความแตกต่างของโครงสร้างพื้นแบบ A - D เมื่อ $(a=0.55)$ 8 ชั่วโมง.....	163
แผนภูมิที่ 4-69	ค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบจากความแตกต่างของค่า Coefficient เมื่อพื้นโครงสร้างแบบ C (8 ชั่วโมง).....	164
แผนภูมิที่ 4-70	แสดงค่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่การใช้งานภายในอาคารที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบจากพื้นโครงสร้างที่มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดกับ และพื้นที่ใช้กันโดยทั่วไป ที่ชั่วโมงการใช้งาน 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง.....	166
แผนภูมิที่ 4-71	แสดงค่าภาระการทำความเย็นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่การใช้งาน.....	169
แผนภูมิที่ 4-72	แสดงเกณฑ์กำหนดค่าคะแนนดัชนีโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	170
แผนภูมิที่ 4-73	ค่า Normal Distribution ของ Δ <input type="checkbox"/>	172
แผนภูมิที่ 4-74	ค่า Normal Distribution ของ $\sum US$	172
แผนภูมิที่ 4-75	ค่า Normal Distribution ของ S/A	173
แผนภูมิที่ 4-76	ค่า Normal Distribution ของ $1/COP$	173
แผนภูมิที่ 4-77	ค่า Normal Distribution ของ Lighting.....	174
แผนภูมิที่ 4-78	ค่า Normal Distribution ของ Appliance.....	174
แผนภูมิที่ 4-79	ค่า Normal Distribution ของ Infiltration.....	175
แผนภูมิที่ 4-80	ค่า Normal Distribution ของ ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารหน่วยเป็น $kWh/m^2/Yr$	175
แผนภูมิที่ 4-81	แสดงกระบวนการทำงานของโปรแกรม.....	176
แผนภูมิที่ 4-82	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการดำเนินการของโปรแกรมที่	

	นำไปสู่ผลลัพธ์ที่กำหนดไว้.....	177
แผนภูมิที่ 4-83	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการประเมินผลประสิทธิภาพ อาคาร.....	178
แผนภูมิที่ 4-84	แสดงขั้นตอนโดยรวมของโปรแกรมในการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆใน การประเมินเพื่อหาค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยรวม และค่าการ ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	179
แผนภูมิที่ 4-85	แสดงระดับเกณฑ์คะแนนของการประเมินอาคารจากโปรแกรม.....	185
แผนภูมิที่ 4-86	แสดงผลระดับเกณฑ์คะแนนจากการใช้งานจริงในเรื่องโปรแกรมมีความ เข้าใจง่าย สรุปคำตอบคือ ค่อนข้างมากถึง 73% มาก 18%.....	189
แผนภูมิที่ 4-87	แสดงผลระดับเกณฑ์คะแนนจากการใช้งานจริงในเรื่องโปรแกรมใช้งาน ง่าย สรุปคำตอบคือ มาก 46% ค่อนข้างมาก 36 %.....	189
แผนภูมิที่ 4-88	แสดงผลระดับเกณฑ์คะแนนจากการใช้งานจริงในเรื่องโปรแกรม สามารถใช้เพื่อตรวจสอบการออกแบบอาคารได้ สรุปคำตอบคือ ค่อนข้างมาก 55% มาก 45 %.....	190
แผนภูมิที่ 4-89	แสดงผลระดับเกณฑ์คะแนนจากการใช้งานจริงในเรื่องโปรแกรมนี้ช่วย ในการตัดสินใจเป็นทางเลือกในการออกแบบได้ สรุปคำตอบคือ ค่อนข้างมาก 64% มาก 27 %.....	190
แผนภูมิที่ 5-1	แสดงเกณฑ์ต่างๆที่ใช้ในการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.....	198
แผนภูมิที่ 5-2	แสดงค่าน้ำหนักเกณฑ์ต่างๆในการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อม.....	202
แผนภูมิที่ 5-3	แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักเกณฑ์ต่างๆที่ใช้ในการประเมินอาคาร เชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.....	202
แผนภูมิที่ 5-4	แสดงแผนภูมิในการประเมินระดับเกณฑ์การออกแบบอาคารเชิง อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.....	203
แผนภูมิที่ 5-5	แผนภูมิแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อม.....	220
แผนภูมิที่ 5-6	แสดงการเปรียบเทียบระดับช่วงคะแนนสูงสุด กับค่าประสิทธิภาพของ อาคารที่ทำการประเมิน.....	221
แผนภูมิที่ 5-7	แสดงค่าพลังงานสะสมของอาคารเทียบกับการใช้พลังงานตลอดช่วง	

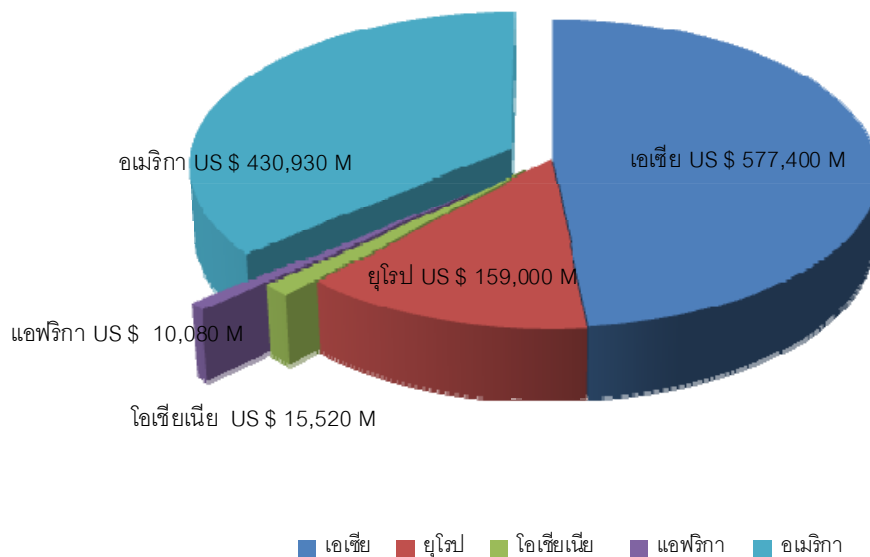
	อายุอาคารคิดอายุอาคารที่ 50 ปี.....	222
แผนภูมิที่ 5-8	เกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.....	224
แผนภูมิที่ 5-9	แผนภูมิแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคาร เชิงอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อม ของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3.....	229
แผนภูมิที่ 5-10	แสดงการเปรียบเทียบระดับช่วงคะแนนสูงสุด กับค่าประสิทธิภาพของ บ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3.....	230
แผนภูมิที่ 5-11	แสดงค่าพลังงานสะสมของอาคารเทียบกับการใช้พลังงานของบ้าน ประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 3 คิดอายุอาคารที่ 50 ปี.....	231
แผนภูมิที่ 5-12	เกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของบ้านประหยัดเพื่อ ประชาชนแบบที่ 3 พบว่าการใช้พลังงาน การอนุรักษ์น้ำ ผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน.....	231
แผนภูมิที่ 5-13	แผนภูมิแสดงระดับช่วงคะแนนของ การประเมินอาคาร เชิงอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อมของ Bio Solar Home.....	236
แผนภูมิที่ 5-14	แสดงการเปรียบเทียบระดับช่วงคะแนนสูงสุด กับค่าประสิทธิภาพของ Bio Solar Home.....	237
แผนภูมิที่ 5-15	ค่าพลังงานสะสมของอาคารเทียบกับการใช้พลังงานของ Bio Solar Home คิดอายุอาคารที่ 50 ปี.....	238
แผนภูมิที่ 5-16	เกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของ Bio Solar Home พบว่าการใช้พลังงาน การใช้พลังงานทดแทน อยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม การ อนุรักษ์น้ำ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการจัดการพลังงานอยู่ใน เกณฑ์ดีมาก การขนส่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน.....	238
แผนภูมิที่ 5-17	แสดงแนวทางในการตัดสินใจของผู้ออกแบบในการปรับปรุงอาคารที่ ออกแบบ.....	243
แผนภูมิที่ 5-18	แสดงตัวแปรต่างๆในเกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ ศึกษาแล้ว และยังไม่ได้ศึกษา เพื่องานวิจัยในอนาคต.....	245

บทที่ 1

บทนำ

การค้นพบอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากระดับที่มีปริมาณน้อยกว่า 320 ส่วนในล้านส่วนในปริมาตร (ppmv) ในปี พ.ศ. 2500 เป็นปริมาณสูงถึง 360 ppmv ในปี พ.ศ. 2540 นั้น มีอัตราที่เพิ่มอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่อยู่ในระดับ 180-300 ppmv (WWF Thailand, 2006: online) ตลอดระยะเวลาสี่แสนปีที่ผ่านมา อัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อย่างรวดเร็วนี้ทำให้ธรรมชาติไม่สามารถรักษาสมดุลได้ ทำให้อัตราดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ของโลกเพิ่มขึ้นและทำให้โลกมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์เรือนกระจก” (Greenhouse Effect) และ “การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ” (Climate Change) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการประกอบกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งการใช้ประโยชน์และการสร้างภาวะหรือขยะแก๊สสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ โดยขาดการพิจารณาถึงความเหมาะสมและความพอเพียง เน้นเพียงการตอบสนองต่อการบริโภคและสร้างความสะดวกสบายแก่มนุษย์ ทำให้สมดุลทางธรรมชาติในระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไป อาทิเช่น ความเปลี่ยนแปลงทางด้านป่าไม้ ผลผลิตทางการเกษตร พื้นที่ชายฝั่ง พื้นที่ป่าชายเลน แหล่งทรัพยากรน้ำและอื่นๆ ความเปลี่ยนแปลงนี้ได้ก่อให้เกิดปัญหาที่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนคือ การเกิดภัยธรรมชาติที่เพิ่มมากขึ้นในทั่วทุกมุมโลก จากรายงานของศูนย์วิจัยการระบาวิทยาของภัยพิบัติ หรือ “ซีอาร์อีดี” (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: CRED) แห่งมหาวิทยาลัยลูแวง (University of Louvain) ประเทศเบลเยียมรายงานว่า ทวีปเอเชียเป็นทวีปที่ได้รับความเสียหายจากภัยธรรมชาติรุนแรงที่สุด โดยจำนวนผู้เสียชีวิตจากภัยพิบัติเมื่อปี พ.ศ. 2549 นั้น เป็นชาวเอเชีย 74.2% หรือเท่ากับสามในสี่ของจำนวนทั้งหมด ส่วนทวีปยุโรปมีภัยพิบัติเป็นอันดับที่สองคือ 15.3% อันดับที่สามได้แก่ทวีปแอฟริกา 7.5% ทวีปอเมริกา 2.9% และแถบเอเชียเนียบ 0.1% โดยสถิติระหว่างปี พ.ศ.2534-2548 (ค.ศ.1991-2005) แสดงผลรวมความเสียหายที่เกิดจากภัยพิบัติต่อมวลมนุษย์ มีอัตราเฉลี่ย 231 ล้านคนต่อปี หรือคิดเป็น 3.5% ของประชากรโลกดังแสดงในแผนภูมิที่ 1-1 อัตราการเกิดภัยธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นนี้ เป็นส่วนหนึ่งของวิกฤติการณ์ภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้น ส่วนหนึ่งมาจากอัตราการการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ที่ทำให้การบริโภคทรัพยากรที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตโดยใช้พลังงานในการอยู่อาศัยที่ส่งผลโดยตรงกับปริมาณพลังงานที่ต้องการบริโภคมากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ที่สูงขึ้นเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกในปัจจุบัน



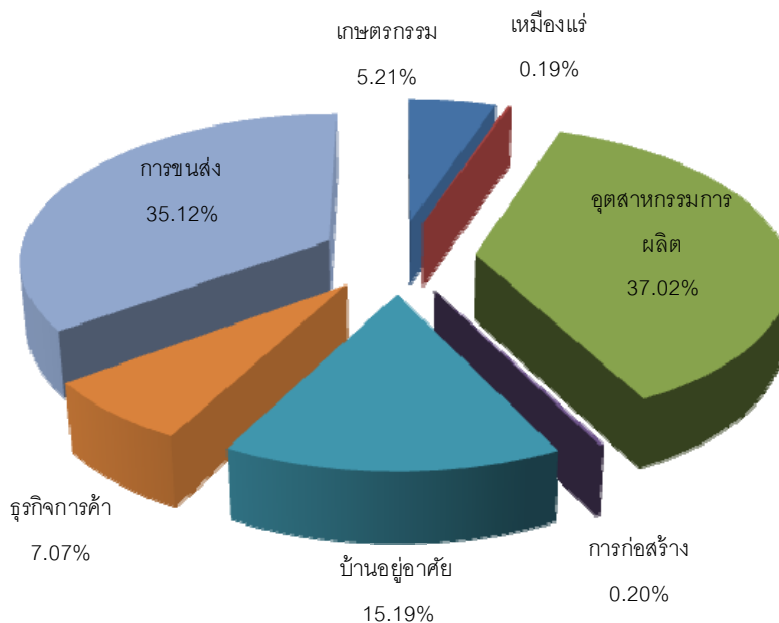
แผนภูมิที่ 1-1 มูลค่าความเสียหายรวมที่เกิดจากภัยธรรมชาติต่าง ๆ ระหว่างพ.ศ.2534-2548 (ค.ศ.1991-2005) โดยคิดมูลค่าเป็นล้านดอลลาร์สหรัฐ (EM-DAT, 2007: online)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) คือ “การพัฒนาที่เพียงพอกับความ ต้องการของชนรุ่นปัจจุบัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาอย่างพอเพียงกับความต้องการของ ชนรุ่นต่อไปในอนาคต” (Dudley, 1987) ซึ่งเป็นการพัฒนาที่ได้รับความสนใจจากประชาคมโลก ที่ ตระหนักถึงการพัฒนาค่าที่จะสร้างความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบัน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตทางเศรษฐกิจและการ ครอบครองบริโภคที่เกินขีดจำกัดของระบบนิเวศที่จะรองรับได้ การดูดซับของเสีย และการฟื้นตัวให้ กลับสู่ธรรมชาติที่สมบูรณ์ดังเดิมนั้นเป็นไปได้ยาก เพราะธรรมชาติของสิ่งแวดล้อมต้องใช้เวลา นานนับปีหรือหลายร้อยปีในการสร้างผลผลิตหรือฟื้นฟูสภาพให้กลับไปเหมือนเดิมได้ จึงเกิดปัญหา สำคัญที่เกิดขึ้นทั่วโลก คือปัญหาด้านพลังงาน การขาดแคลนแหล่งทรัพยากร ภัยธรรมชาติและ มลพิษ ด้วยปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญในระดับโลกนี้ จึงได้เกิดอนุสัญญาสหประชาชาติว่า ด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก ในชั้นบรรยากาศให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย เพื่อให้ธรรมชาติสามารถปรับตัวได้ และเป็นการ รับประกันว่าจะไม่มีผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร และไม่ส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ

อย่างยั่งยืน โดย อนุสัญญา UNFCCC เริ่มมีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2537 โดยต่อมาที่ประชุมสมัชชาประเทศภาคีครั้งที่ 3 เมื่อปี พ.ศ. 2540 (COP: Conference of the Parties) ได้รับรองพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) และกำหนดให้มีผลบังคับใช้ในวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของประชาคมโลกที่มีข้อตกลงกันอย่างชัดเจนในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ต่ำกว่าระดับก๊าซที่เป็นมลพิษในปีพ.ศ. 2533 ให้ได้โดยเฉลี่ย 5.2% ในระหว่างปี พ.ศ. 2551-2555 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวคิดในกระบวนการผลิตต่างๆ ที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก มาเป็นการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และใช้พลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อลดการเผาไหม้จากการใช้ถ่านหินหรือพลังงานไม่สะอาดซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนจึงเป็นการแก้ปัญหาในระดับประเทศ และสาเหตุหนึ่งที่สำคัญคือ อัตราการบริโภคพลังงานของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้น และการใช้พลังงานอย่างเกินความจำเป็นของมนุษย์ ดังนั้นการหาแนวทางเพื่อลดการใช้พลังงาน ส่งเสริมการพึ่งพาธรรมชาติ และการใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นส่วนสำคัญในการวางนโยบายหลักสำหรับการวางแผนพัฒนาและการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของประเทศ

อัตราการการใช้พลังงานที่สูงขึ้นทุกปี จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมดในปีพ.ศ. 2551 ประมาณ 66,284 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) และมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ตาม Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) เท่ากับ 193,739 พันตันสู่บรรยากาศ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552ก: ออนไลน์) เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจากการจำแนกสาขาเศรษฐกิจของประเทศไทยดังแสดงในแผนภูมิที่ 1-2 พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานมีปริมาณจากมากไปหาน้อยดังนี้ สาขาอุตสาหกรรมมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 37.02 รองลงมาเป็นสาขาขนส่งร้อยละ 35.12 สาขาบ้านพักอาศัย และสาขาธุรกิจการค้าเป็นร้อยละ 15.19 และร้อยละ 7.07 ตามลำดับ สาขาเกษตรกรรมเป็นร้อยละ 5.21 โดยสาขาเหมืองแร่และสาขาการก่อสร้างมีสัดส่วนการใช้พลังงานอยู่ที่ร้อยละ 0.19 และร้อยละ 0.20 ตามลำดับ สรุปได้ว่าสาขาบ้านพักอาศัยมีการบริโภคพลังงานถึง 1 ใน 6 เท่าของพลังงานที่ผลิตได้ทั้งหมด ซึ่งพลังงานนี้ยังไม่รวมถึงพลังงานแฝงของกระบวนการขนส่งและภาคอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุต่างๆ การพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของประเทศไทยพบว่าสาขาที่อยู่อาศัยและธุรกิจการค้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นถึง 35.65% มากกว่าสาขาเศรษฐกิจอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1-1

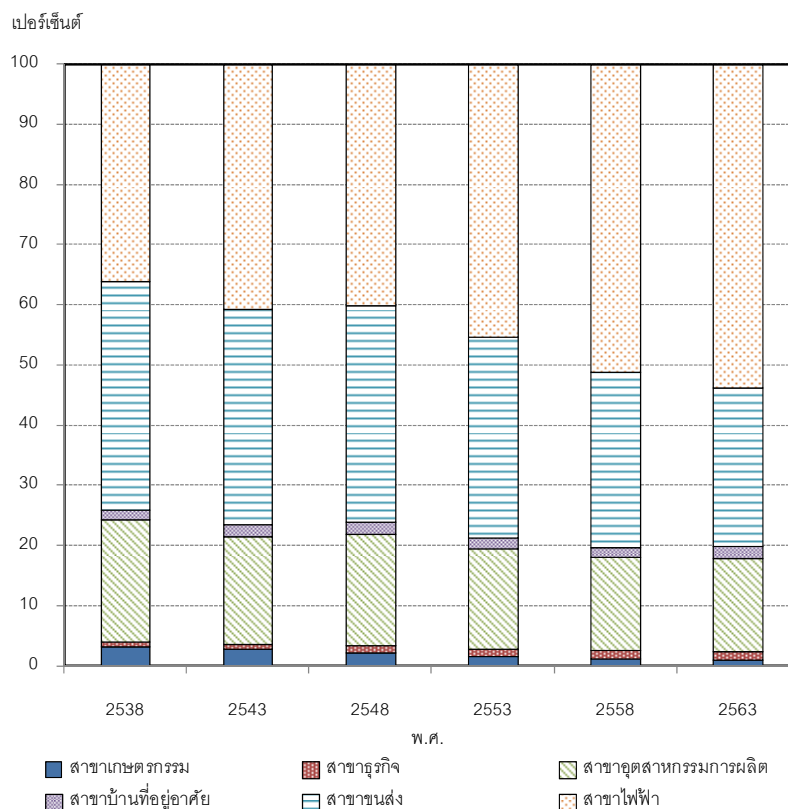


แผนภูมิที่ 1-2 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจของประเทศไทย ข้อมูลปี พ.ศ.2551 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552ก: ออนไลน์)

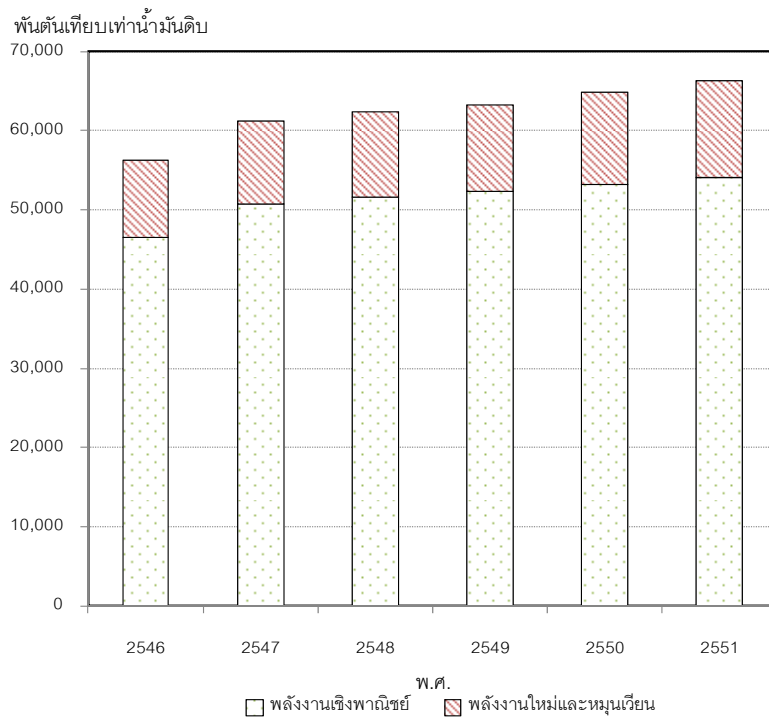
ตารางที่ 1-1 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานขั้นสุดท้ายและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ข้อมูลปี พ.ศ.2551 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552ก: ออนไลน์)

สาขาเศรษฐกิจ	พลังงาน (ktoe)			คาร์บอนไดออกไซด์ (Tons CO ₂)		
	พ.ศ.			พ.ศ.		
	2547	2551	+/-	2547	2551	+/-
ขนส่ง	22,809	23,266	2.00%	55,029	48,435	-11.98%
ไฟฟ้า	27,316	31,406	14.97%	72,637	83,308	14.69%
อุตสาหกรรมการผลิต	17,598	19,316	9.76%	42,973	43,979	2.34%
บ้านอยู่อาศัยและธุรกิจการค้า	6,992	8,488	21.40%	4,713	6,393	35.65%
เกษตรกรรม การก่อสร้าง และเหมืองแร่	3,366	3,582	6.42%	10,712	11,624	8.51%
รวม	80,628	88,609	9.90%	188,611	196,290	4.07%

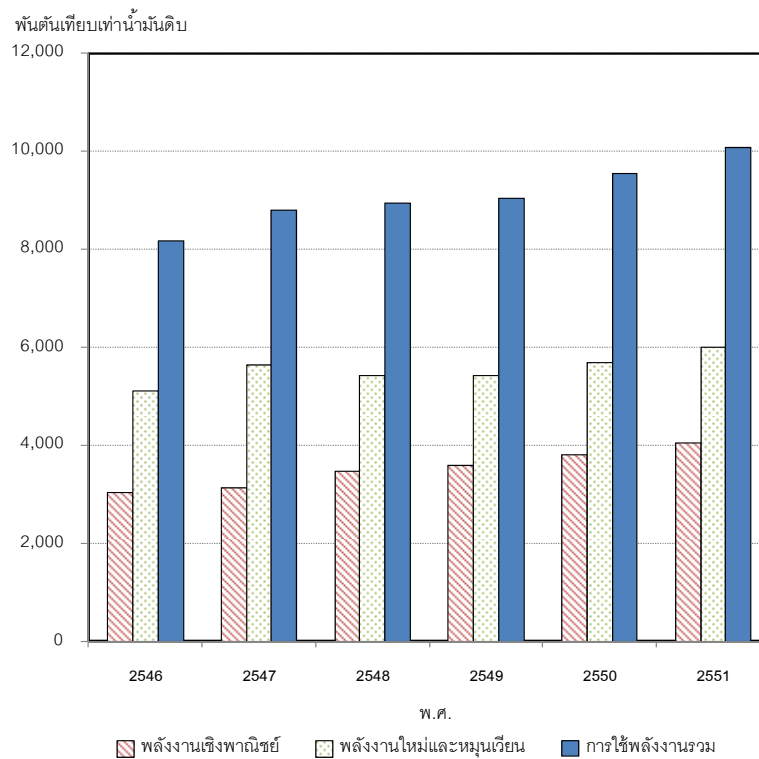
จากการคำนวณโดยคู่มือการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จัดทำโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ฉบับปรับปรุงปีพ.ศ. 2539 ผลการคำนวณ ในปี พ.ศ. 2537 พบว่าขนาดตกรการบริโภคพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น ประเทศไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นปริมาณ 241 ล้านตัน แต่เนื่องจากกิจกรรมปลูกป่าและป่าธรรมชาติช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ประมาณ 39 ล้านตัน ดังนั้นปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจึงเท่ากับ 202 ล้านตัน และได้มีการคาดการณ์ความต้องการในการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2538 - 2563 ว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการใช้พลังงานตามการประมาณการณ์ของ IPCC จะเพิ่มถึง 151 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2538 เป็น 475 ล้านตัน พ.ศ. 2563 โดยครึ่งหนึ่งมาจากสาขาไฟฟ้า และตามด้วยสาขาการขนส่ง สาขาอุตสาหกรรม สาขาที่อยู่อาศัย สาขารัฐกิจ และสาขาเกษตรกรรม ดังแสดงในแผนภูมิที่ 1-3



แผนภูมิที่ 1-3 การคาดการณ์ความต้องการในการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2538 – 2563 (Office of Environmental Policy and Planning, 2000)



แผนภูมิที่ 1-4 สัดส่วนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ และพลังงานหมุนเวียนในการใช้พลังงานรวมของประเทศไทยข้อมูลปี พ.ศ. 2551 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552ก: ออนไลน์)



แผนภูมิที่ 1-5 การใช้พลังงานในสาขาบ้านอยู่อาศัยจำแนกตามชนิดพลังงานของประเทศไทย ข้อมูลปี พ.ศ. 2551 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552ข: ออนไลน์)

จากสถิติการใช้พลังงานพบว่าประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 6 ปี โดยปี พ.ศ.2551 มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2550 ถึงร้อยละ 2.2 ดังแสดงในแผนภูมิที่ 1-4 และพบว่าการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ อันประกอบด้วยน้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และไฟฟ้า เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 การใช้พลังงานใหม่และพลังงานหมุนเวียนอันประกอบด้วย พืน ถ่าน แกลบ และกากอ้อย เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.3 โดยสาขาเศรษฐกิจที่มีการใช้พลังงานใหม่และพลังงานหมุนเวียนคือ สาขาเศรษฐกิจอุตสาหกรรมการผลิต คิดเป็น 51% และอีก 49% ใช้ในสาขาบ้านอยู่อาศัยดังแสดงในแผนภูมิที่ 1-5 ซึ่งพบว่าการใช้พลังงานในสาขาบ้านอยู่อาศัยนั้นมีรูปแบบในการใช้พลังงานที่หลากหลายโดยการใช้พลังงานใหม่และพลังงานหมุนเวียนนั้นมีอัตราเพิ่มขึ้น ซึ่งถือเป็นแนวโน้มการใช้พลังงานทางเลือกใหม่ให้กับการอยู่อาศัยในอนาคต

จุดเปลี่ยนแนวคิดในการออกแบบอาคารและการก่อสร้างจึงเกิดขึ้นภายใต้กรอบการพัฒนาที่ยั่งยืน ที่ตระหนักถึงการก่อสร้างเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Construction) เพื่อลดการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และได้เกิดการพัฒนารูปแบบอาคารเขียว (Green Building) อย่างจริงจังเรื่อยมา หลายประเทศเริ่มให้ความสนใจถึงความสำคัญต่อการออกแบบ การก่อสร้างอาคาร และการใช้งานอาคารที่จะช่วยลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เกิดแบบประเมินอาคารครั้งแรกขึ้นในปี พ.ศ. 2533 (Grace, 2000) ที่สหราชอาณาจักรเรียกว่า BREEAM (The Building Research Establishment Environmental Assessment Method, BREEAM) หลังจากนั้นประเทศต่างๆ จึงได้นำแนวคิดนี้ไปพัฒนาเพื่อให้เกิดมาตรฐานการสร้างแบบประเมินอาคารของประเทศตนเองขึ้นอย่างมากมาทั่วโลก อาทิเช่น สหรัฐอเมริกาที่มีแบบประเมินที่เรียกว่า LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) โดยปัจจุบันแบบประเมินนี้เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ และมีความพยายามพัฒนาแนวคิดที่ยั่งยืนในการสร้างแบบประเมินนี้เพื่อขยายผลนำไปใช้ทั่วทุกภูมิภาคของโลก ซึ่งแบบประเมินอาคารนี้จะรวมถึงกระบวนการความยั่งยืนตั้งแต่การจัดซื้อจัดจ้าง ห่วงโซ่อุปทาน จนถึงการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในช่วงการใช้งานอาคาร แต่แนวทางที่ดีและการก่อสร้างเพื่อความยั่งยืนอาจจะไม่เหมือนกันในทุกภูมิภาคของโลกและทุกสังคม ดังนั้นระบบการให้คะแนนและเทคนิคจะแตกต่างกัน อาทิเช่นการใช้พลังงานเป็นความสำคัญระดับแรกๆของประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น จึงให้ความสำคัญในการพัฒนาการใช้พลังงานเชิงสากลในอาคารที่ปรับปรุงและอาคารใหม่เป็นต้น ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าการนำแบบประเมินของประเทศอื่นมาใช้ในการประเมินอาคารอีกประเทศหนึ่งอาจจะไม่ใช่คำตอบ ซึ่งการออกแบบอาคารเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดนั้นต้องมีความเข้าใจวัฒนธรรมการอยู่อาศัยของคนในพื้นที่นั้น ต้องเข้าใจสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ

เพื่อที่จะสามารถนำประโยชน์จากธรรมชาติมาใช้ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้จัดทำร่างหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวขึ้นมาโดยความร่วมมือระหว่างวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย กับ สมาคมสถาปนิกสยาม ในค่านำของเอกสารกล่าวว่า “จากสภาวะการณ์ปัจจุบันที่โลกของเราต้องเผชิญกับการเผาผลาญพลังงานอย่างสิ้นเปลือง และสภาพแวดล้อมที่ถูกทำร้ายมากขึ้น ๆ ในฐานะของนักวิชาชีพ สถาปนิก และวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างซึ่งถือเป็นสิ่งหนึ่งที่มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานจำนวนมาก เรื่องที่เราควรที่จะริเริ่มดำเนินการเพื่อช่วยเหลือโลกใบนี้ คือการพัฒนาและสร้างแนวคิดเรื่อง อาคารเขียว นั่นเอง” (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และ สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2552)

อาคารเป็นสิ่งก่อสร้างที่คนถนัดและมีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของอาคารประเภทที่อยู่อาศัยประมาณ 50 ปี ดังนั้นผลกระทบจากการใช้อาคารไม่ว่าจะเป็นด้านการใช้พลังงาน ขยะ และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อสภาวะแวดล้อมนั้นคงไม่จำกัดอยู่แค่เพียงขั้นตอนการใช้งานเพียงอย่างเดียว แบบประเมินอาคารโดยทั่วไปคิดพลังงานที่ตรวจสอบจากการใช้พลังงานไฟฟ้า แต่ในความเป็นจริงแล้วในเนื่อวัสดุอาคาร การก่อสร้างตลอดอายุของอาคารนั้นยังมีพลังงานที่แฝงอยู่คือพลังงานสะสม (Embodied Energy) ซึ่งจะอยู่ในวัสดุ และกระบวนการก่อสร้างซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการให้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของอาคาร ดังนั้นการประเมินอาคารเชิงนิเวศต้องคำนึงตั้งแต่ การผลิตวัสดุ การขนส่ง การก่อสร้างอาคาร การใช้งานอาคาร จนกระทั่งถึงการรื้อถอนอาคาร จึงจะมีความสมบูรณ์ในการประเมินอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานเชิงสิ่งแวดล้อม การพิจารณาการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ในการพิจารณาภาคสาขาที่อยู่อาศัย สามารถตอบคำถามแนวคิดการออกแบบเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ และเป็นเครื่องมือที่มีอยู่ในปัจจุบันที่มีประโยชน์ต่อการคาดการณ์การออกแบบ การเลือกวัสดุและการจัดการการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การสร้างแบบประเมินอาคารสำหรับภูมิภาคร้อนชื้นนี้ จึงมีแนวคิดที่จะวิเคราะห์หาตัวแปรหลัก ด้านการใช้ทรัพยากร ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของผู้ใช้อาคาร ที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของอาคารในภูมิภาคร้อนชื้นเป็นสำคัญ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานเชิงสิ่งแวดล้อมซึ่งสามารถวัดค่าได้ พร้อมแสดงผลชัดเจนเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบเพื่อความยั่งยืนอย่างแท้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบประเมินสำหรับอาคารเชิงอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

1.2.2 สร้างแบบประเมินอาคาร สำหรับเป็นเครื่องมือในการประเมินประสิทธิภาพอาคารด้านการใช้พลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.3 เสนอแนะแบบประเมินอาคาร ไปประยุกต์ใช้ในการประเมินผลการออกแบบและสร้างทางเลือกที่ถูกต้อง สำหรับการออกแบบเชิงอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเฉพาะอาคารบ้านพักอาศัย โดยกำหนดให้ผู้อยู่อาศัยอยู่ในสภาวะน่าสบาย

1.3.2 ตัวแปรที่ไม่พิจารณาในการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature) ความเร็วลม (Wind Speed) อิทธิพลจากแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (Metabolism Rate) เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value) ในการสร้างความสัมพันธ์กับตัวแปรหลักอื่น

1.3.3 สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเป็นตัวแทนในการศึกษา โดยพิจารณาเฉพาะวัสดุและเทคโนโลยีการก่อสร้างในปัจจุบันเท่านั้น

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 บ้านรักษ์นิเวศ (Eco-House)

บ้านรักษ์นิเวศ คือบ้านที่ออกแบบโดยคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศเป็นสำคัญ โดยนำสภาพแวดล้อมมาใช้ประโยชน์สูงสุดในการออกแบบ และคำนึงถึงประสิทธิภาพอาคารควบคู่กับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.4.2 ภาระต่อสิ่งแวดล้อม (Environment load)

ภาระต่อสิ่งแวดล้อม คือหน้าที่รับผิดชอบต่อการกระทำต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่างๆของอาคารตลอดช่วงอายุอาคาร ตั้งแต่การก่อสร้าง การใช้งานอาคารและการทำลาย

1.4.3 อายุอาคาร

อายุอาคาร คือช่วงเวลานับตั้งแต่เกิดอาคารจนกระทั่งหมดสภาพการใช้งานอาคารต้องถูกทำลายทิ้ง ในการวิจัยนี้พิจารณาอายุอาคารในการคำนวณที่ 50 ปี

1.4.4 แบบประเมินอาคาร

แบบประเมิน คือแบบประเมินอาคารที่มีการประเมินโดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ในการประมวลผล

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาตัวแปรในการออกแบบอาคารเพื่อความยั่งยืนด้วยการทบทวนทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ปัจจัยของสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารเชิงนิเวศ
- การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการก่อสร้างอาคาร
- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากอาคารที่อยู่อาศัย

1.5.2 ศึกษาตัวแปรในการสร้างแบบประเมินอาคารเชิงนิเวศด้วยการทบทวนทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาเกณฑ์การประเมินอาคารในภูมิภาคต่างๆ รวมทั้งในประเทศไทย
- ศึกษาเกณฑ์ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.3 ศึกษาเครื่องมือในการวิจัย

- การคำนวณภาระการทำความเย็นสูตร CLTD และ CLF เพื่อคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร

- ศึกษาและวิเคราะห์หาสัดส่วนของความสัมพันธ์ของตัวแปรด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อมาสร้างแบบประเมิน

1.5.4 สร้างดัชนีการประเมินจากการศึกษาอาคารตัวอย่าง โดยการมุ่งเน้นที่การหาความสัมพันธ์ด้านประสิทธิภาพอาคารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.5 นำค่าทดสอบตัวแปรที่ได้จากแบบประเมินไปตรวจสอบในอาคารตัวอย่างเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบ

- ทดสอบโดยการจำลองสภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Program) วิเคราะห์ตัวแปรและความสัมพันธ์ในการประเมินอาคาร

- วิเคราะห์และกำหนดตัวแปรสำคัญ และพัฒนารูปแบบการประเมินให้ง่ายต่อการใช้งาน

1.5.6 สร้างแบบประเมินที่เหมาะสมของอาคารสำหรับภูมิภาคร้อนชื้น

- กำหนดรูปแบบของแบบประเมินให้ง่ายต่อการใช้งาน พร้อมแสดงตัวชี้วัดเพื่อการตัดสินใจในการเลือกในขั้นตอนการออกแบบ

- สร้างแบบประเมินที่เหมาะสมกับอาคารในภูมิภาคร้อนชื้น โดยมีลักษณะของแบบประเมินที่ใช้งานง่าย และมีความแม่นยำสูง

1.5.7 เสนอแนะแนวทางการประยุกต์ใช้แบบประเมินอาคาร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมกับภูมิอากาศร้อนชื้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทำให้ทราบถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบอาคารในภูมิภาคร้อนชื้น
- 1.6.2 ทำให้ได้แบบประเมินอาคารที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ การอธิบาย และการทำนายผล เพื่อเป็นทางเลือกในการออกแบบและตัดสินใจแก่ผู้มีส่วนร่วมในการออกแบบอาคาร
- 1.6.3 เสนอแบบประเมินอาคารที่เหมาะสมต่อการออกแบบอาคารในภูมิภาคร้อนชื้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวทางการออกแบบและการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันไม่ได้มุ่งเน้นที่ความสวยงามของอาคารเพียงอย่างเดียวเหมือนอดีตที่ผ่านมา แต่เริ่มให้ความสนใจเรื่องการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ตั้งแต่อดีตที่ผ่านมาการออกแบบที่มุ่งเน้นเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อมมักจะใช้ชื่อว่าอาคารสีเขียว (Green Building) และในปัจจุบันการออกแบบได้พัฒนาเข้าสู่คำว่าอาคารยั่งยืน (Sustainable Building) เพื่อสอดคล้องกับแผนการพัฒนาคอนกรีตของโลกโดยรวม ที่จะช่วยลดปัญหาความเสื่อมถอยของทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต่างๆได้

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบอาคารยั่งยืน

จุดเริ่มต้นของการพัฒนาอย่างยั่งยืนเกิดขึ้นจากการประชุมสหประชาชาติที่กรุงสตอกโฮล์มว่าด้วยเรื่องสภาพแวดล้อมของมนุษย์ (United Nation Conference on Human Environment) ในปีพ.ศ.2515 ซึ่งต่อมาในปี พ.ศ.2523 ยุทธศาสตร์การอนุรักษ์โลก (World Conservation Strategy) ได้เสนอแนวคิด “การพัฒนาอย่างยั่งยืน” (Sustainable development) ในเรื่องการอนุรักษ์ธรรมชาติกับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม จากนั้นในปี พ.ศ. 2530 คณะกรรมาธิการโลกว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (World Commission on Environment and Development: WCED) ก็ประกาศ “การพัฒนาที่ยั่งยืน” เป็นกระบวนทัศน์ใหม่แห่งการพัฒนา โดยเสนอการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม อย่างสมดุลกันเพื่อนำไปสู่ความยั่งยืน

2.1.1 ความหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

การพัฒนาอย่างยั่งยืนคือการพัฒนาที่เพียงพอกับความต้องการของชนรุ่นปัจจุบัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาอย่างพอเพียงกับความต้องการของชนรุ่นต่อไปในอนาคต (Dudley, 1987)

ปรับปรุงคุณภาพของชีวิตมนุษย์ในการเป็นอยู่ในระบบนิเวศที่รองรับได้ (IUCN, UNEP and WWF, 1991)

ใช้ทรัพยากรที่หมุนเวียนไม่ได้ถูกทำลายหรือทำให้ด้อยลง สำหรับรุ่นต่อไป ขณะที่รักษาสะสมทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ดิน น้ำ ใต้ดิน และชีวมวล (World Resource Institute, 1992)

2.1.2 การพัฒนาแนวคิดยั่งยืนของสถาปัตยกรรม

ในปี พ.ศ.2535 ได้มีการประชุมสุดยอดระดับโลกว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (UN Conference on Environment and Development: UNCED) ณ กรุงริโอ เดอจาเนโร ประเทศบราซิล จึงเกิดสนธิสัญญาว่าเรื่องการแก้ปัญหาอุณหภูมิผิวโลกสูงขึ้น (Global warming) และการอนุรักษ์สภาพความหลากหลายทางชีวภาพของโลก (Biological diversity) และร่างแผนปฏิบัติการสำหรับทศวรรษ 1991-1999 และศตวรรษที่ 21 เพื่อดำเนินการให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) เรียกว่า Agenda 21

การพัฒนาอย่างยั่งยืนได้แพร่หลายไปทุกวงการ รวมถึงวงการสถาปนิก โดยปีพ.ศ. 2536 สหภาพสถาปนิกนานาชาติ (Union Internationale des Architects: UIA) และสถาบันสถาปนิกอเมริกา (American Institute of Architects: AIA) ก็ได้ออกคำแถลงการณ์ว่าด้วยการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันเพื่ออนาคตที่ยั่งยืนที่ระบุว่า สถาปัตยกรรมที่ยั่งยืนจะนำมาซึ่ง “การเปลี่ยนกระบวนทัศน์” ของการออกแบบไปสู่กระบวนทัศน์ใหม่แห่งการพึ่งพาอาศัยกันทางสิ่งแวดล้อมซึ่งจะทำให้คุณภาพของการดำรงชีวิตและความเป็นอยู่ในเชิงเศรษฐกิจดีขึ้น เพื่อให้อนาคตมีความมั่นคงยั่งยืนด้วยความสัมพันธ์ที่เกื้อกูลกันระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม และทำให้สถาปัตยกรรมมีความงามยาวนานอยู่คู่ไปกับวัฒนธรรมท้องถิ่น

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) ได้ให้ความหมาย อาคารยั่งยืนว่า เป็นอาคารที่ลดการเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และอาจหมายถึงอาคารที่มีคุณภาพในด้านต่างๆคือ เศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม ใช้ทรัพยากรและมีการจัดการอย่างเหมาะสม ลดการใช้พลังงาน และพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารโดยการผสมผสานและจัดระบบอาคารต่างๆให้สัมพันธ์กัน ซึ่งพิจารณาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยใช้ระเบียบวิธีในการวิเคราะห์กระบวนการและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละช่วงระยะเวลาของอายุอาคาร

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับสภาวะน่าสบายของมนุษย์

สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) คือ สภาพจิตใจที่รู้สึกพึงพอใจในอุณหภูมิแวดล้อม “the state of mind that expresses satisfaction with the surrounding environment” (ASHRAE, 2004) สภาวะที่คนเราไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวจากสภาพแวดล้อม ซึ่งส่งผลโดยตรงกับ

ร่างกายของมนุษย์ และจิตใจ ในการปรับสมดุลเพื่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดเพื่อปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ซึ่งเราเรียกว่า สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort)

เขตสบาย (Comfort Zones) คือ ขอบเขตของสภาพอากาศในช่วงระยะที่ทำให้ร่างกายมนุษย์อยู่ในสภาวะที่สบาย ซึ่งสภาวะที่สบายนี้หมายถึงสภาวะที่อากาศมีอุณหภูมิความเร็วลมและความชื้นในอากาศที่พอเหมาะที่จะทำให้ร่างกายมนุษย์รู้สึกสบายไม่ร้อนหรือหนาวจนเกินไป ร่างกายไม่มีเหงื่อ ไม่มีไอน้ำในอากาศที่มากเกินไปจนชื้นหรือน้อยเกินไปจนแห้ง อัตราความเร็วของลมอยู่ในเกณฑ์ที่พอเหมาะต่อการใช้งาน

Stein (1986) ได้กล่าวไว้ว่า “สภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ (Thermal Comfort) หมายถึง การที่ตัวเราไม่ได้อยู่ในสภาวะไม่น่าสบาย หรือไม่รู้สึกรู้สึกร่างกายว่าเราสูญเสียความร้อนหรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม “เป็นสภาวะที่สมดุลทางอุณหภูมิหรือความร้อนระหว่างร่างกายและสภาวะแวดล้อม”

Fanger (1970) ค้นพบตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อ Thermal Comfort ซึ่งมีอยู่ 6 ตัวแปร

1. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate)
2. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value)
3. อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)
4. อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant Temperature)
5. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
6. ความเร็วลม (Air Velocity)

โดยสามารถแบ่งตัวแปรทางด้านบุคคลและตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมได้ดังนี้

ตัวแปรด้านบุคคล 2 ตัวแปร ได้แก่

– อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate) วัดเป็นหน่วย Met พลังงานของมนุษย์ที่ใช้ในการบริโภคและย่อยอาหารที่มนุษย์รับประทานเข้าไป กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปของอาหารให้เป็นพลังงานสำหรับร่างกายคนเราเรียกว่า “Metabolism” โดยที่ร่างกายจะนำพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญอาหารนี้ไปประกอบกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดิน การวิ่ง เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ร่างกายเกิดความร้อนขึ้น ดังนั้นร่างกายจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อมภายนอกอยู่ตลอดเวลา เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่ โดยอัตราที่ร่างกายมนุษย์ผลิตความร้อนออกมาจะขึ้นอยู่กับระดับของกิจกรรมที่ดำเนินอยู่

– เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value) วัดเป็นหน่วย clo มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของร่างกายสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบตัวทั้ง การแผ่รังสี (Radiation) การพา (Convection) การนำ

(Conduction) และการระเหย (Evaporation) โดยเอกลักษณ์การสวมใส่เสื้อผ้าของแต่ละประเทศจะมีความแตกต่างกันเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ

ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม 4 ตัวแปร ได้แก่

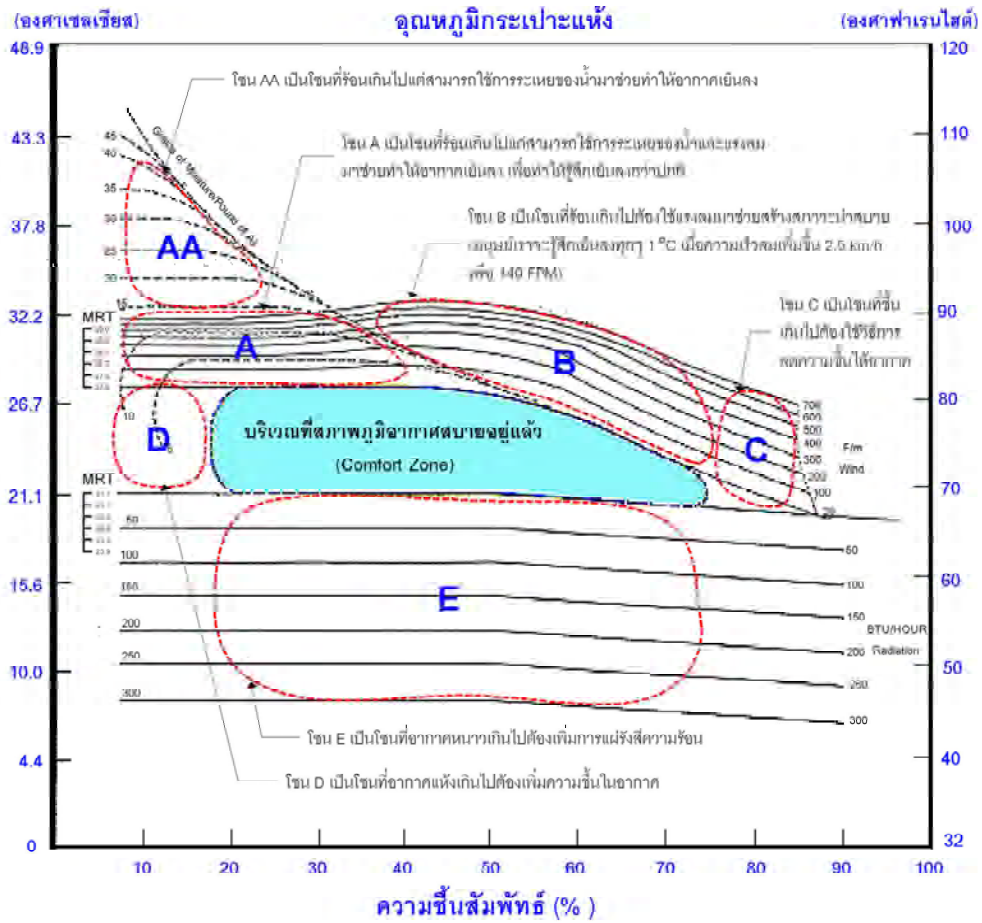
- อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) เป็นตัวหลักที่บ่งบอกถึง Thermal Comfort ซึ่ง ASHRAE (1993) ได้ให้ความหมายว่าเป็นระดับอุณหภูมิในอากาศรอบๆตัวเรา ณ เวลานั้นๆ โดยช่วงอุณหภูมิอากาศที่อยู่ใน Thermal Comfort จะอยู่ประมาณ 22 องศาเซลเซียส (71.6 องศาฟาเรนไฮต์) ถึง 27 องศาเซลเซียส (80.6 องศาฟาเรนไฮต์) (Olgay, 1973) นอกจากนี้ อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ยังมีผลต่อการเพิ่มขอบเขตสภาวะน่าสบายได้

- อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature) โดยถ้าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรอบตัวเราเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศ 1 องศาเซลเซียส เราจะรู้สึกเสมือนหนึ่งว่าอุณหภูมิตั้งแต่เย็นลงกว่าเดิม 1.4 องศาเซลเซียส (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) โดยการวัดจะหาค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรง อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบหรือ MRT นั้นสามารถวัดจากอุณหภูมิของพื้นผิวด้านต่างๆของห้อง และตำแหน่งที่วัด MRT นั้น ทำมุมกระทำ (Solid Angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและพื้นผิวผนังหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT อุณหภูมิของพื้นผิวสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิร่างกาย โดยที่ปัจจัยส่วนหนึ่งที่ประกอบขึ้นเป็นสภาวะน่าสบายของมนุษย์คือ การแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ การคิดค่าการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมนี้คิดเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ของการแผ่รังสีจากแหล่งต่างๆในสภาวะแวดล้อมนั้น

- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง การวัดอัตราส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่อากาศสามารถมีความชื้นได้โดยปราศจากการกลั่นตัวเองเป็นหยดน้ำ (Condensation) ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วง Thermal Comfort นั้นอยู่ในช่วง 20-75 เปอร์เซ็นต์ (Olgay, 1973)

- ความเร็วลม (Air Velocity) ลมจะพัดพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น และช่วยพัดพาความชื้นบริเวณผิวกายทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้น ความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสภาวะน่าสบาย มนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศจริงประมาณ 0.4 องศาเซลเซียสเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

เขตสบาย (Comfort Zone) ได้ถูกอธิบายในแผนภูมิไบโอไคลเมติก (Bioclimatic Chart) (Olgay, 1973) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อแสดงขอบเขตของสภาวะที่คนเรารู้สึกสบาย โดยมีช่วงของขอบเขตสบายที่อุณหภูมิระหว่าง 22-27°C และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 20-75%



แผนภูมิที่ 2-1 แสดงเขตสบายและเทคนิคการปรับแต่งสภาพภูมิอากาศนอกเขตสบายในแต่ละโซน (สุนทร บุญญฤทธิ์การ, 2542)

แผนภูมิไบโอไคลเมติกใช้สำหรับวิเคราะห์สภาวะภูมิอากาศว่าอยู่ในบริเวณโซนใดในแผนภูมิไบโอไคลเมติก เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบเทคนิคในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมเพื่อเพิ่มชั่วโมงที่จะเข้าสู่สภาวะน่าสบายเพิ่มขึ้นจากสภาพภูมิอากาศปกติ จากแผนภูมิพบว่า การใช้การระเหยของน้ำสามารถทำให้โซน เอ ที่มีลักษณะร้อนและแห้ง สามารถเข้าสู่สภาวะน่าสบาย และการปรับอุณหภูมิในโซน บี ซึ่งมีลักษณะร้อนและชื้นมากเกินไป ทำได้โดยใช้ความเร็วลม เพื่อเพิ่มความรู้สึกเข้าสู่สภาวะน่าสบายได้

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของภูมิภาคร้อนชื้น

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Hot Humid) โดยจากการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศตลอดทั้งปีของประเทศไทยข้อมูล พ.ศ. 2550 พบว่า จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่เขตสบายมีเพียง 8 เปอร์เซนต์ และมีเพียงช่วงเดือน มกราคม กุมภาพันธ์ พฤษภาคม และธันวาคมที่มีชั่วโมงเข้าสู่สภาวะน่าสบาย โดยลักษณะอุณหภูมิค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 28-29 °C เฉพาะในช่วงเวลากลางวันมีอุณหภูมิประมาณ 30-31 °C กลางคืนมีอากาศเย็นกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิไม่มากนัก ไม่ว่าจะเป็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในแต่ละวัน หรือใน 1 ปี ในฤดูร้อนมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันประมาณ 6 °C และในฤดูหนาวแตกต่างกันประมาณ 13 °C อุณหภูมิในช่วงเช้าถึงกลางวันจะค่อยๆ ร้อนขึ้น โดยที่อุณหภูมิอากาศจะสูงสุดในช่วงประมาณบ่ายโมงถึงบ่ายสามโมง ซึ่งช่วงนี้จะเป็นเวลาที่มีแดดจัด ช่วงของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์สูงถึง 6-7 เดือน ใน 1 ปี (พรรณชลัท สุริโยธิน, คมกฤษ ชูเกียรติมัน และอุษณีย์ มิ่งวิมล, 2540) สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของประเทศไทยอยู่นอกเขตสบายเกือบตลอดทั้งปี เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยส่วนใหญ่ จะมีลักษณะค่อนข้างร้อนและมีความชื้นมากเกินไป หรือมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 72% - 80% (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) การแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ได้รับอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์ในทิศใต้มากกว่าทิศเหนือ โดยเฉลี่ยในหนึ่งปีมีชั่วโมงที่มีแดดประมาณ 66 % ของชั่วโมงที่มีดวงอาทิตย์ จึงมีแสงแดดจัดเกือบตลอดทั้งปี ความเร็วลมค่อนข้างต่ำ โดยกระแสลมในช่วงเวลากลางวันมักจะแรงกว่าเวลากลางคืน การทำให้สภาพอากาศในประเทศไทยเย็นขึ้นเป็นเรื่องยาก เนื่องจากประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากแสงแดดมากทำให้เกิดการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุต่างๆ และเพิ่มอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อนมากขึ้นไปอีก สิ่งที่ต้องให้ความสำคัญรองลงมาจากอุณหภูมิ คือ ความชื้นสัมพัทธ์และความดันน้ำในอากาศ เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ที่มีอยู่มากในอากาศ ทำให้อัตราการระเหยของเหงื่อของร่างกายมนุษย์เป็นไปได้ยาก ต้องอาศัยกระแสลมเข้ามาช่วยในการเร่งอัตราการระเหยของเหงื่อให้เพิ่มมากขึ้น ลมสามารถช่วยพัดพาความรู้สึกอึดอัดอันเนื่องมาจากสภาพอากาศปิดให้น้อยลงได้ ถึงแม้ว่ากระแสลมนั้นจะไม่ได้ช่วยให้อุณหภูมิอากาศเย็นขึ้นได้จริงก็ตาม

ดังนั้นการออกแบบสถาปัตยกรรมให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยคือการป้องกันความร้อนและความชื้นจากอากาศภายนอกอาคาร การปรับสภาวะแวดล้อมภายในอาคารให้เข้าสู่สภาวะน่าสบาย ซึ่งจะต้องใช้หลักการออกแบบที่คำนึงถึงปัจจัยสำคัญดังนี้

2.3.1 การปรุงแต่งสภาพแวดล้อม

การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมของอาคารโดยใช้ปัจจัยธรรมชาติต้องมีความเข้าใจในสภาพภูมิอากาศและนำมาใช้อย่างเหมาะสมทั้งนี้เพราะปัจจัยทางธรรมชาติมีอิทธิพลอย่างมากต่อสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ได้แก่

2.3.1.1 การใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่

ต้นไม้ขนาดใหญ่จะสามารถลดอิทธิพลของอุณหภูมิตอนกลางวันที่รุนแรงจากรังสีดวงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้นไม้จะใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อมในการดูดเอาน้ำใต้ดินมาแปลงสภาพเป็นไอน้ำด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยใช้พลังงานความร้อนประมาณ 2.3 เมกะจูล (2,200 บีทียู) เพื่อทำให้น้ำ 1 ลิตรเปลี่ยนเป็นไอน้ำ ดังนั้นต้นไม้จะสามารถลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมได้เทียบเท่ากับเครื่องปรับอากาศ 1 ต้น (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

2.3.1.2 การใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดิน

พืชคลุมดินจะดูดซับน้ำจากใต้ดินมาระเหย ทำให้อุณหภูมิผิวดินต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศมาก บริเวณสนามหญ้าจะเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศแต่จะไม่เย็นเท่าอุณหภูมิภายใต้พืชคลุมดิน (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) การใช้พืชคลุมดินสามารถลดอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบอาคารได้

2.3.1.3 การใช้ประโยชน์จากวัสดุปลูก

การเลือกใช้วัสดุปลูกดินที่เหมาะสมจะช่วยให้สภาพแวดล้อมเย็นได้ โดยการเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับความร้อนต่ำและมีค่าการกระจายความร้อนสูง วัสดุที่มีค่าการกักเก็บความร้อนสูง เช่นคอนกรีต เมื่อได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์จะดูดซับความร้อนไว้ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิโดยรอบอาคารสูงขึ้น (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

2.3.1.4 การใช้ประโยชน์จากลม

ความเร็วลมนี้สามารถทำให้มนุษย์รู้สึกเย็นลงกว่าปกติได้ ประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การใช้ประโยชน์จากลมได้มากที่สุดคือ การปรับสภาพแวดล้อมภายนอกให้เย็นก่อนที่จะพัดเข้าสู่ภายในอาคารโดยการใช้ต้นไม้ พืชคลุมดิน หรือแหล่งน้ำ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

2.3.2 รูปทรงอาคารและการประยุกต์ใช้ปัจจัยธรรมชาติ

รูปทรงอาคารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการป้องกันอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมภายนอกที่จะส่งผลกระทบต่อสภาวะภายในอาคาร

2.3.2.1 รูปทรงอาคารและอิทธิพลของลม

จากธรรมชาติของลมจะเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูง (Positive Pressure) ไปยังความกดอากาศต่ำ (Negative Pressure) ดังนั้นการออกแบบอาคารโดยใช้เทคนิคในการนำลมเข้าสู่อาคารโดยการเจาะช่องเปิดด้านความกดอากาศสูง และเปิดช่องเปิดด้านความกดอากาศต่ำ ทำให้ลมพัดผ่านจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้โดยตรง การใช้เทคนิคนี้จะทำให้การออกแบบโดยใช้ลมธรรมชาติในการระบายอากาศได้เปรียบ เนื่องจากลมสามารถพัดผ่านได้ทุกส่วนของอาคาร

2.3.2.2 รูปทรงอาคารกับการกันแดด

แสงที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงสำหรับประเทศไทยนี้ไม่มีประโยชน์ต่อสภาวะน่าสบายแต่กลับจะเป็นปัญหาของการสะสมความร้อนของผนังบริเวณเปลือกอาคารและส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นภายในอาคาร การเพิ่มพื้นที่การกันแสงแดดให้กับอาคารด้วยรูปทรงจะสามารถลดอุณหภูมิผิวของกรอบอาคารได้ ตลอดจนการเปิดช่องเปิดในทิศที่ได้รับอิทธิพลแสงแดดน้อยจะช่วยให้ค่าการส่งผ่านความร้อนกับอาคารลดลง ส่วนอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบที่พื้นผิวอาคาร จะทำให้ผิวอาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศ

2.3.2.3 การใช้รูปทรงอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำ

การออกแบบอาคารควรคำนึงถึงสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารเนื่องจากอัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคารจะแปรผันโดยตรงกับสัดส่วนพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร เพราะเปลือกอาคารมีพื้นที่มากเท่ากับผิวสัมผัสกับอากาศภายนอกซึ่งจะได้รับอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมสูง และจะเพิ่มความร้อนภายในอาคารทำให้มีขอบเขตสูงกว่าสภาวะน่าสบาย

2.3.3 การเลือกใช้วัสดุประกอบอาคาร

การเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้เป็นกรอบอาคารนั้นมีความสำคัญมาก กรอบอาคารเสมือนเกาะกำบังให้แก่ผู้อยู่อาศัยจากสภาพภูมิอากาศที่ไม่อยู่ในสภาวะน่าสบาย วัสดุที่ใช้ในการประกอบเป็นกรอบอาคารถ้ามีการเลือกใช้อย่างเหมาะสมจะสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในอาคารได้ เช่น ประเทศไทยมีปัญหาด้านสภาพภูมิอากาศคือ กัณร้อน กัณชื้น ดังนั้นการหา

วัสดุที่สามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารจึงเป็นสิ่งสำคัญ ด้วยเหตุนี้จะต้องเข้าใจว่า การหาวัสดุที่จะเป็นกรอบอาคารเพื่อทำหน้าที่อะไร โดยคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นฉนวนจะต้องพิจารณาคุณสมบัติดังนี้

2.3.3.1 การต้านทานความร้อน

ค่าการต้านทานความร้อน R - Value เป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวความร้อนที่ไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ และเมื่อมีวัสดุหลายชั้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจะเท่ากับผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุทุกชั้น

สูตรการคำนวณ (Stein, Reynolds and McGuiness, 1986)

$$R = \frac{1}{C} \quad (1)$$

R = ค่าความต้านทานความร้อน (h.ft²°F/Btu)

C = ค่าความจุความร้อน (Btu/h. ft²°F)

2.3.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารทั้งระบบ สามารถคิดส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวมของเปลือกอาคารได้ดังนี้

สูตรการคำนวณ (Stein et al., 1986)

$$U = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2)$$

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/h ft² °F)

R = ค่าการต้านทานความร้อนรวม (ft² h °F/Btu)

เมื่อ R = L / K

L = ความหนาของวัสดุ (ft)

K = สัมประสิทธิ์จำเพาะของสสาร (Btu/h. ft²°F/ft)

สูตรการคำนวณ

$$U = \frac{1}{\sum R} \quad (3)$$

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/h ft² °F)

$\sum R$ = ค่าการต้านทานความร้อนรวม (ft² h °F/Btu)

2.3.3.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (q) ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ที่กรอบอาคารกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในกับภายนอกอาคาร

สูตรการคำนวณ (ASHRAE, 1993)

$$q = U * A * \Delta t \quad (4)$$

q = ปริมาณความร้อน (Btu/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/h ft² °F)

A = พื้นที่ (ft²)

Δt = อุณหภูมิที่แตกต่างกัน (°F)

ความแตกต่างของอุณหภูมิในการคำนวณภาระการทำความเย็น ที่เรียกว่า CLTD (Cooling Load Temperature Differences) จะมีการพิจารณาปัจจัยจากสภาพแวดล้อม อิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์ อิทธิพลของมวลสาร อิทธิพลของสีวัสดุ แทนการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน (Δt)

สูตรการคำนวณ (ASHRAE, 1993)

$$q = U * A * CLTD \quad (5)$$

q = ปริมาณความร้อน (Btu/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/h ft² °F)

A = พื้นที่ (ft²)

CLTD = ความแตกต่างของอุณหภูมิในการคำนวณภาระการทำความเย็น (°F)

การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงได้จากผลรวมการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของกระจกและการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีของกระจกรวมกัน

สูตรการคำนวณ (Stein et al., 1986)

$$q_{\text{glass}} = q_{\text{conduction}} + q_{\text{radiation}} \quad (6)$$

- q_{glass} = ปริมาณความร้อนผ่านกระจก (Btu/h)
 q_{cond} = ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อน (Btu/h)
 q_{rad} = ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อน (Btu/h)

ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อน ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก ที่กระทำต่อพื้นที่กระจก ด้วยความแตกต่างอุณหภูมิในการคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจก

สูตรการคำนวณ (Stein et al., 1986)

$$q_{\text{conduction}} = U * A * CLTD \quad (7)$$

- q_{cond} = ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อน (Btu/h)
 U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (Btu/h ft² °F)
 A = พื้นที่ (ft²)
 $CLTD$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิในการคำนวณภาระการทำความเย็น (°F)

ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก ที่กระทำต่อพื้นที่กระจก สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficients) ความร้อนจากการแผ่รังสี (Solar Heat Gain Factors) และค่าผันแปรภาระการทำความเย็น (Cooling Load Factors)

สูตรการคำนวณ (Stein et al., 1986)

$$q_{\text{radiation}} = A * SC * SHGF * CLF \quad (8)$$

- q_{rad} = ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อน (Btu/h)
 A = พื้นที่ (ft²)
 SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

SHGF = ความร้อนจากการแผ่รังสี (Btu/h)

CLF = ค่าผันแปรภาระทำความเย็น (Cooling Load Factor)

2.3.4 การเลือกใช้แสงประดิษฐ์

อาคารที่ไม่สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้จำเป็นต้องใช้แสงสว่างจากหลอดไฟเพื่อให้ได้แสงสว่างที่เหมาะสมแก่การใช้งาน โดยปกติหลอดไฟฟ้านอกจากจะให้แสงสว่างโดยการให้พลังงานแล้ว จะมีความร้อนที่เกิดจากการใช้งานหลอดไฟซึ่งจะเพิ่มภาระการทำความเย็นให้แก่เครื่องปรับอากาศ ปริมาณความร้อนจากหลอดไฟขึ้นอยู่กับการใช้ไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟต่อพื้นที่การใช้งาน คูณกับพื้นที่ใช้หลอดไฟทั้งหมด (Input) รวมกับค่าผันแปรภาระการทำความเย็นของหลอดไฟ (Cooling Load Factors) ซึ่งได้มาจากจำนวนชั่วโมงในการใช้งานในอาคารที่มีวัสดุผิวโดยรอบ และมีอัตราการระบายอากาศที่ออกแบบ

สูตรการคำนวณ (Stein et al., 1986)

$$q = input * CLF$$

(9)

q = ปริมาณความร้อนจากหลอดไฟ (Btu/h)

input = กำลังส่องสว่างต่อตารางเมตรคูณพื้นที่ใช้สอย (Btu/h)

CLF = ค่าผันแปรภาระทำความเย็นของหลอดไฟ (Cooling Load Factor)

2.3.5 การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ พิจารณาจากค่า Coefficient of Performance (COP) หรือ Energy Efficiency Ratio (EER) เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อปรับอากาศน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งจะมีผลต่อภาระการทำความเย็น และส่งผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศหาได้จาก อัตราส่วนของพลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศต่อพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

COP = พลังงานความเย็นที่ได้รับจากเครื่องปรับอากาศต่อพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (Watt)/พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้

EER = พลังงานความเย็นที่ได้รับจากเครื่องปรับอากาศต่อพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (Btu/hr)/พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้

ปริมาณความร้อนจากอุปกรณ์สามารถหาได้จากผลรวมของความร้อนสัมผัส (Sensible Load) กับปริมาณความร้อนแฝง (Latent Load) รวมกัน

สูตรการคำนวณ (Stein et al., 1986)

$$q_{\text{appliances}} = q_{\text{Sensible}} + q_{\text{Latent}} \quad (10)$$

$q_{\text{appliances}}$ = ปริมาณความร้อนจากอุปกรณ์ (Btu/h)

q_s = ปริมาณความร้อนสัมผัส (Btu/h)

q_l = ปริมาณความร้อนแฝง (Btu/h)

ปริมาณความร้อนสัมผัส ขึ้นอยู่กับค่าปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นของอุปกรณ์กับค่าผันแปรภาวะทำความเย็นของอุปกรณ์ (Sensible-Heat Cooling Load Factors)

สูตรการคำนวณ (Stein et al., 1986)

$$q_s = \text{Heat gain} * CLF \quad (11)$$

q_s = ปริมาณความร้อนสัมผัส (Btu/h)

Heat gain = ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นของอุปกรณ์ (Btu/h)

CLF = ค่าผันแปรภาวะทำความเย็นของอุปกรณ์ (Cooling Load Factor)

ปริมาณความร้อนแฝงขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ใช้ในอุปกรณ์การทำงาน
สูตรการคำนวณ (Stein et al., 1986)

$$q_l = \text{Heat gain} \quad (12)$$

q_l = ปริมาณความร้อนแฝง (Btu/h)

Heat gain = ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นของอุปกรณ์ (Btu/h)

2.3.6 การรั่วซึมของอากาศ

การรั่วซึมอากาศจากภายนอกผ่านรอยต่อของวัสดุ ช่องเปิด และเปลือกอาคาร การรั่วซึมอากาศเกิดจากความเร็วลมภายนอกอาคารและความแตกต่างของความดันอากาศโดยใช้สูตรดังนี้ (Stein et al., 1986)

สูตรการคำนวณ Sensible Heat Gain from infiltration

$$q_{sensible} = 1.08 * cfm * \Delta T \quad (13)$$

สูตรการคำนวณ Latent Heat Gain from infiltration

$$q_{latent} = 4840 * cfm * \Delta W \quad (14)$$

สูตรการคำนวณ Total Heat Gain from infiltration

$$q_{Total} = 4.5 * cfm * \Delta h \quad (15)$$

- q = ปริมาณความร้อน (Btu/h)
- cfm = ปริมาณอัตราการถ่ายเทอากาศภายนอกที่นำเข้ามาภายในอาคาร (ft³/min)
- Δt = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอก (°F)
- ΔW = ความแตกต่างระหว่างความชื้นภายในและภายนอก (lb/lb_{dry air})
- Δh = ความแตกต่างระหว่างเอนทัลปีภายในและภายนอก (Btu/lb_{dry air})

2.4 ทฤษฎีแนวทางการประเมินความยั่งยืนในอาคาร

2.4.1 รอยเท้านิเวศ (Ecological Footprint)

รอยเท้านิเวศเป็นเครื่องมือเพื่อชี้วัดการพัฒนาที่ยั่งยืนทางเศรษฐศาสตร์นิเวศ และการศึกษาเมืองที่เติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นเครื่องมือที่วัดผลกระทบของมนุษย์บนฐานทรัพยากรของโลก แนวคิดของรอยเท้านิเวศพิจารณาจากผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์และการแทรกแซงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรองรับของระบบนิเวศที่ให้การสนับสนุนหรือดูดซับกิจกรรมของมนุษย์ ในปัจจุบันการบริโภคทรัพยากรพลังงานของโลกอยู่ในอัตราที่มากเกินไปที่โลกจะสามารถผลิตทรัพยากรขึ้นมาทดแทนได้ทันภายในระยะเวลา 1 ปี การคำนวณความต้องการทรัพยากรธรรมชาติของมนุษย์ปัจจุบันใช้วิธีการคำนวณซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

1. พื้นที่ที่มนุษย์ต้องการเพื่อการผลิตอาหาร เส้นใย ไม้ ฯลฯ
2. พื้นที่เพื่อทิ้งของเสีย ซึ่งได้แก่พื้นที่ป่าในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล
3. พื้นที่ที่ต้องเสียไปเพื่อการก่อสร้างทางสถาปัตยกรรม และสิ่งก่อสร้างต่างๆ

รอยเท้าทางนิเวศคือ ขนาดของพื้นที่บนโลกที่มนุษย์ต้องใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งสิ่งที่มนุษย์ต้องการทั้งหมดตั้งแต่เรื่องอาหาร ทรัพยากรต่างๆเช่น ไม้ แร่ธาตุ รวมทั้งกระบวนการจัดการกับของเสียทั้งหมด เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ พืช และสัตว์อื่นๆ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโลก

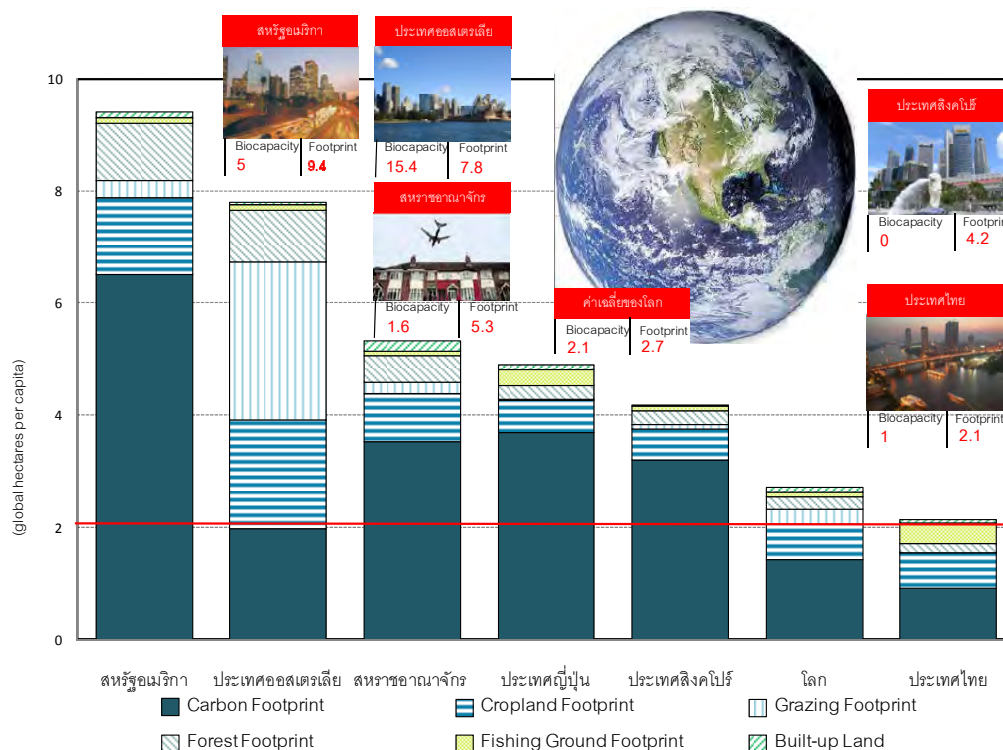


ภาพที่ 2-1 รอยเท้านิเวศ (Ecological Footprint) สามารถวัดภาวะที่ได้รับจากประชากรในระบบธรรมชาติ เป็นการตรวจสอบพื้นที่ในการพัฒนาอย่างยั่งยืนโดยวัดค่าการบริโภคทรัพยากรและการผลิตของเสียและมลพิษ (Wackernagel and Rees, 1962)

ตารางที่ 2-1 แสดงการประเมินรอยเท้านิเวศระดับโลกข้อมูลปี ค.ศ. 2005 (Global Footprint Network, 2008)

พื้นที่ทั้งหมดของโลก	46 พันล้านเฮกตาร์
พื้นที่ที่ใช้ในการผลิต (ความสามารถทางชีวภาพ)	13.4 พันล้านเฮกตาร์
จำนวนประชากรโลก	6.0 พันล้านคน (โดยประมาณ)
ดังนั้น โกลบอลเฮกตาร์ (GHA) ที่เพียงพอสำหรับการดำรงชีวิตของแต่ละคนประมาณ 2.1	

การวัดผลการบริโภคเหล่านี้จะถูกแปรให้เท่ากับขนาดของพื้นที่ที่ให้ผลผลิตทางชีวภาพ เพื่อให้ได้ทรัพยากรธรรมชาติที่ต้องการและเพียงพอที่จะรองรับของเสียดังกล่าว หน่วยในการวัดคือ โกลบอลเฮกตาร์ (Global Hectares - GHA) พื้นที่หนึ่งเฮกตาร์มีขนาด 6.25 ไร่ ค่าเฉลี่ยของรอยเท้าทางนิเวศในระดับโลกคือ 2.7 เฮกตาร์ แต่ค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่บนดินและในทะเลที่มีพื้นที่ที่ให้ผลผลิตทางชีวภาพต่อหนึ่งคนมีเพียง 2.1 เฮกตาร์เท่านั้น ซึ่งยังไม่รวมถึงพื้นที่สำหรับสิ่งมีชีวิตอื่น



แผนภูมิที่ 2-2 แสดงรายละเอียดของรอยเท้านิเวศต่อคนรายประเทศ ข้อมูล ค.ศ. 2005

ประเทศต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ยของรอยเท้าทางนิเวศที่แตกต่างกัน เช่น คน ๆ หนึ่งในสหราชอาณาจักรจะมีคาร์บอนรอยเท้าทางนิเวศโดยเฉลี่ย 5.3 เฮกตาร์ ในขณะที่คน ๆ หนึ่งในประเทศไทยมีคาร์บอนรอยเท้าทางนิเวศอยู่ที่ 2.1 เพิ่มจากปี ค.ศ. 2002 ที่มีคาร์บอนรอยเท้าทางนิเวศ 1.6 เฮกตาร์ จากแผนภูมิที่ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบคาร์บอนรอยเท้าทางนิเวศโดยเฉลี่ยต่อคน กับความสามารถทางชีวภาพของประเทศนั้นๆ ในการรองรับการบริโภคของประชากรในประเทศนั้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีเพียงประเทศออสเตรเลียที่มีขีดความสามารถของทรัพยากรที่สูงอยู่เพียงประเทศเดียวแต่ก็มีคาร์บอนรอยเท้าสูงสูงกว่าระดับเฉลี่ยของโลก

รอยเท้าทางนิเวศเป็นตัวชี้วัดขีดความสามารถทางชีวภาพของธรรมชาติ ซึ่งเป็นขีดความสามารถที่จะตอบสนองต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งความต้องการที่เพิ่มขึ้นของมนุษย์ การวิเคราะห์รอยเท้าทางนิเวศ แสดงให้เห็นความสำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากการวัดคาร์บอนรอยเท้าทางนิเวศส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นรอยเท้าทางนิเวศจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการเปลี่ยนแปลงไปสู่ระบบเศรษฐกิจที่ใช้คาร์บอนในปริมาณต่ำ รอยเท้านิเวศจะทำให้ทราบถึงผลกระทบของกิจกรรมต่างๆต่อระบบสิ่งแวดล้อม การบริโภคทรัพยากร พลังงาน และการสร้างขยะมลภาวะให้แก่สิ่งแวดล้อม ค่าที่ได้จากการวัดรอยเท้าทางนิเวศจะเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถนำไปแปรเป็นค่าของต้นไม้และพื้นที่ของสนามหญ้าที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้

2.4.2 พลังงานสะสม (Embodied Energy)

พลังงานสะสมในวัสดุก่อสร้างเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุก่อสร้าง กระบวนการก่อสร้างและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในมุมมองของนักนิเวศวิทยา ผลกระทบเชิงลบของระบบนิเวศ ไม่สามารถบรรเทาจนกว่าพลังงานจากพื้นผิวโลก อากาศ และอารยธรรมนั้นสร้างขึ้นใหม่ (Makarieva et al., 2008) ความซับซ้อนของโลก ทั้งระบบมนุษย์ ทัศนวิสัยพลังงานสะสม สามารถเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการตัดสินใจในการใช้พลังงานและในส่วนของระบบนิเวศ (Odum, 1996)

พลังงานสะสม (Embodied Energy) คือ เป็นการประเมินค่าพลังงานที่ต้องการในการสกัดวัตถุดิบจากธรรมชาติ รวมถึงพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตทั้งในช่วงปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ ในอาคารพลังงานสะสมรวมที่ใช้ในวัสดุก่อสร้างใช้การแปลงค่าและเปรียบเทียบพลังงานในการผลิตของกระบวนการนั้นๆ เช่น พลังงานที่ใช้ในการขนส่ง พลังงานที่ใช้ในเครื่องจักร แรงงานคน พลังงานไฟฟ้า น้ำ และระยะเวลาที่ใช้งาน

พลังงานสะสมในอาคารแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ในอาคาร

1. พลังงานสะสมเริ่มต้น (Initial Embodied Energy)
2. พลังงานสะสมย้อนกลับ (Recurring Embodied Energy)

พลังงานสะสมเริ่มต้น (Initial Embodied Energy) ในอาคารแสดงถึงการบริโภคพลังงานไม่หมุนเวียน (Non-Renewable Energy) ในกระบวนการได้มาของวัตถุดิบในกระบวนการผลิต การขนส่งไปยังที่ก่อสร้างและการก่อสร้าง โดยพลังงานสะสมเริ่มต้นนี้ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ

- พลังงานทางตรง (Direct Energy) พลังงานที่ใช้ในการขนส่งสินค้าวัสดุอาคารไปยังพื้นที่ก่อสร้าง และการก่อสร้างอาคาร
- พลังงานทางอ้อม (Indirect Energy) พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้างรวมถึงการขนส่งที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมเหล่านี้

พลังงานสะสมย้อนกลับ (Recurring Embodied Energy) ในอาคาร แสดงการบริโภคพลังงานไม่หมุนเวียนสำหรับการบำรุงรักษาซ่อมแซมหรือการเปลี่ยนวัสดุส่วนประกอบงานระบบตลอดช่วงชีวิตของอาคาร อาคารที่มีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมาก อัตราส่วนของพลังงานสะสม (Embodied Energy) กับชีวิตของอาคาร (Lifetime) จะเพิ่มมากขึ้น โดยอาคารที่ไม่ใช้พลังงาน (Zero Energy) หรืออาคารที่อยู่ได้ด้วยตัวเอง (Autonomous) จะต้องพิจารณาพลังงานในการก่อสร้าง และการกำจัดขั้นสุดท้าย (Disposal) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญในการพิจารณา (Cole and Kernan, 1996) พลังงานสะสม (Embodied Energy) จะวัดปริมาณของพลังงานไม่หมุนเวียนต่อหน่วยของวัสดุอาคาร โครงสร้าง งานระบบ เช่นอาจแสดงเป็น Mega joules (MJ) หรือ Gigajoules (GJ) ต่อหน่วยน้ำหนัก (กิโลกรัมหรือต่อตัน) หรือพื้นที่ (ตารางเมตร) โดยการวัดค่าพลังงานสะสม จะเชื่อมโยงต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม ก๊าซเรือนกระจก สิ่งแวดล้อมที่ถูกทำลาย และการถดถอยของความหลากหลายทางชีวภาพ

2.4.3 ความคงทนถาวร (Durability)

ความคงทนถาวรของอาคารเป็นปัจจัยในสถาปัตยกรรมยั่งยืน ความคงทนถาวร ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดความยั่งยืน อาทิเช่น กรอบอาคารเมื่อสร้างขึ้นมาจะมีอายุยืนเท่ากับอายุการใช้งานของอาคาร เพราะเป็นส่วนป้องกันและควบคุมสภาวะอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย ส่วนประกอบอาคารที่ถาวรที่มีวัตถุประสงค์เพื่ออยู่ถึงตามช่วงอายุอาคารโดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงสร้างของอาคารหรือระบบโครงสร้าง ในรูปแบบการก่อสร้างแบบระบบการก่อในอดีต พบว่า โครงสร้างเป็นส่วนหนึ่งของผิวอาคาร แต่ในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้างเกิดระบบผนังแบบใหม่ ซึ่งสามารถสร้างผนังเป็นกรอบอาคารได้ทั้งหมด ทำให้เกิดการแยกกันระหว่าง โครงสร้างกับผนังในการพิจารณาความคงทนถาวรของผิวอาคาร ซึ่งโดยความเป็นจริงนั้นวัสดุแต่ละประเภทจะมีอายุต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นงานระบบ งานฐานราก และหลังคา แต่สามารถใช้อายุโครงสร้างอาคารในการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตอาคารได้

ตารางที่ 2-2 แสดงการจัดแบ่งลำดับรูปแบบการออกแบบอายุของโครงสร้าง ของ EN 1990: 2002 (Sarja, 2006)

Class1: 1-5 ปี	โครงการเฉพาะกิจเพื่อเป็นอาคารชั่วคราว
Class2: 25 ปี	อาคารชั่วคราว ตัวอย่างเช่น อาคารเก็บของ อาคารที่พักอาศัยชั่วคราว
Class3: 50 ปี	อาคารโดยทั่วไป
Class4: 100 ปี	อาคารพิเศษ สะพาน โครงสร้างพื้นฐานของอาคาร หรือ การออกแบบที่มีการคำนวณตามความต้องการเพื่อความปลอดภัยเป็นต้น
Class5: มากกว่า 100 ปี	อาคารพิเศษ ตัวอย่างเช่น อนุสรณ์สถาน อนุสาวรีย์ อาคารที่มีความสำคัญมาก

จากตารางที่ 2-2 พบว่าอาคารโดยทั่วไปมีอายุการใช้งานประมาณ 50 ปี ซึ่งตลอดอายุการใช้งานของอาคารนั้น อาคารต้องมีการใช้พลังงานเพื่อสร้างความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านรูปแบบการใช้สอย คุณภาพอากาศ คุณภาพเชิงอุณหภูมิ โดยสิ่งเหล่านี้ล้วนแต่ใช้พลังงาน และการใช้งานอาคารยังก่อให้เกิดของเสียตลอดอายุการใช้งานของอาคารอีกด้วย ดังนั้นอาคารและสิ่งก่อสร้างในกรอบความคิดเพื่อความยั่งยืนจึงต้องคำนึงถึง ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการออกแบบ การใช้งาน และการรื้อถอนทำลาย ซึ่งอาคารเป็นส่วนหนึ่งของการบริโภคทรัพยากรอย่างมหาศาล และเป็นส่วนหนึ่งของการแสดงพฤติกรรมของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดการบริโภคทรัพยากร พลังงาน และการปลดปล่อยของเสียต่อสิ่งแวดล้อม

2.4.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการในการประเมินการะด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรมโดยระบุปริมาณพลังงาน วัสดุที่ใช้ และของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมหนึ่ง เพื่อประเมินผลกระทบของพลังงาน วัสดุที่ใช้ และการปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมเพื่อบ่งชี้ ประเมินโอกาสที่จะปรับปรุงผลกระทบสิ่งแวดล้อม การประเมินผลรวมทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการหรือกิจกรรมครอบคลุม การสกัดและแปรรูปวัตถุดิบ การบำรุงรักษา ผลิต การขนส่ง และการกระจาย การใช้งาน การนำกลับมาใช้ใหม่ การรีไซเคิล และการกำจัดขั้นสุดท้าย (SETAC, 1993)

International Energy Agency (IEA) เป็นองค์กรพลังงานระหว่างประเทศที่กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับ พลังงานและความปลอดภัย การพัฒนาเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมโดยมุ่งเน้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้ดีขึ้น และให้ความสำคัญในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ได้ระบุประเภทของเครื่องมือในการประเมินสิ่งแวดล้อมออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

- ซอฟต์แวร์แบบจำลองด้านพลังงาน (Energy program software)
- การประเมินวัฏจักรชีวิตสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Assessment)
- การประเมินสิ่งแวดล้อม (Environment Assessment)
- เกณฑ์การออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อมและการบริหารอาคาร
- การออกแบบผลิตภัณฑ์รักษาสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์ฉลากเขียว

โดยระบุไว้ว่าแบบประเมินสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตสิ่งแวดล้อม และการประเมินสิ่งแวดล้อม เป็นแบบประเมินเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Reijnders and van Roekel, 1999)

แบบประเมินเชิงคุณภาพมีลักษณะเพื่อตรวจสอบข้อมูลโดยทั่วไปของอาคาร ตามด้วยคะแนนของเกณฑ์ประเมินผลอาคาร ผลสรุปรวมของคะแนนสำหรับประสิทธิภาพ เกณฑ์ที่ใช้ในเครื่องมือเชิงคุณภาพมักจะถูกเปิดให้ตีความโดยผู้ประเมิน และข้อตกลงของบุคคลที่สามที่เป็นกลาง (Cole, 2005) เครื่องมือการประเมินเชิงปริมาณได้แก่ Envest ของสหราชอาณาจักร Eco Quantum จากเนเธอร์แลนด์และ ATHENA จากแคนาดา การประเมินเชิงปริมาณจะรวมถึงเกณฑ์การประเมินเชิงคุณภาพ ซึ่งมีความแม่นยำมากขึ้น สามารถอธิบายของเกณฑ์คุณภาพเพื่อลดความสับสน นอกจากนี้การนำเสนอของผลการประเมินทำให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างคะแนนที่ได้จากเกณฑ์คุณภาพและเชิงปริมาณ (Cole, 2005)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เป็นส่วนหนึ่งของอนุกรมมาตรฐาน 14040 ซึ่งเป็นอนุกรมมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environment Management Standard) LCA เป็นเครื่องมือวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตหรือกิจกรรมต่างๆ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต การใช้งาน การบำรุงรักษา การใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยศึกษาถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อหาวิธีการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด LCA ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการสิ่งแวดล้อม

เนื่องจาก LCA เป็นวิธีประเมินและวิเคราะห์เชิงปริมาณแบบวิทยาศาสตร์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นศูนย์กลางและมองปัญหาในภาพรวมของสิ่งแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้

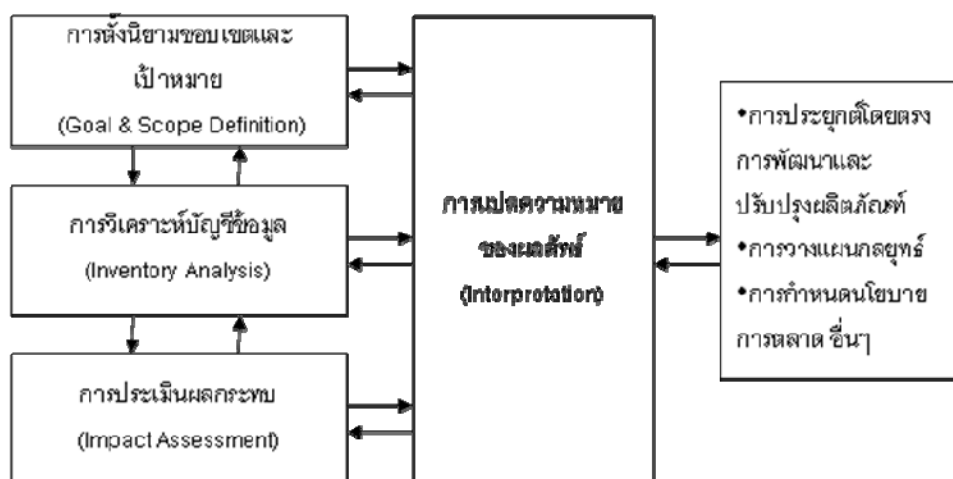
ตารางที่ 2-3 แสดงอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA อยู่ใน ISO 14040

มาตรฐานเลขที่	หัวข้อ
ISO 14041	general principles & practices
ISO 14042	Life cycle inventory analysis
ISO 14043	Life cycle impact assessment
ISO 14044	Life cycle improvement assessment

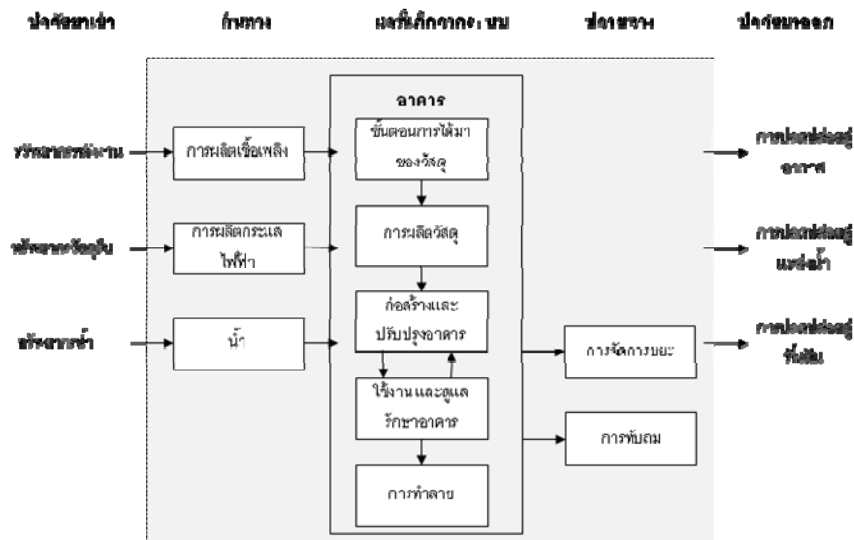
(ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2552)

การประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ได้แก่

- การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)
- การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)
- การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)
- การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)



ภาพที่ 2-2 แสดงกรอบการดำเนินงาน LCA ตามขั้นตอนในมาตรฐาน ISO 14040 (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2552)



ภาพที่ 2-3 แสดงวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยแสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงาน วัสดุและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดอายุอาคาร

LCA เป็นวิธีการประเมินเชิงปริมาณของการใช้ทรัพยากร ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศของผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร จากภาพที่ 2-3 ทำให้สามารถเข้าใจกระบวนการของระบบวัฏจักรชีวิตอาคารที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมตลอดอายุการใช้งานจนกระทั่งเป็นขยะ การออกแบบอาคารและการเลือกวัสดุจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง และการออกแบบอาคารที่ยั่งยืนจึงควรจะต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างการใช้งานอาคารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดอายุการใช้งานอาคาร

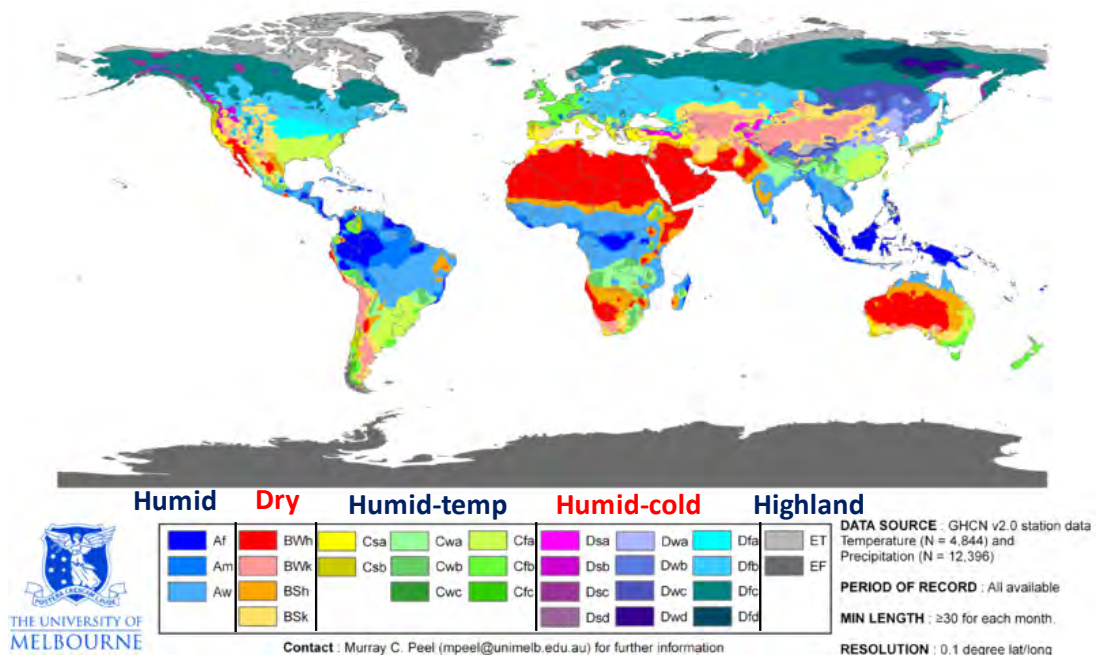
การประเมินวัฏจักรชีวิตถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญในกรอบนิเวศวิทยา เป็นส่วนส่งเสริมดัชนีสิ่งแวดล้อมเพื่อแสดงผลรวมของผลกระทบต่อเป้าหมายของระบบ ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบกับก๊าซเรือนกระจก (Pataki et al., 2009) วัฏจักรชีวิตมีเนื้อหาของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแตกต่างของมาตราวัดเชิงพื้นที่ต่างๆ (Ulgiati et al., 2006) การถกเถียงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ส่วนหนึ่งมาจากสารขาออกที่ขจัดผลกระทบในขณะที่การวิเคราะห์พลังงานสะสมส่วนมากมาจากสารขาเข้า ในกรอบการศึกษาที่พัฒนาโดย Bai (2007) องค์ประกอบที่สำคัญระหว่าง การวิเคราะห์พลังงานสะสมและการประเมินวัฏจักรชีวิต ทำให้นักวิจัยได้มีส่วนร่วมต่อแนวทางสังเคราะห์ใหม่ ซึ่งเชื่อมโยงพลังงานสะสมของภูมิภาคเป็นหลัก กับผลิตภัณฑ์เป็นหลัก (Oriented LCA) Brown และ Buranakarn (2003) ประมวลผลการใช้พลังงานในอาคารโดยทฤษฎีวัฏจักรชีวิต พบว่าการใช้พลังงานในอาคารจะมีปริมาณการใช้พลังงานเกิดขึ้นมากที่สุด 60-90% ในช่วงการใช้งานอาคารอายุอาคารระหว่าง 30-50 ปี การ

วิเคราะห์วงจรชีวิตของอาคาร ถือเป็นเครื่องมือที่ดีที่สุด เพราะสามารถตรวจสอบตลอดวัฏจักรชีวิตอาคารในส่วนของผลกระทบสิ่งแวดล้อม แทนที่จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่ง ช่วยให้ประเมินผลสมบูรณ์ในการวัดเชิงปริมาณได้อย่างมาก

2.5 แบบประเมินอาคารที่ใช้ในภูมิภาคต่างๆที่ใช้ในการวิจัย

ตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการออกแบบอาคารถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรก “เพื่ออธิบายความหมายและสร้างความเข้าใจในเรื่องการประเมินอาคารเชิงสิ่งแวดล้อม พร้อมประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากอาคาร” โดย Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) (Crawley and Aho, 1999) BREEAM เป็นเครื่องมือการประเมินอาคารเชิงพาณิชย์ในการประเมินอาคารเชิงสิ่งแวดล้อม ก่อตั้งในปี ค.ศ.1990 ในสหราชอาณาจักร (Grace, 2000) หลังจากนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินอาคารต่างๆก็เริ่มเปิดตัวทั่วโลก เช่น Doe, 1996/2006 IEA Annex 31, 2001 (Reijnders and van Roekel, 1999) เครื่องมือเหล่านี้ช่วยเพิ่มความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างและเป็นทิศทางของภาคอุตสาหกรรมสิ่งก่อสร้างเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมุ่งสู่ความยั่งยืน (Ding, 2008) โดยการประเมินอาคารมีวิธีการแสดงผลที่พิสูจน์ได้จริง ทำให้ประสบความสำเร็จในการประชุมระดับชาติในการประกาศประสิทธิภาพเกณฑ์ต่างๆ (Cole, 2005) ทำให้เกิดความสำคัญ และส่งเสริมการก่อสร้างอาคารเขียวในตลาดการก่อสร้างอาคาร เพิ่มความสำคัญโดยตระหนักถึงส่วนรวมและมีมุมมองเรื่องคุณภาพของอาคาร (Cole, 2005) ซึ่งได้รับการยืนยันจากจำนวนที่เพิ่มขึ้นของผู้ใช้อาคารที่มีความต้องการข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมอาคารเช่น อาคารสร้างสุขภาพต่อผู้อยู่อาศัย หรือสร้างความเหมาะสมของความยั่งยืนในสังคม (Carlson and Lundgren, 2002)

การเลือกตัวอย่างแบบประเมินในการศึกษานี้พิจารณาจากความแตกต่างของพื้นที่ในสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน ที่เป็นต้นกำเนิดของแบบประเมินอาคารต่างๆ ทำให้สามารถทราบถึงความหลากหลายของข้อมูลในแบบประเมินสำหรับการวิจัย โดยอาศัยเกณฑ์การพิจารณาจาก Koppen และ Geiger ได้ทำการแบ่งเขตภูมิอากาศรอบโลก โดยใช้ความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศกับพืชพันธุ์เป็นบรรทัดฐาน สามารถสรุปโดยแบ่งเป็น 5 เขตภูมิอากาศพื้นฐาน คือ เขตร้อนชื้น เขตแห้ง เขตอบอุ่น เขตหนาว และเขตขั้วโลกตามภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 แสดงการจำแนกแบบประเมินอาคารต่างๆตามสภาพภูมิอากาศ

(Wikipedia, 2010: online)

วิเคราะห์ความแตกต่างของที่ตั้งทางด้านภูมิประเทศ ภูมิอากาศเพื่อเป็นเกณฑ์ในการเลือกแบบประเมินอาคาร สำหรับการศึกษาและการวิจัย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบประเมินอาคาร 6 ประเทศ ได้แก่ สหราชอาณาจักร ประเทศญี่ปุ่น ประเทศสิงคโปร์ ประเทศออสเตรเลีย ประเทศไทย และสหรัฐอเมริกา โดยแบบประเมินของแต่ละประเทศเป็นที่ยอมรับแพร่หลายในการใช้งานระดับสากล การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรในการประเมินอาคารต่างๆ ทำให้พบปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบประเมินอาคารของแต่ละภูมิภาคเพื่อใช้เป็นต้นแบบและเป็นข้อมูลอ้างอิงในการพัฒนาแบบประเมินสำหรับอาคารเชิงนิเวศในประเทศไทย โดยจำแนกภูมิอากาศของแต่ละประเทศในการศึกษาแบบประเมินอาคารดังแสดงในตารางที่ 2-4



ภาพที่ 2-5 แสดงที่ตั้งของประเทศของแบบประเมินต่างๆตามสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน (Skyandtelescope, 2008: online)

ตารางที่ 2-4 แสดงที่ตั้งและจำแนกภูมิอากาศของแต่ละประเทศในการศึกษาแบบประเมินอาคาร

ประเทศ (เมือง) Country (City)	แบบประเมินอาคาร (Building Assessment)	ละติจูด / ลองจิจูด (Latitude / Longitude)	ภูมิอากาศ (Climate)
สหราชอาณาจักร (London)	BREEAM	51.15°N / 0.10°W	เขตอบอุ่น
ประเทศญี่ปุ่น (Tokyo)	CASBEE	35.68°N / 139.69°E	เขตอบอุ่น
ประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar)	Green Mark	1.37°N / 103.90°E	เขตร้อนชื้น
ประเทศออสเตรเลีย (Sydney)	Green Star	33.86°S / 151.19°E	เขตแห้ง
ประเทศไทย (Bangkok)	TEEAM	13.73°N 100.50°E	เขตร้อนชื้น
สหรัฐอเมริกา (New York Laguardia)	LEED	40.76°N / 73.90°W	เขตอบอุ่น

2.5.1 แบบประเมินอาคารของประเทศอังกฤษ BREEAM (Building Research Establishment Energy and Environmental Assessment Method)

เป็นมาตรฐานของสหราชอาณาจักรที่พัฒนาขึ้นโดยองค์กรวิจัยอาคาร (The Building Research Establishment: BRE) สร้างขึ้นมาเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาพรวม และเป็นเครื่องมือในการประเมินมาตรฐานอาคารเพื่อสิ่งแวดล้อม (Building Environmental Assessment Tool) โดยแบ่งแบบประเมินตามประเภททั้งการปรับปรุงอาคารเก่าและอาคารที่สร้างใหม่

โดยแบ่งแบบประเมินตามประเภทอาคารดังนี้ BREEAM: Ecohomes, BREEAM: Multi residential, BREEAM: Courts, BREEAM: Education, BREEAM: Industrial, BREEAM: Healthcare, BREEAM: Prisons, BREEAM: Offices และ BREEAM: Retail

แบ่งการประเมินในหัวข้อดังนี้

- พลังงาน (Energy)
- การขนส่ง (Transport)
- วัสดุ (Materials)
- น้ำ (Water)
- การใช้ที่ดินและระบบนิเวศ (Land Use and Ecology)
- สุขภาพและคุณภาพชีวิต (Health and Well Being)
- การจัดการ (Management)

การจัดลำดับในการให้คะแนนแบ่งเป็น 4 ระดับ ผ่านเกณฑ์ (Pass) ต้องมีคะแนนถึง 36 คะแนนขึ้นไป ระดับดี (Good) มีระดับคะแนน 48 ระดับดีมาก (Very Good) มีระดับคะแนน 58 ระดับยอดเยี่ยม (Excellent) มีระดับคะแนน 70

2.5.2 แบบประเมินอาคารของประเทศญี่ปุ่น CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)

เป็นแบบประเมินได้รับการพัฒนาจากหน่วยงาน Japan Sustainable Building Consortium (JSBC) ระบบการประเมินประสิทธิภาพสภาพแวดล้อมของสิ่งก่อสร้าง CASBEE มีการแบ่งการประเมินตามประเภทอาคารดังนี้

1. CASBEE for New Construction
2. CASBEE for Renovation
3. CASBEE for Urban Development
4. CASBEE for Urban Area+ Buildings
5. CASBEE for Home (Detached House)

ระบบประเมินอาคารแบ่งออกเป็น 2 ภาค คือภาคคุณภาพ (Q - Quality) และภาคภาระ (L- Environment Loading) แล้วคำนวณค่าดัชนีมาตรฐานอาคารโดยนำค่า Q หารด้วยค่า L ดังนั้นอาคารที่มีคุณภาพสูงสอดคล้องต่อมาตรฐานคุณภาพอาคารก็จะมีค่า Q สูง ส่วนอาคารที่สร้างแล้วไม่ก่อปัญหาภาระในการก่อสร้างก็จะคำนวณได้ค่า L ต่ำ หากค่า Q สูงและค่า L ต่ำ ก็จะได้ค่าดัชนีที่สูงเมื่อนำไปลงในตารางมาตรฐานก็สามารถระบุระดับมาตรฐานอาคารได้ว่าเป็น 5 ระดับ คือ C เป็นระดับต่ำที่สุดและค่อยๆ ขยับขึ้นตามลำดับดังนี้ B- B+ A และ S หรือ Sustainable building ดัชนีนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อสามารถพิจารณาครอบคลุมทุกด้านอย่างละเอียด ทั้งด้านการรักษาสิ่งแวดล้อมของผู้ใช้อาคาร และมาตรฐานบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร พร้อมกับพิจารณาเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Economic and Ecological Design)

2.5.3 แบบประเมินอาคารของประเทศสิงคโปร์ GREENMARK

พัฒนาโดย Singapore Building Construction Authority Green Mark for Air-conditioned Building สำหรับอาคารประเภทอาคารสำนักงาน อาคารสาธารณะ อาคารเพื่อการศึกษา ที่ใช้เครื่องปรับอากาศ Green Mark for Residential Building และ Green Mark for non-resident Buildings แบ่งออกเป็นที่ใช้เครื่องปรับอากาศและที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ

Green Mark เป็นดัชนีที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนของอุตสาหกรรมอาคารออกแบบและก่อสร้างโดยตระหนักถึงผลกระทบที่เกิดกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงต่อ นักพัฒนาโครงการ ผู้ออกแบบ และผู้รับเหมาก่อสร้างเมื่อเริ่มกระบวนการทั้งก่อนและระหว่างกรก่อสร้างอาคาร โดยมีตัวแปรในการประเมินดังนี้

- กลุ่มบริหารอาคาร (Building Management)
- กลุ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficient)
- กลุ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Efficient)
- กลุ่มคุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคารและการรักษาสุขภาพแวดล้อม (Indoor Environmental Quality Performance & Environment Protection)
- กลุ่มนวัตกรรม (Innovation)

การจัดลำดับในการให้คะแนนแบ่งเป็น 4 ระดับคือ กรีนมาร์ค แพลตตินัม (Green Mark Platinum) มีระดับคะแนนตั้งแต่ 85 ขึ้นไป กรีนมาร์ค โกลด์ พลัส (Green Mark Gold plus) มีระดับคะแนน 80-85 กรีนมาร์ค โกลด์ (Green Mark Gold) มีระดับคะแนน 75-80 กรีนมาร์ค อะวอร์ด (Green Mark Award) มีระดับคะแนน 55-70 ซึ่งเป็นดัชนีที่มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงาน และน้ำเป็นหลัก โดยอาศัยเทคโนโลยีและการจัดการเข้ามามีบทบาทสำคัญในการให้คะแนน เนื่องจากประเทศสิงคโปร์เป็นประเทศที่ต้องซื้อพลังงานจากนอกประเทศมาใช้ ดังนั้นการใช้มาตรการต่างๆจึงมีความจำเป็นสูงในระบบการพัฒนาประเทศ

2.5.4 แบบประเมินอาคารของประเทศออสเตรเลีย Green Star

ได้รับการพัฒนาโดย The Green Building Council of Australia โดยแบ่งออกเป็น Green Star Retail Centre Green Star Education Green Star Office (Design/As built/Interior) Green Star Multi Resident Green Star Healthcare Green Star Industrial Green Star Mixed Use

โดยมีหัวข้อที่ใช้ในการประเมิน 9 ข้อ ได้แก่

- การจัดการ (Management)
- คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายใน (Indoor Environmental Quality)
- พลังงาน (Energy)
- การขนส่ง (Transportation)
- การใช้น้ำ (Water)
- วัสดุ (Materials)
- การใช้ที่ดินและระบบนิเวศ (Land Use & Ecology)
- การปลดปล่อยก๊าซต่างๆ (Emissions)
- นวัตกรรม (Innovation)

การจัดลำดับในการให้คะแนนแบ่งเป็น 3 ระดับ เรียงจากระดับคะแนนน้อยที่สุดถึงมากที่สุด ได้แก่ ไพร์สตาร์ (4 Star: Best Practice) ไพร์สตาร์ (5 Star: Australia Excellence) ซิกซ์สตาร์ (6 Star: World Leadership)

2.5.5 แบบประเมินอาคารของสหรัฐอเมริกา LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

แบบประเมินที่ได้รับการพัฒนาโดย United States Green Building Council (USGBC) ระบบการประเมินความเป็นผู้นำการออกแบบด้านพลังงานและสภาพแวดล้อม LEED เป็นมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ระบบประเมินอาคารที่พัฒนาโดย USGBC ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 โดยแบ่งออกเป็น LEED NC, LEED EB, LEED CI, LEED Core & Shell, LEED Schools, LEED Retail, LEED Healthcare และ LEED Home

LEED มีพื้นฐานจากการคำนึงถึงการออกแบบตัวอาคารเพื่อประหยัดพลังงานเป็นหลัก โดยกำหนดนโยบายหลักคือการลดการใช้พลังงานในอาคารให้น้อยลง และสร้างแรงจูงใจที่เช่น การอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพสามารถลดภาษีได้ หรือเป็นการส่งเสริมการขายของอาคารที่มีการออกแบบที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม LEED เป็นแบบประเมินอาคารที่นำมาใช้ได้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การก่อสร้าง และการใช้งาน โดยมีหัวข้อที่ใช้ในการประเมิน 8 ข้อ ได้แก่

- ความสัมพันธ์กันระหว่างที่ตั้งและจุดเชื่อมต่อการขนส่ง (Location & Linkages)
- สถานที่ตั้ง (Site)
- ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Efficiency)
- คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารและการรักษาคุณภาพแวดล้อม (Indoor Environmental Quality & Environmental Protection)
- วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง (Material)
- ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (Energy Efficiency)
- การตระหนักถึงและการให้ความรู้ของผู้ใช้อาคาร (Awareness and Education)
- นวัตกรรม (Innovation)

LEED มีการจัดลำดับและให้คะแนนโดยแบ่งออกเป็น 4 อันดับ ได้แก่ ระดับแพลตตินัม (Platinum) ซึ่งเป็นอันดับสูงสุดคือ ระดับโกลด์ (Gold) ระดับซิลเวอร์ (Silver) และระดับสุดท้าย คือ ระดับเซอร์ติฟิเคท (Certified) โดยดัชนี LEED ถือได้ว่าเป็นแม่แบบในการริเริ่มการประหยัดพลังงานในอาคาร โดยมีพื้นฐานจากการคำนึงถึงการออกแบบตัวอาคารเพื่อประหยัดพลังงานเป็นหลัก เนื่องจากความต้องการในการลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าในภาพรวม มีการกำหนดเป็นนโยบาย

หลักเพื่ออนุรักษ์การใช้พลังงานในอาคารให้น้อยลง และมีแรงจูงใจทางด้านตัวแปรเศรษฐกิจเป็นตัวผลักดัน เช่นการลดภาษี การส่งเสริมการขาย การสร้างความภูมิใจให้กับอาคารของตนโดยการได้ชื่อเสียงและสิทธิพิเศษต่างๆ ซึ่งต่อมาดัชนี LEED ได้นำแนวความคิดทางด้านสิ่งแวดล้อมเข้ามาเสริมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การก่อสร้าง การใช้งาน โดยที่การใช้งานในอาคารเป็นช่วงที่อาคารใช้พลังงานและทรัพยากรมากที่สุด

2.5.6 แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมประเทศไทย TEEAM (Thailand Energy and Environment Assessment Method)

เป็นแบบประเมินที่ได้รับการพัฒนามาจากสถาบันวิจัยพลังงาน และภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จัดทำโครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานโดยมีแนวทางการประเมินเริ่มจาก การพัฒนาแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับประเทศไทย (Thailand Energy and Environment Assessment Method: TEEAM) ในปี พ.ศ. 2549 และพัฒนาเป็นคะแนนในการติดฉลากให้กับอาคารตามช่วงคะแนนตามเกณฑ์ในแต่ละระดับตามกำหนด โดยแบ่งเป็นระดับดีเด่นจะได้รับฉลากทอง ระดับดีมากฉลากเงิน ระดับดีฉลากทองแดง



ภาพที่ 2-6 แสดงตัวอย่างฉลากอาคารตามโครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

แบบประเมินนี้ถูกพัฒนาคล้ายคลึงกับแบบประเมินอาคารของ LEED สหรัฐอเมริกา เพื่อมีจุดมุ่งหมายในการใช้งานที่แพร่หลายและง่ายต่อการนำไปใช้ และมีมาตรฐานสูงกว่ากฎหมายอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีหัวข้อที่ใช้ในการประเมิน 9 หัวข้อ ได้แก่

- สถานที่ตั้ง
- ผังบริเวณและงานสถาปัตยกรรม
- เปลือกอาคาร
- ระบบปรับอากาศ
- ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง
- ระบบธรรมชาติและพลังงานทดแทน
- ระบบสุขาภิบาล
- วัสดุและการก่อสร้าง
- เทคนิคการออกแบบและกลยุทธ์ประหยัดพลังงาน/รักษาสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันมีการจัดทำร่างหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว (ฉบับร่าง - มิถุนายน 2552) โดยสมาคมสถาปนิกสยาม กับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาแนวคิดเรื่อง “อาคารเขียว” ในประเทศไทย โดยมีหมวดในการประเมินอาคารแบ่งเป็น 8 หมวดดังนี้

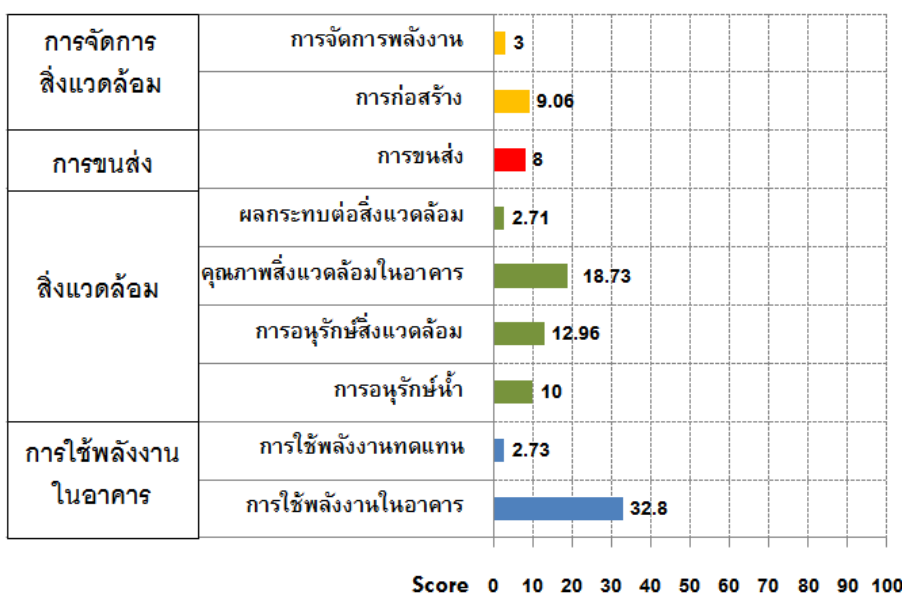
- การบริหารจัดการอาคาร
- ผังบริเวณและภูมิทัศน์
- การอนุรักษ์น้ำ
- การใช้ทรัพยากรและบรรยากาศ
- วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง
- คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร
- การป้องกันของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร
- นวัตกรรม

สรุปการให้ค่าดัชนีต่างๆของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันโดยสามารถแบ่งกลุ่มการศึกษาออกเป็น 4 หัวข้อได้แก่

1. การจัดการสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยการจัดการพลังงาน การก่อสร้าง การสร้างแผนในการปฏิบัติงานดูแลการก่อสร้างและการใช้งานอาคาร
2. การขนส่ง เป็นการคำนึงถึงระยะการเดินทางจากพื้นที่โครงการถึงระบบขนส่งมวลชนหรือสาธารณูปโภค สาธารณูปการ
3. สิ่งแวดล้อมเป็นการตระหนักถึงคุณภาพของสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นสิ่งแวดล้อมภายในอาคารและสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร การอนุรักษ์น้ำ การจัดเก็บของเสีย การเลือกใช้วัสดุอาคารที่มาจากกรรีไซเคิล การนำกลับมาใช้ใหม่ รวมไปถึงการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปซึ่งร่นระยะเวลาในการก่อสร้าง การลดการใช้สารที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษในบรรยากาศโลก
4. การใช้พลังงานในอาคาร เป็นการลดการใช้พลังงานในอาคารโดยการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงาน และการใช้พลังงานทดแทนมาใช้แทนหรือใช้ร่วมกันเพื่อลดการใช้พลังงาน

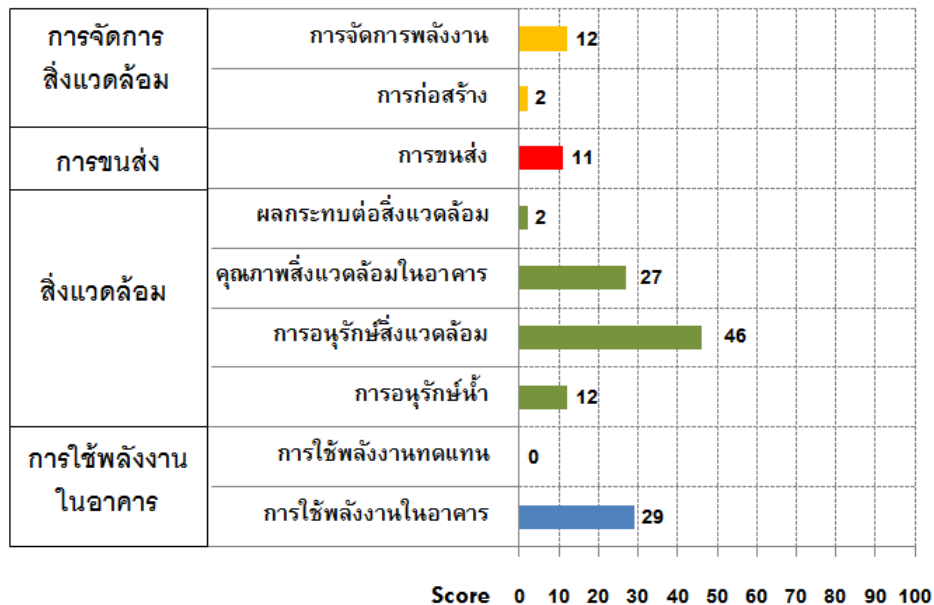
โดยจากแผนภูมิที่ 2-4 ถึง แผนภูมิที่ 2-10 จะแสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักในการประเมินอาคารของประเทศต่างๆที่ศึกษา

BREEAM (ประเทศอังกฤษ)



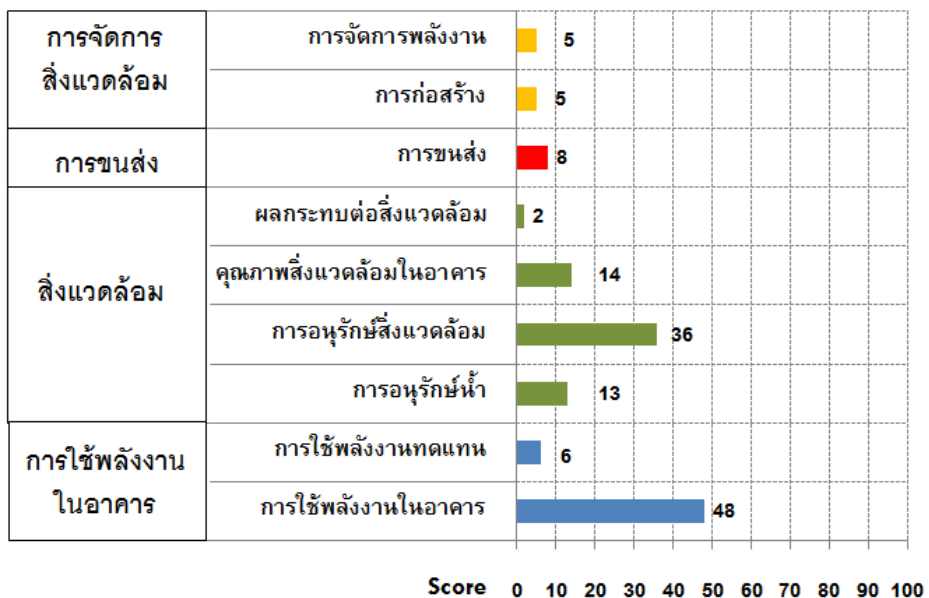
แผนภูมิที่ 2-3 แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศอังกฤษโดยมีการให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 35.53

Green Star (ประเทศออสเตรเลีย)



แผนภูมิที่ 2-6 แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศออสเตรเลียโดยมีการให้น้ำหนักด้านสิ่งแวดล้อมประมาณร้อยละ 87

LEED (ประเทศสหรัฐอเมริกา)



แผนภูมิที่ 2-7 แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศสหรัฐอเมริกาโดยมีการให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 54

TEEAM (ประเทศไทย)

การจัดการ สิ่งแวดล้อม	การจัดการพลังงาน	2
	การก่อสร้าง	3
การขนส่ง	การขนส่ง	4
สิ่งแวดล้อม	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	8
	คุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคาร	3
	การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	27
	การอนุรักษ์น้ำ	3
การใช้พลังงาน ในอาคาร	การใช้พลังงานทดแทน	12
	การใช้พลังงานในอาคาร	71

Score 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

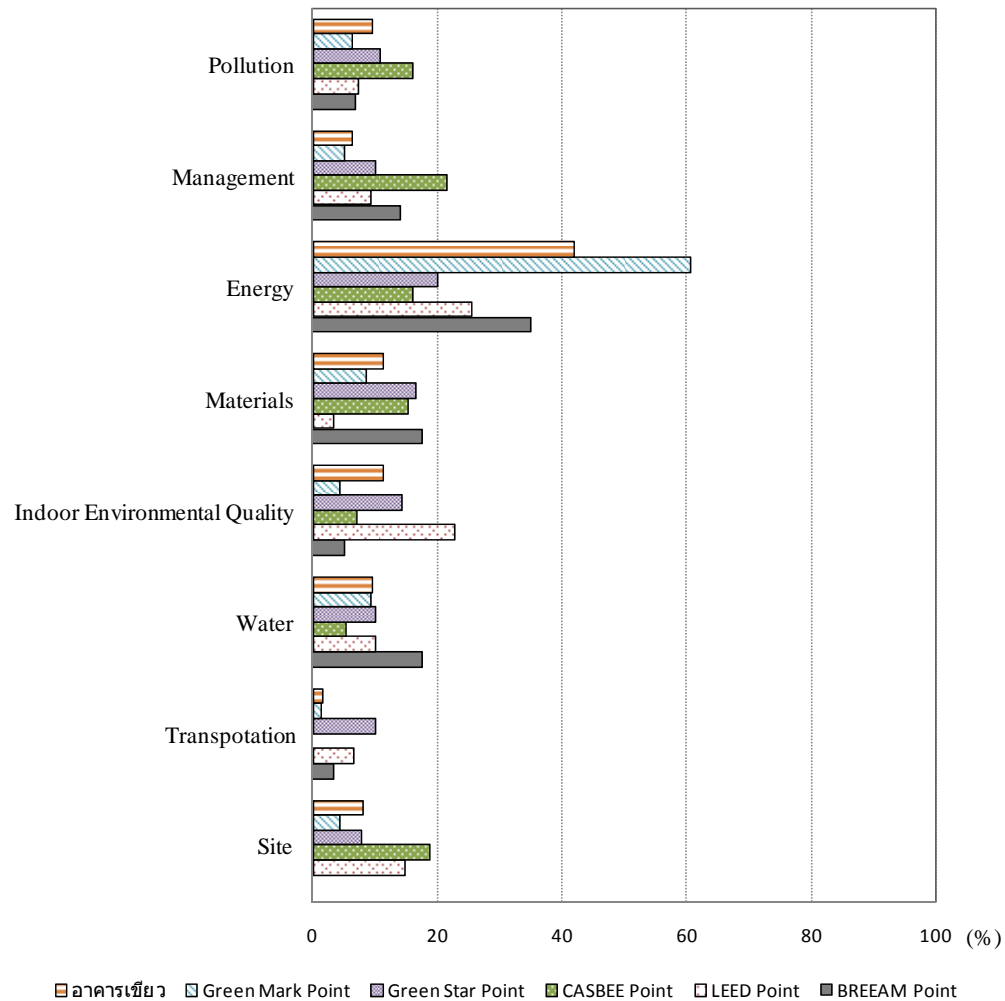
แผนภูมิที่ 2-8 แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศไทย (TEEAM) โดยมีกรให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 83

อาคารเขียว (ประเทศไทย)

การจัดการ สิ่งแวดล้อม	การจัดการพลังงาน	4
	การก่อสร้าง	1
การขนส่ง	การขนส่ง	1
สิ่งแวดล้อม	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	8
	คุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคาร	7
	การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	7
	การอนุรักษ์น้ำ	6
การใช้พลังงาน ในอาคาร	การใช้พลังงานทดแทน	2
	การใช้พลังงานในอาคาร	26

Score 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

แผนภูมิที่ 2-9 แสดงเกณฑ์การให้น้ำหนักของการประเมินอาคารของประเทศไทย (อาคารเขียว) โดยมีการให้น้ำหนักด้านการใช้พลังงานในอาคารประมาณร้อยละ 28



แผนภูมิที่ 2-10 แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์การให้น้ำหนักในรายละเอียดหัวข้อต่างๆในแบบประเมินแต่ละประเทศโดยมี 8 หัวข้อ ได้แก่ มลภาวะ (Pollution) การจัดการ (Management) พลังงาน (Energy) วัสดุ (Materials) คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality) น้ำ (Water) การขนส่ง (Transportation) ที่ตั้ง (Site)

สรุปได้ว่าประเทศที่ให้ความสำคัญด้านพลังงานสูงสุดได้แก่ประเทศสิงคโปร์ (Green Mark) รองลงมาคือประเทศไทย (อาคารเขียว) โดยประเทศญี่ปุ่นจะในเกณฑ์ด้านพลังงานต่ำสุดแต่จะเน้นที่การจัดการสิ่งแวดล้อมและที่ตั้งอาคารเป็นเกณฑ์ เนื่องจากแบบประเมินของประเทศญี่ปุ่นหรือ CASBEE นี้จะคำนึงถึงประโยชน์การใช้ที่ดินที่ลดผลกระทบต่อชุมชนข้างเคียงและไม่สร้างมลภาวะสู่พื้นที่โดยรอบ แบบประเมินของสหรัฐอเมริกา หรือ LEED นั้นจะมีคะแนนด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารสูงสุด ซึ่งมาจากการเลือกใช้วัสดุที่ไม่มีสารตกค้างที่มีผลต่อสุขภาพ การใช้แสงธรรมชาติและคุณภาพของเสียง

ตารางที่ 2-5 แสดงแนวคิดด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตในแบบประเมินอาคารต่างๆที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

การประเมินวัฏจักรชีวิต	การผลิต	การก่อสร้าง	การใช้งาน	การบำรุงรักษา	การรื้อถอน	การกำจัด
BREEAM	●	●	●	●		●
CASBEE	●	●	●	●	●	●
Green Mark	●	●	●			●
Green Star	●	●	●		●	●
TEEAM		●	●			●
อาคารเขียว		●	●			●
LEED	●	●	●	●	●	●

จากการวิเคราะห์แบบประเมินอาคารเชิงสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา พบว่าแบบประเมินสำหรับอาคารเชิงสิ่งแวดล้อมของประเทศต่างๆ ได้แก่ BREEAM (สหราชอาณาจักร) LEED (สหรัฐอเมริกา) Green Star (ประเทศออสเตรเลีย) CASBEE (ประเทศญี่ปุ่น) และ Green Mark (ประเทศสิงคโปร์) เพื่อเป็นต้นแบบและข้อมูลอ้างอิงในการสร้างแบบประเมินสำหรับอาคารประหยัดพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของภูมิภาคอื่นขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า แบบประเมินทั้งหมดมีการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงคุณภาพ โดยการประเมินเชิงคุณภาพใช้เพื่อตรวจสอบข้อมูลโดยทั่วไปของอาคาร ที่แปลงเป็นเกณฑ์การให้คะแนนของการประเมินผลอาคาร เพื่อเป็นผลสรุปรวมของคะแนนสำหรับประสิทธิภาพของอาคาร (Forsberg and von Malmberg, 2004)

จากการวิเคราะห์แบบประเมินอาคารของประเทศต่างๆพบว่า การให้เกณฑ์คะแนนในการประเมินอาคารนั้นมาจากการกำหนดเกณฑ์การประเมินจากภาพรวมประเทศ ในด้านนโยบายประเทศ ทรัพยากร พลังงานและแผนการจัดการพัฒนาประเทศ ดังนั้นจะพบว่าสัดส่วนการกำหนดเกณฑ์การประเมินอาคารของประเทศต่างๆจึงมีลักษณะแตกต่างกัน ตามโครงสร้างของประเทศนั้นๆ ดังนั้นการสร้างมาตรฐานในการประเมินอาคารในประเทศไทยจึงควรจะวางแผนตามระบบโครงสร้างของประเทศไทย เพื่อให้เกิดเหมาะสมต่อแผนพัฒนาประเทศ ด้านทรัพยากร พลังงาน และการพัฒนาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อความเหมาะสมและสอดคล้องต่อเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมอย่างแท้จริง

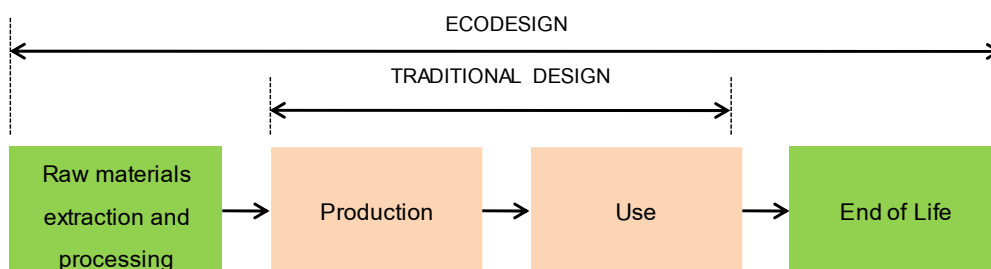
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาเอกสารการวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่าแบบประเมินอาคารโดยทั่วไปนั้นเป็นแบบประเมินเชิงคุณภาพ ซึ่งไม่สามารถวัดค่าด้านสิ่งแวดล้อมได้ดังนั้นขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยจึงใช้ทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเป็นกรอบในการวิจัย เนื่องจากการประเมินอาคารเชิงปริมาณจะสามารถวัดค่าด้านสิ่งแวดล้อมได้จริงและสามารถวิเคราะห์การทำงานของอาคารได้ตลอดอายุอาคาร

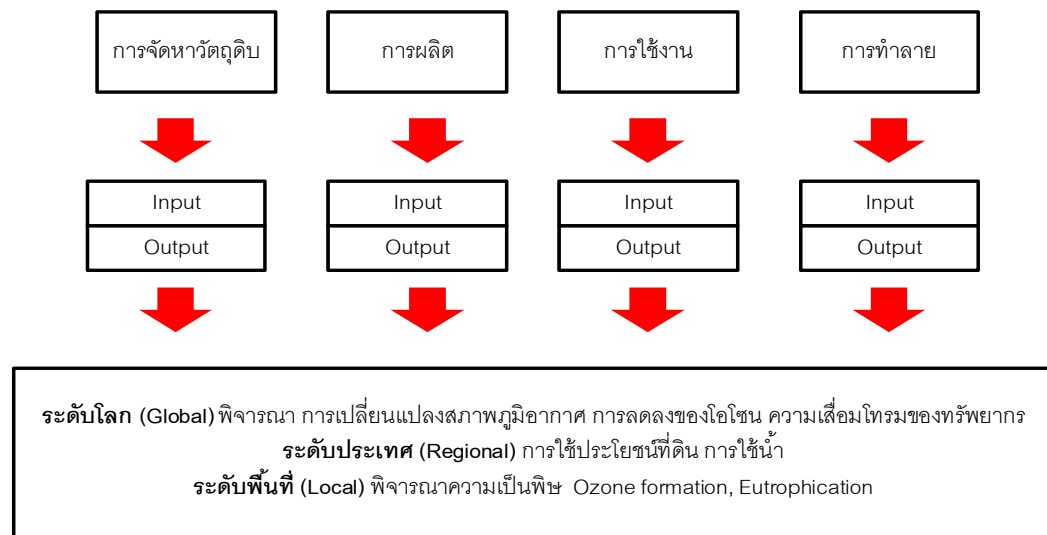
3.1 การจำแนกตัวแปรที่มีผลต่อแบบประเมินอาคาร

การสร้างแบบประเมินบ้านรักษ์นิเวศสำหรับภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้ จะใช้ทฤษฎีของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment) เนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตนี้อยู่ในส่วนของของอนุกรมมาตรฐาน 14040 ซึ่งเป็นอนุกรมมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (environment management standard) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นที่ยอมรับของการประเมินอาคารเชิงสิ่งแวดล้อมทั่วโลก แบบการประเมินอาคารของประเทศต่างๆ เริ่มมีการใช้กระบวนการของทฤษฎีนี้เข้ามาเป็นตัวชี้วัดในการประเมินอาคารแล้วในปัจจุบันเนื่องจากจะสามารถวัดค่าทางสิ่งแวดล้อมที่อดีตจะเป็นการวัดค่าเชิงคุณภาพจะสามารถวัดค่าทางด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณได้ โดยอาศัยขบวนการทางการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยมีขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 3-1 ที่แสดงแนวคิดในการออกแบบเชิงสิ่งแวดล้อมที่เน้นการพิจารณาด้านระบบนิเวศเป็นหลัก โดยเสนอแนวคิดเป็นองค์รวม คือการมองกระบวนการของการผลิตตั้งแต่ขั้นตอนของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งานและการทำงาน ไม่พิจารณาเพียงกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งเนื่องจากทุกขั้นตอนของผลิตภัณฑ์ล้วนมีผลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น



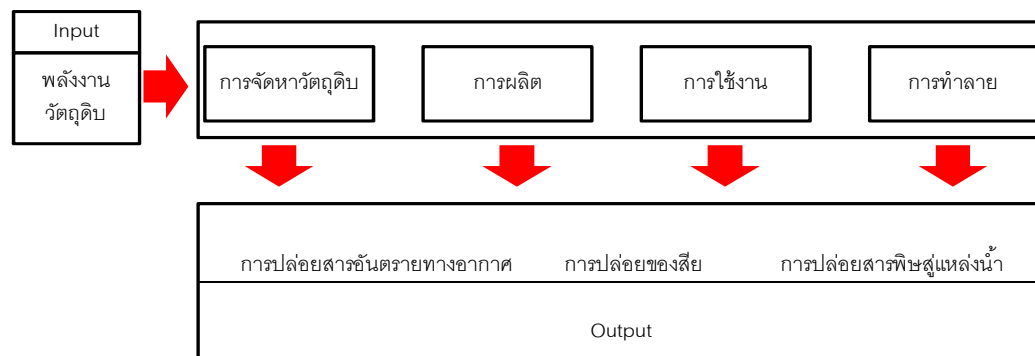
ภาพที่ 3-1 แนวคิดในการออกแบบเชิงสิ่งแวดล้อมที่เน้นการพิจารณาด้านระบบนิเวศเป็นหลัก (ศูนย์ความเป็นเลิศเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, 2552)

โดยการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ระดับโลก (Global) ระดับชาติ (Regional) และระดับพื้นที่ (Local) โดยจะแสดงในภาพที่ 3-2 และเมื่อนำกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้สำหรับอาคารนั้นสามารถพิจารณาได้โดยง่ายจากภาพที่ 3-3 ซึ่งจะพบว่าการใส่พลังงานและทรัพยากรเข้าไปในระบบจะเรียกว่า Input จะเกิดการใช้พลังงานและทรัพยากรตลอดช่วงอายุการใช้งานอาคาร และตลอดขั้นตอนของการเกิดอาคารจนหมดอายุการใช้งานของอาคารจะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในรูปแบบของการปล่อยสารอันตรายทางอากาศ การปล่อยของเสีย และการปล่อยสารพิษสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะเรียกว่า Output ซึ่งมีตัวกำหนดการสร้างดัชนีชีวิตในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบอาคาร



ภาพที่ 3-2 แสดงการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

(ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย, 2552)



ภาพที่ 3-3 การพิจารณาขั้นตอนของLife cycle assessment ในการประเมินอาคาร

(ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย, 2552)

แต่เนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นต้องการข้อมูลจำนวนมาก การวิเคราะห์ผลต้องใช้เวลานานและต้องอาศัยความเข้าใจเชิงลึกทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการยากที่สถาปนิก วิศวกร หรือบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารนั้นจะเข้าใจความหมายเฉพาะของข้อมูล และการตีความผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินนั้นๆ และประการสำคัญการประเมินวัฏจักรอาคารนั้นจะต้องมีข้อมูลที่ละเอียดพอต่อการนำมาพิจารณาในขั้นตอนการประเมินวัฏจักร เหมือนการประเมินวัฏจักรผลิตภัณฑ์อื่นๆที่ไม่มีความซับซ้อนเหมือนอาคาร ดังนั้นการประเมินวัฏจักรอาคารในการวิจัยนี้จะพิจารณาตามตารางที่ 3-1 ซึ่งสถาปนิก วิศวกร สามารถใช้ข้อมูลพื้นฐาน และแบบการก่อสร้างเบื้องต้นมาเป็นข้อมูลในการประเมินอาคารตามทฤษฎีของวัฏจักรชีวิตได้

ตารางที่ 3-1 แสดงตัวแปรที่การวิจัยนี้ศึกษาในแต่ละขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

ขั้นตอน	รายละเอียด	เกณฑ์ในการพิจารณา	ขอบเขตในการวิจัย
ขั้นตอนการผลิต (Product stage)	การขนส่ง	การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง	ไม่พิจารณา
	อุตสาหกรรมการผลิต	Embodied energy	พิจารณา
ขั้นตอนการก่อสร้าง (Construction stage)	การขนส่ง	การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง	ไม่พิจารณา
	การพลังงาน	การใช้พลังงานในการก่อสร้าง	ไม่พิจารณา
ขั้นตอนการใช้งานอาคาร (Use stage)	การใช้งานอาคาร	การใช้พลังงานในอาคาร	พิจารณา
	การบำรุงรักษา	Embodied energy	พิจารณา
		การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง	ไม่พิจารณา
ขั้นตอนการหมดอายุใช้งาน (End of life stage)	การรีไซเคิล	การใช้พลังงานในการรีไซเคิล	ไม่พิจารณา
	การขนส่ง	การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง	ไม่พิจารณา
	การนำกลับมาใช้ใหม่	เปอร์เซ็นต์การนำกลับมาใช้ใหม่	ไม่พิจารณา

จากการศึกษาแบบประเมินอาคารของประเทศต่างๆ นั้นพบว่ารายละเอียดของการประเมินจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ประเด็นระดับโลก (Global Issue) ซึ่งอ้างอิงเรื่องการปล่อยสารพิษ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นพันธะผูกพันจากการประชุมข้อตกลงในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงทุกประเทศทั่วโลก ประเด็นระดับประเทศ (Regional Issue) จากการศึกษาพบว่าตัวแปรสำคัญในการพิจารณา คือ การใช้พลังงานในการขนส่ง การใช้แหล่งพลังงานทดแทน และการลดการใช้น้ำ และประเด็นระดับพื้นที่ (Local Issue) การประเมินอาคารซึ่งจะเกี่ยวกับการออกแบบอาคาร การเลือกใช้วัสดุประกอบอาคาร การเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน การลดการเกิดขยะ ซึ่งจะพบว่าสถาปนิกจะมีส่วนเข้ามามีส่วนร่วมมากที่สุดในการตัดสินใจครั้งนี้ สามารถสรุปแต่ละประเด็นได้ดังนี้

1) ประเด็นระดับโลก (Global Issue) เป็นเชิงนโยบายของประเทศ ที่ผู้นำและตัวแทนของประเทศต้องเข้าไปมีส่วนร่วมร่วมกับประชาคมโลกในการออกสิทธิ์แสดงเจตจำนงในการร่วมมือด้านการวางนโยบายใช้พลังงาน และการลดภาพรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2) ประเด็นระดับประเทศ (Regional Issue) เป็นประเด็นของการวางแผนพัฒนาประเทศ โครงข่ายสาธารณูปโภค สาธารณูปการ ตัวแทนกลุ่มอาชีพสมาคมต่างๆ มีสิทธิ์เข้าไปให้คำแนะนำได้ อาทิ ระบบโครงข่ายขนส่งภายในประเทศ ซึ่งสถาปนิกไม่สามารถเข้าไปมีบทบาทและเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างเดิมของประเทศได้ หากมีการเริ่มวางแผนระบบถนนการขนส่งเส้นทางใหม่ หรือการจัดระเบียบใหม่ สถาปนิกอาจจะมีส่วนเข้าไปร่วมให้ความคิดเห็นได้

3) ประเด็นระดับพื้นที่ (Local Issue) เป็นการออกแบบอาคารที่สถาปนิกออกแบบโครงการจะมีส่วนเข้าไปในการมีส่วนร่วมในการพิจารณาตัวแปรต่างๆ ในแบบประเมินได้ซึ่งได้แก่ การเลือกใช้วัสดุต่างๆ เพื่อให้อาคารมีประสิทธิภาพสูงสุดและลดภาระต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ผู้ใช้งานแบบประเมินอาคารได้อย่างง่าย โดยเฉพาะมีเป้าหมายหลักให้สถาปนิกเป็นผู้ใช้งานเพื่อตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นของประสิทธิภาพอาคารที่ออกแบบได้อย่างดีที่สุด ดังนั้นขอบเขตการวิจัยนี้จะไม่พิจารณา เรื่องการขนส่ง เนื่องจากสถาปนิกไม่สามารถควบคุมตัวแปรนี้ได้ และไม่พิจารณาช่วงการก่อสร้างเนื่องจากก่อสร้างในปัจจุบันในประเทศไทยมีความหลากหลาย และมีมาตรฐานการก่อสร้าง เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละพื้นที่ก่อสร้างมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก

ตารางที่ 3-2 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ขั้นตอน	ตัวแปร	ตัวแปรย่อย
ขั้นตอนการผลิต (Product stage)	พลังงานสะสม (Embodied Energy)	ค่า พลังงานสะสมของวัสดุต่างๆ (MJ/kg) ค่า CO ₂ สะสมของวัสดุต่างๆ (gCO ₂ /kg)
ขั้นตอนการใช้งานอาคาร (Use stage)	ภาวะการปรับอากาศ	คุณสมบัติของเปลือกอาคาร รูปทรงอาคารและสัดส่วนพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย สภาพแวดล้อมที่ตั้งโครงการ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์อาคาร การใช้พลังงานระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ การรั่วซึมอากาศ

3.2 เกณฑ์มาตรฐานด้านการใช้พลังงานในอาคาร

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาการออกแบบประเมินบ้านรักษนิเวศ เพื่อการใช้งานสำหรับสถาปนิก วิศวกร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ในการใช้งานได้อย่างสะดวกและง่าย โดยใช้เวลาไม่มากเพื่อการตัดสินใจ ในการเลือกใช้วัสดุประกอบการออกแบบที่เหมาะสมต่ออาคารในภูมิภาคร้อนชื้น โดยจะนำผลการ วิเคราะห์ที่ได้จากการวิจัยไปสร้างเป็นแบบประเมินอาคารในรูปแบบของโปรแกรม Microsoft Office Excel โดยจะใช้ข้อมูลจากการวิจัยการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในภูมิภาค ร้อนชื้น (รวิช ควรประเสริฐ, 2550) มาวิเคราะห์และปรับแก้ข้อมูลบางส่วนเพื่อเหมาะสมต่อการ ออกแบบแบบประเมินอาคาร พร้อมกับเกณฑ์มาตรฐานพื้นฐานด้านการอนุรักษ์พลังงานของ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเป็นหลัก ซึ่งกำหนดประเภทอาคาร ขนาด โดยใช้ การประเมินศักยภาพการถ่ายเทความร้อนโดย ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของ อาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) เพื่อตรวจสอบความ สอดคล้องของการออกแบบอาคารกับเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงาน

3.2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) โดยใช้คำนวณสำหรับอาคารที่ปรับอากาศโดยมีข้อกำหนด อาคารให้อาคารที่สร้างใหม่ต้องมีค่า OTTV ไม่เกิน 45 วัตต์ต่อตารางเมตร RTTV ไม่เกิน 25 วัตต์ ต่อตารางเมตร

สูตรการคำนวณ OTTV (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (16)$$

- OTTV_i คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อตารางเมตร
- U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส
- WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา
- TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนดไว้
- U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส
- ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนดไว้
- SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสง หรือกระจก ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด
- SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งการคำนวณให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนดไว้
- ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

สูตรการคำนวณ RTTV (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

$$RTTV_{ni} = (U_f)(1-SRR)(TD_{eq}) + (U_w)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (17)$$

RTTV_{ni} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส

SRR	คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา
TD_{eq}	คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
U_s	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส
ΔT	คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร
SHGC	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง
SC	คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด
ESR	คือ รังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน หรือปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ ผนังโปร่งแสงและ/หรือ ผนังทึบแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

ตารางที่ 3-3 แสดงข้อกำหนดการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายกระทรวงปีพ.ศ. 2535

ข้อบังคับ	การบังคับใช้
1. Overall Thermal Transfer Value (OTTV) $<45 \text{ W/m}^2$ $<55 \text{ W/m}^2$	อาคารใหม่ (อาคารที่ขออนุญาตก่อสร้างหลังจากบังคับใช้พระราชบัญญัติอาคารเก่า
2. กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าส่องสว่าง $<16 \text{ W/m}^2$ $<23 \text{ W/m}^2$	อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาลและสถานศึกษา ห้างสรรพสินค้า
3. ระบบปรับอากาศ กำหนดประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน กำหนดข้อบังคับกับเครื่องทำน้ำเย็นของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ $<23 \text{ W/m}^2$	มีการกำหนดค่าแตกต่างกันตามอาคารเก่าและอาคารใหม่ มีการกำหนดค่าแตกต่างกันตามอาคารเก่าและอาคารใหม่

3.3 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อแบบประเมินอาคาร

3.3.1 ค่าพลังงานสะสม

ค่าพลังงานสะสม(Embodied Energy) หมายถึง พลังงานที่เกิดจากการผลิตวัสดุ คิดพลังงานจากการขนส่ง และพลังงานจากการแปรรูปทรัพยากรต่างๆที่มาวมกันในการผลิตวัสดุขึ้นมาชิ้นหนึ่ง โดยพลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะสะสมอยู่ในวัสดุ มีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/Kg)

ตารางที่ 3-4 แสดงค่าพลังงานสะสม และ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุอาคาร

รายการวัสดุ		ค่าพลังงานสะสม (MJ/kg)	การปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (g CO ₂ /kg)
ผนัง	อิฐมอญครึ่งแผ่น	6.7	518
	คอนกรีตบล็อก	0.9	106
	คอนกรีตมวลเบา	0.9	106
	เม็ดโฟมคอนกรีต	0.6	106
ฉนวน	เซลลูโลส	4.3	140
	ไฟเบอร์กลาส	32.1	770
	โพลีสไตรีน EPS	58.4	2495
	โฟมพอลิยูรีเทน PU	72.1	3000
กรอบหน้าต่าง	อลูมิเนียม	192	8000
	U-PVC	60.9	4349
	ไม้	8.5	-1342
หลังคา	กระเบื้องคอนกรีต	2	215
	กระเบื้องซีเมนต์	6.2	994
	แผ่นหลังคาชิงเกิล	9	-
	หลังคาเหล็ก	12.3	526

การวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมของวัสดุก่อสร้างต้องทราบถึงข้อมูลพื้นฐานของประเทศที่เรียกว่า Input-Output Data จะแสดงรายละเอียดทั้งหมด 180 สาขาการผลิต โดยประกอบด้วยข้อมูล ทางเศรษฐกิจ ค่าขนส่ง โดยข้อมูลเหล่านี้จะนำมาสร้าง IO Model จากค่า Embodied energy intensities ของวัสดุ เนื่องจากการผลิตวัสดุแต่ละชนิดจะต้องมีส่วนผสมหลากหลายจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ โดยข้อจำกัดในการศึกษานี้คือในปัจจุบันข้อมูลค่าพลังงานสะสมของประเทศไทยยังไม่สามารถจัดทำขึ้นเป็นมาตรฐาน มีการวิจัยบางแห่งที่ทำการคำนวณเพื่อการศึกษา แต่ยังไม่มีความมาตรฐานที่ใช้งานจริงในประเทศไทย เพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปวิเคราะห์ในการวิจัย จึงได้นำข้อมูลจากต่างประเทศที่เป็นที่ยอมรับมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ โดยข้อมูลด้านพลังงานสะสมจาก Victoria University of Wellington โดยหน่วยงาน Research and Publication by the Center for Building Performance Research ร่วมกับ Building Research Association of New Zealand Wellington ได้จัดทำค่ามาตรฐานการผลิตด้านค่าพลังงานสะสม และ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของวัสดุอาคารตามตารางที่ 3-4 จะเป็นข้อมูลพลังงานสะสมของวัสดุกรอบอาคาร ผนัง ฉนวน กรอบหน้าต่าง หลังคา

การคำนวณหาค่าพลังงานสะสมของวัสดุทำได้โดย ถอดปริมาณวัสดุที่ใช้ในการออกแบบเพื่อให้ทราบน้ำหนักของปริมาณวัสดุที่ใช้จริง โดยข้อมูลสามารถหาได้จากแบบประมาณราคา หรือ บิลค่าใช้จ่ายของวัสดุในการก่อสร้างจริง นำมาคูณกับค่าพลังงานสะสม เพื่อให้ได้ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุอาคารนั้นๆ พลังงานสะสม มีหน่วยเป็น เมกกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) นอกจากการใช้พลังงานในการผลิตแล้วสามารถหาค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตได้เช่นกัน โดยนำปริมาณของวัสดุที่ได้จากการถอดแบบคูณกับปริมาณของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุนั้นๆ ก็จะได้ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นตอนการผลิต ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหน่วยเป็น กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม ($\text{g CO}_2/\text{kg}$) โดยค่าพลังงานสะสมและค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีค่าน้อยยิ่งดี

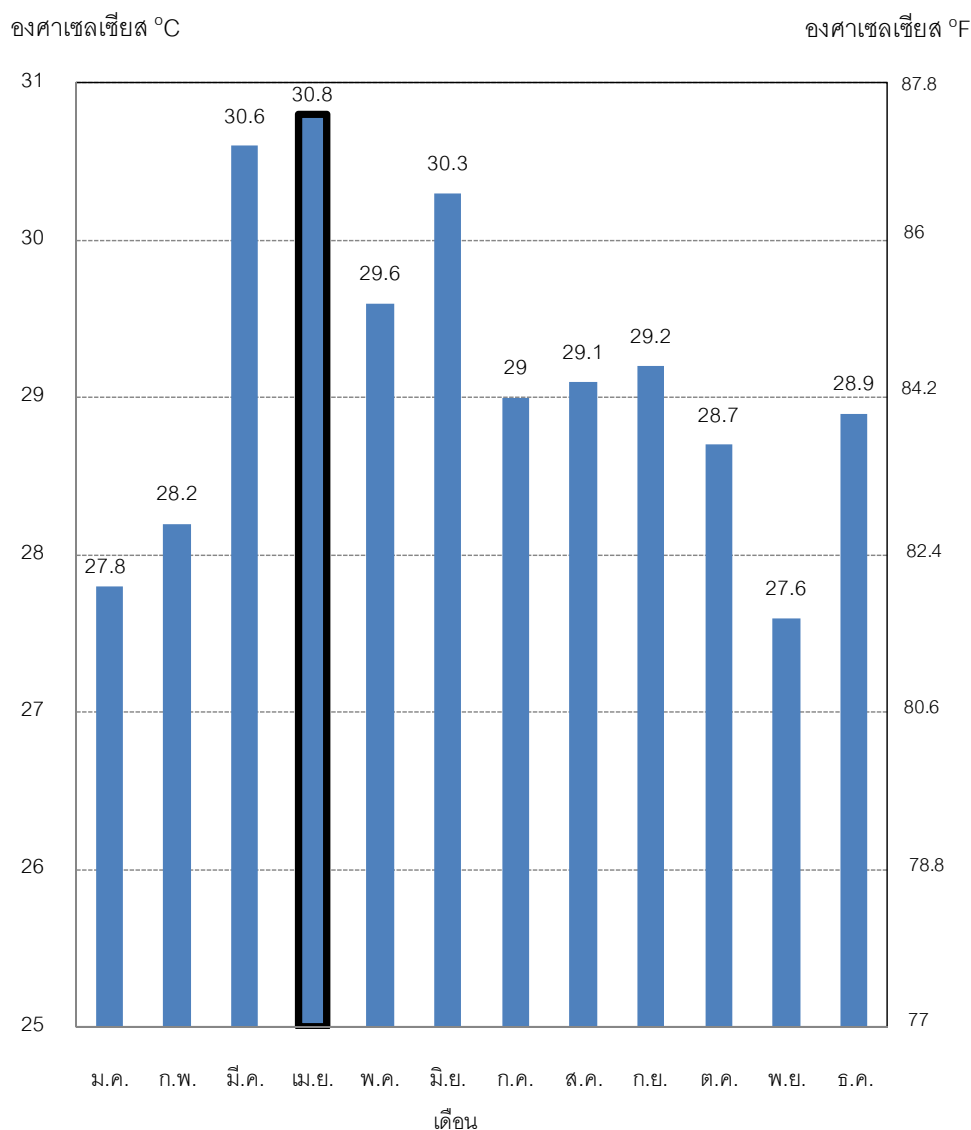
3.3.2 ตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ

การวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลทางสภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2550 เป็นตัวแทนในการวิจัย โดยกำหนดให้ผู้ใช้อาคารเข้าสู่สภาวะน่าสบายคือ ที่อุณหภูมิ $22-27^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 20-75% การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศเพื่อจะหาโอกาสที่จะใช้ประโยชน์จากสภาพภูมิอากาศแทนการใช้เครื่องกล เพื่อลดการใช้พลังงาน และเข้าใจรูปแบบของสภาพภูมิอากาศที่สามารถนำประโยชน์ไปใช้ในการออกแบบในแบบประเมินอาคารต่อไปโดยมีวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการวิเคราะห์หาจำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายทุกเดือนตลอดทั้งปี

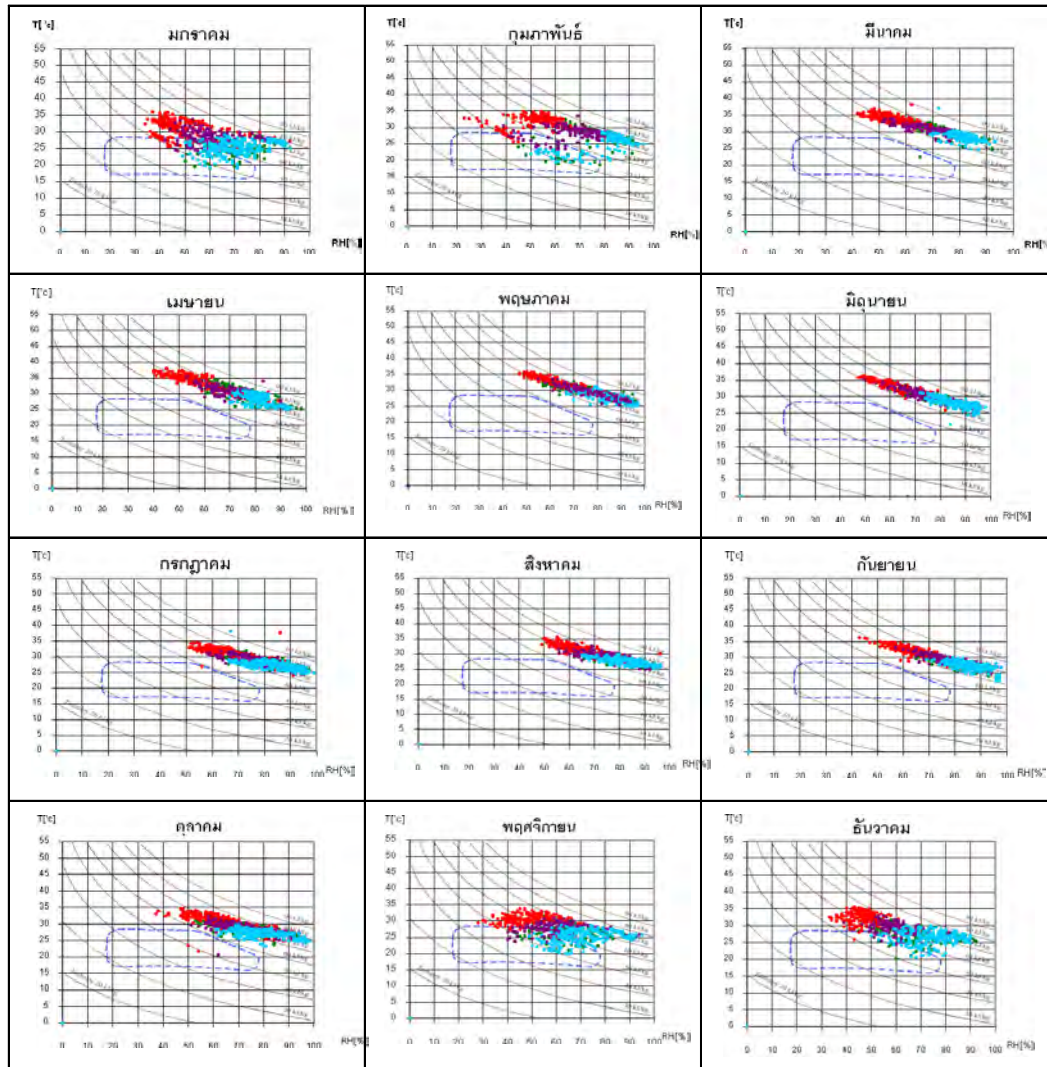
ขั้นตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์โดยการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติเพื่อเพิ่มขอบเขตของสภาวะน่าสบายในแต่ละเดือนได้

ในขั้นตอนที่ 1 จะวิเคราะห์สภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2550 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายน ที่ 30.8 °C หรือ 87.4 °F โดยจะใช้ข้อมูลนี้ไปคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารในการศึกษาต่อไป



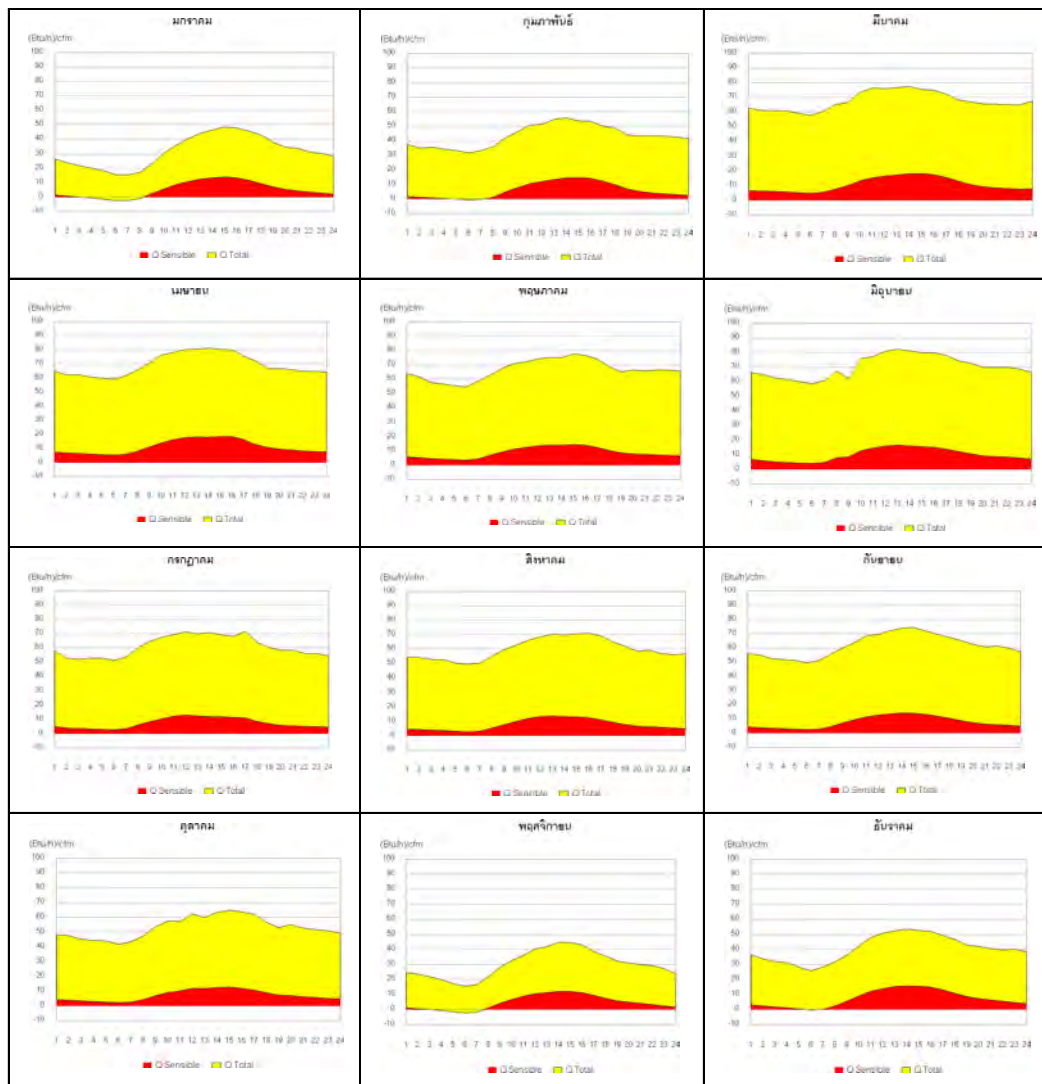
แผนภูมิที่ 3-1 แสดงอุณหภูมิอากาศของประเทศไทยข้อมูลปี พ.ศ. 2550

จากนั้นจะนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยปี พ.ศ. 2550 มาวิเคราะห์ในแผนภูมิไอบีโคโลเมตริก โดยนำข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นของทุกชั่วโมงใน 1 ปี มาแสดงลงในแผนภูมิ โดยแนวเส้นประสีฟ้าจะแสดงขอบเขตสภาวะน่าสบาย ดังนั้นจะพบว่าประเทศไทยมีชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายเพียง 4 เดือนได้แก่ เดือน พฤศจิกายน ธันวาคม มกราคม และ กุมภาพันธ์



แผนภูมิที่ 3-2 แสดงสภาพภูมิอากาศประเทศไทยข้อมูลปี พ.ศ. 2550 ที่มีจำนวนชั่วโมงในแต่ละเดือนเข้าสู่เขตสบายในแผนภูมิไอบีโคโลเมตริก

เมื่อวิเคราะห์จำนวนชั่วโมงที่สามารถเข้าสู่สภาวะน่าสบายในแต่ละเดือนแล้ว จะทำการวิเคราะห์ค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ในแต่ละเดือนของสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2550 พบว่าเดือนเมษายนมีค่าเอนทัลปีสูงที่สุด เดือนพฤศจิกายนมีค่าเอนทัลปีต่ำสุด แสดงให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานที่ต้องใช้ในการปรับสภาพแวดล้อมให้สู่สภาวะน่าสบายในอาคารปรับอากาศในการวัดความร้อนและความชื้นโดยพื้นที่สีแดง คือพลังงานที่ต้องลดปริมาณความร้อน พื้นที่สีเหลืองคือพลังงานที่ต้องลดปริมาณความชื้น



แผนภูมิที่ 3-3 แสดงค่าเอนทัลปีในแต่ละเดือนของประเทศไทยข้อมูลปี พ.ศ. 2550

3.3.3 ตัวแปรด้านภาระการทำความเย็น

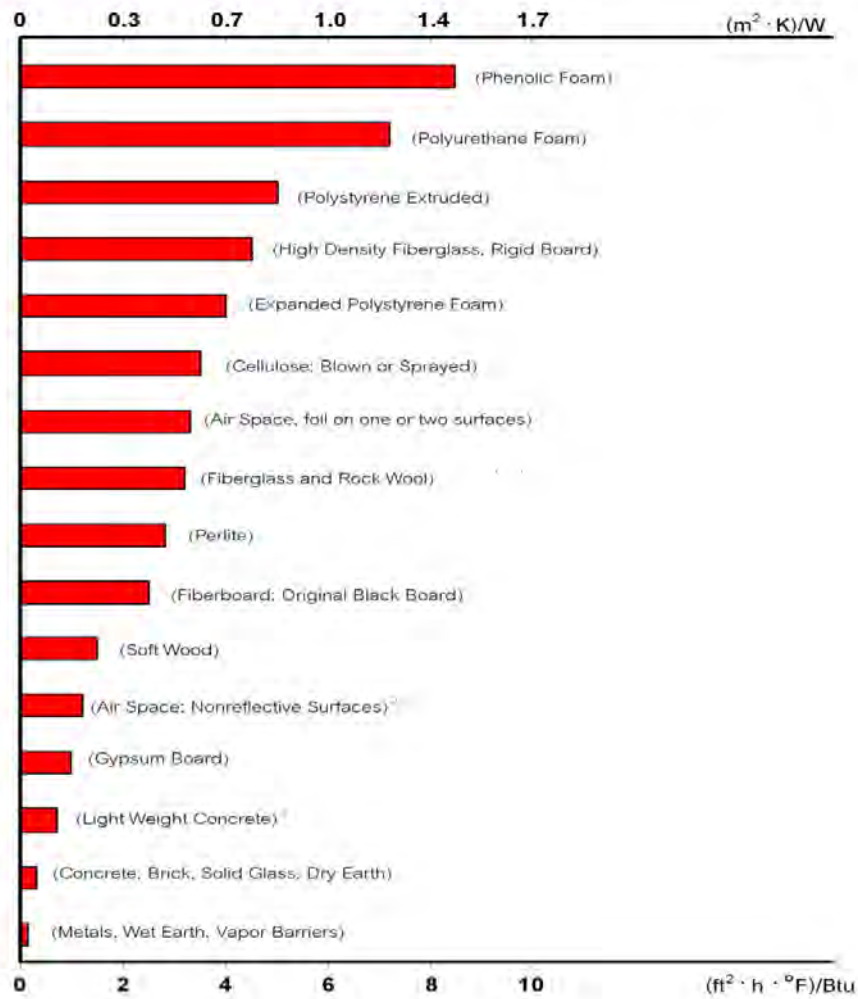
การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นจะแบ่งออกเป็นภาระการทำความเย็นที่ได้รับจาก อิทธิพลภายนอก และอิทธิพลจากภายใน โดยอิทธิพลจากภายนอกจะพิจารณาจากคุณสมบัติ เปลือกอาคาร และอิทธิพลจากภายในจะพิจารณาจากอุปกรณ์ไฟฟ้า และการใช้หลอดไฟ

3.3.3.1 คุณสมบัติของเปลือกอาคาร

พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ(U-Value) ที่เลือกมาใช้ เป็นวัสดุประกอบอาคาร โดยคิดจากส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (R) ซึ่งค่า การถ่ายเทความร้อนยิ่งมากแสดงถึงค่าการต้านทานความร้อนที่สูง มีหน่วย $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ โดย สามารถแบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

- ผนังอาคารแบ่งออกเป็น ส่วนที่เป็นผนังทึบ (Opaque Wall) และส่วนที่เป็น ผนังโปร่งแสง (Transparent Wall)
- หลังคา (Roof) เป็นส่วนที่ปกคลุมด้านบนของอาคาร
- พื้นอาคาร (Ground Floor) ส่วนที่เป็นเปลือกอาคารที่อยู่ติดพื้นดินที่มีการ แลกเปลี่ยนความร้อนกับดินโดยรอบ

โดยจะแสดงรายละเอียดของคุณสมบัติของวัสดุในส่วน of ค่าสัมประสิทธิ์ด้าน ทางความร้อน (R) และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ไว้ที่ภาคผนวก ข

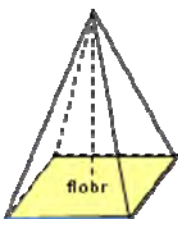
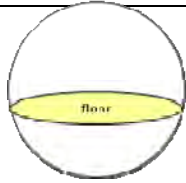
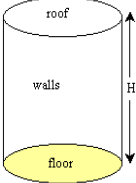
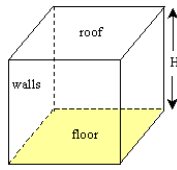


แผนภูมิที่ 3-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุต่างๆที่มีความหนา 1 นิ้ว (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

3.3.3.2 รูปทรงอาคารและสัดส่วนพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย

รูปทรงอาคารมีอิทธิพลอย่างสูงต่อการออกแบบอาคารเพื่อลดภาระการปรับอากาศ เนื่องจากผิวอาคารภายนอกเป็นบริเวณที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมโดยตรง คือเป็นจุดแลกเปลี่ยนความร้อนความเย็นกับสภาพแวดล้อม ดังนั้น ถ้าปริมาณพื้นที่ผิวอาคารยังมีปริมาณมากเท่ากับเพิ่มภาระในการปรับอากาศให้แก่อาคาร โดยจะพิจารณาค่าสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและพื้นที่ใช้สอยของอาคาร (S/A) เฉพาะส่วนปรับอากาศ โดยเฉพาะอาคารขนาดเล็กจะมีสัดส่วน S/A มากกว่าอาคารขนาดใหญ่ (วิช ควบประเสริฐ, 2550)

ตารางที่ 3-5 แสดงตัวอย่างค่าสัดส่วนพื้นที่ผิวอาคารกับพื้นที่ใช้สอยอาคาร ในพื้นที่ 1 ลูกบาศก์หน่วย

	รูปทรงพีระมิด	รูปทรงกลม	รูปทรงกระบอก	รูปทรงลูกบาศก์
รูปทรงอาคาร				
Surface area	3.24	3.99	5.54	6
Area	1	1	1	1
S/A	3.24	3.9	5.54	6

รูปทรงอาคารที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารนั้นไม่เท่ากัน จากภาพ 3-5 แสดงถึงรูปทรงอาคารที่มีพื้นที่เท่ากัน จะพบว่าสัดส่วนพื้นที่ผิวภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย เรียงจากน้อยไปหามากได้แก่ รูปทรงพีระมิด มีค่า 3.24 รูปทรงกลม มีค่า 3.9 รูปทรงกระบอกมีค่า 5.54 รูปทรงลูกบาศก์มีค่า 6 ถ้าเปรียบเทียบกับรูปทรงกลมและทรงลูกบาศก์ สัดส่วนพื้นที่ผิวภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย ของทรงลูกบาศก์จะมากกว่าลูกทรงกลมประมาณ 1.5 เท่า ดังนั้นในการเลือกรูปทรงในการออกแบบเพื่อลดภาระการปรับอากาศถือเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการออกแบบ

3.3.3.3 สภาพแวดล้อมที่ตั้งโครงการ

สภาพแวดล้อมที่ตั้งโครงการเป็นปัจจัยทางสภาพอากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิอากาศโดยรอบของอาคารที่จะส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร การปรับปรุงสภาพแวดล้อมโดยภูมิสถาปัตยกรรม โดยต้นไม้ใหญ่ ต้นไม้พุ่ม หญ้าและแหล่งน้ำ จะสามารถลดอุณหภูมิอากาศลงได้ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส (สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวงนิค, 2538) ซึ่งจะช่วยลดความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในอาคาร และภายนอกอาคารลงได้ทำให้ลดภาระการปรับอากาศลง หากในการออกแบบอาคารบ้านพักอาศัยนั้นไม่มีการปรับสภาพแวดล้อม แต่มีการใช้วัสดุที่มีค่าความดูดซับความร้อนสูงเช่นคอนกรีต จะสามารถทำให้อุณหภูมิโดยรอบอาคารสูงขึ้นได้อีกประมาณ 4°C ซึ่งจะเพิ่มค่าความแตกต่างอุณหภูมิและภายนอกและภายในอาคาร ทำให้เพิ่มภาระการปรับอากาศสูงโดยไม่จำเป็น ดังนั้นตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมโครงการ สามารถปรับแต่งได้โดยการใช้พื้นที่ที่เป็นภูมิทัศน์รอบอาคาร

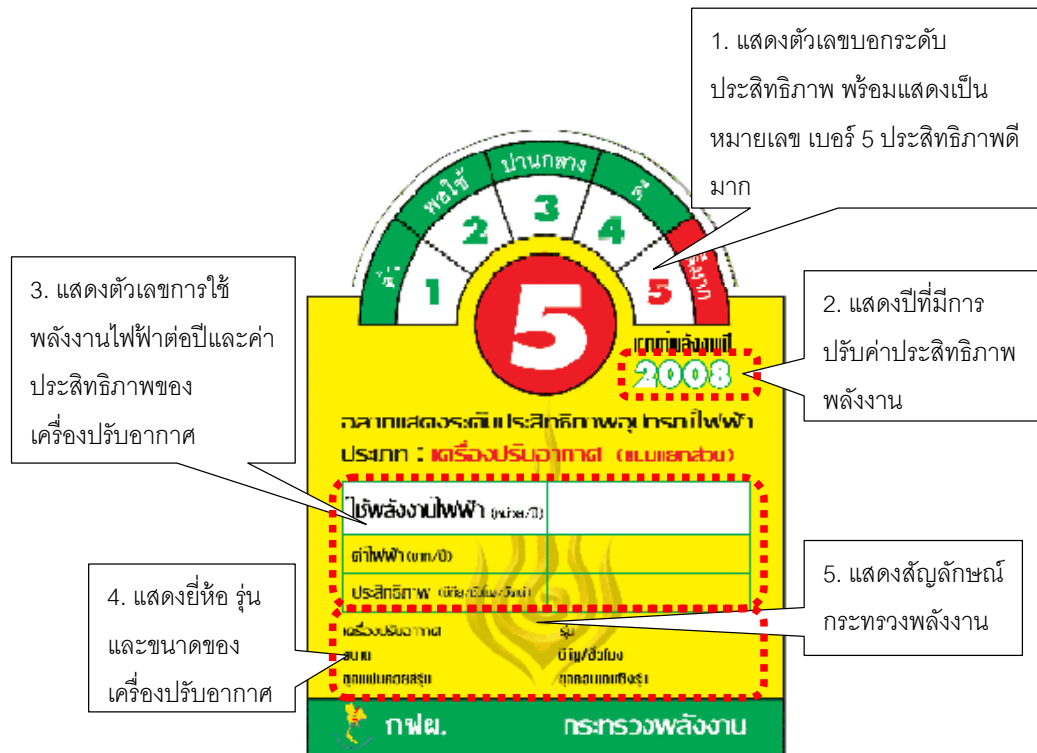
จากการวิจัยของวิช วรรณประเสริฐ (2550) ได้สร้างดัชนีของค่าความแตกต่าง อุณหภูมิที่เกิดจากการสร้างภูมิทัศน์ภายในโครงการดังนี้

ตารางที่ 3-6 แสดงสัดส่วนภูมิสถาปัตยกรรมกับ Hardscape (%) ในพื้นที่โครงการที่มีความสัมพันธ์กับ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

สัดส่วนภูมิสถาปัตยกรรมกับ Hardscape (%)	อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม (°C)	ความแตกต่าง ของอุณหภูมิ (°C)
มีพื้นที่สีเขียว 90 %ของพื้นที่ภูมิสถาปัตยกรรม	29	4
มีพื้นที่สีเขียว 70-90%ของพื้นที่ภูมิสถาปัตยกรรม	31	5
มีพื้นที่สีเขียว 50-70 %ของพื้นที่ภูมิสถาปัตยกรรม	33	8
มีพื้นที่สีเขียว 30-50 %ของพื้นที่ภูมิสถาปัตยกรรม	35	10
มีพื้นที่สีเขียว 10-30 %ของพื้นที่ภูมิสถาปัตยกรรม	37	12
มีพื้นที่สีเขียวน้อยกว่า 10 %ของพื้นที่ภูมิสถาปัตยกรรม	39	14
ไม่มีพื้นที่สีเขียว	41	16

3.3.3.4 ประสิทธิภาพของระบบเครื่องกลในอาคาร

ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ พิจารณาจากค่า Coefficient of Performance (COP) หรือ Energy Efficiency Ratio (EER) เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อปรับอากาศน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งจะมีผล ต่อภาระการทำความเย็น ต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยปัจจุบันประเทศไทยได้มีการติด ฉลากประหยัดไฟฟ้าสำหรับเพื่อการพิจารณาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ โดยฉลากประหยัด พลังงานไฟฟ้าเบอร์ 3 4 และ 5 เท่านั้นที่มีประสิทธิภาพตามค่ามาตรฐานของกฎกระทรวง (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศหาได้จาก อัตราส่วนของพลังงานความ เย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศต่อพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด



ภาพที่ 3-4 แสดงระดับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าเบอร์ 5
(กระทรวงพลังงาน, 2550: ออนไลน์)

ค่าซีโอพี Coefficient of Performance (COP) เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานความเย็นที่รับจากเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็นวัตต์ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

$$\text{COP} = \frac{\text{พลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศ (watt)}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ (watt)}} \quad (18)$$

ค่าอีอีอาร์ Energy Efficiency Ratio (EER) เป็นอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง ต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมีหน่วยเป็นวัตต์ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

$$\text{EER} = \frac{\text{พลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ (watt)}} \quad (19)$$

$$\text{EER} = \text{COP} * 3.412$$

$$\text{COP} = \text{EER} / 3.412$$

ตารางที่ 3-7 แสดงค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศกับฉลากแสดงประสิทธิภาพ

ฉลากแสดงประสิทธิภาพ	EER	COP	1/COP
เบอร์ <1	6.60-7.60	1.93-2.22	0.52-0.457
เบอร์ 1	7.60-8.60	2.22-2.52	0.45-0.40
เบอร์ 2	8.60-9.60	2.52-2.81	0.40-0.36
เบอร์ 3	9.60-10.60	2.81-3.10	0.36-0.32
เบอร์ 4	10.6-11.00	3.10-3.22	0.32-0.31
เบอร์ 5	11.0-11.50	3.22-3.37	0.31-0.30
เบอร์ Premium	>11.5	>3.37	<0.30

โดยเมื่อพิจารณาค่า EER พบว่ายิ่งมีค่าสูงระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศก็จะสูงขึ้นด้วย หมายถึงความสามารถในการทำความเย็นสูง โดยใช้พลังงานน้อย ดังนั้นอาคารที่มีภาระการทำงานสูง แต่ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER ต่ำ ในการทำความเย็นเท่ากัน เมื่อเทียบกับใช้เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER สูง จะพบว่ามีการใช้พลังงานต่างกันมาก

3.3.3.5 การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นการเพิ่มคุณภาพของความสว่างในบริเวณใช้งานเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟนั้นควรจะผสมผสานการออกแบบโดยใช้แสงธรรมชาติเพื่อลดปริมาณการใช้งานของระบบแสงสว่างโดยรวม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้จัดเกณฑ์มาตรฐานการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างไว้สำหรับเป็นเกณฑ์ในการคำนวณประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน ที่เกิดจากการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ลำดับที่	ประเภทอาคาร	กำลังไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้าแสงสว่าง (สูงสุด) ต่อ 1 ตร.ม. (วัตต์/ตร.ม.)
1	สำนักงาน สถานศึกษา	9.5
2	ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า ซูเปอร์สโตร์	13.5
3	โรงแรม โรงพยาบาล สถานพักฟื้น	8.5
4	อาคารพักอาศัย	25

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551ก: 5-2, 2551ข: 5-7)

โดยพลังงานที่ใช้ในการเปิดไฟฟ้าแสงสว่าง 1 วัตต์ สามารถหาได้จากการนำพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 1 วัตต์ รวมกับพลังงานที่ระบบปรับอากาศต้องใช้ในการลดความร้อนที่เกิดจากแสงสว่าง 1 วัตต์ (วิช วิศวกรรม, 2550) จากสูตร Coefficient of Performance (COP) เท่ากับพลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศ (Watt) ต่อพลังงานที่ใช้ (Watt) ดังนั้น

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = \frac{\text{พลังงานความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (Watt)}}{\text{COP (Watt)}}$$

สูตรการคำนวณ (สุนทร บุญญาธิการ, 2547)

$Q_{\text{lighting}} = W/m^2 * (1+1/COP)$	(20)
---	------

$Q_{\text{Equipment}} = W/m^2 * (1+1/COP)$	(21)
--	------

3.4 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.4.1 การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

โดยการวิจัยนี้เมื่อได้ผลลัพธ์จากการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าขั้นสุดท้ายจากอาคารแล้ว จะแปลงค่าพลังงานไฟฟ้านั้นกลับมาเป็นพลังงานปรมาณู เพื่อสามารถหาค่าจำเพาะของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตไฟฟ้าปรมาณูได้โดยคำนวณ Emission factor of the connected grid มีหน่วย kgCO₂/kWh

EF grid เท่ากับ 0.43 kgCO₂/kWh (สุกมล ทัศนวิธานนท์, 2551)

3.4.2 การใช้ที่ดินและการปลูกต้นไม้

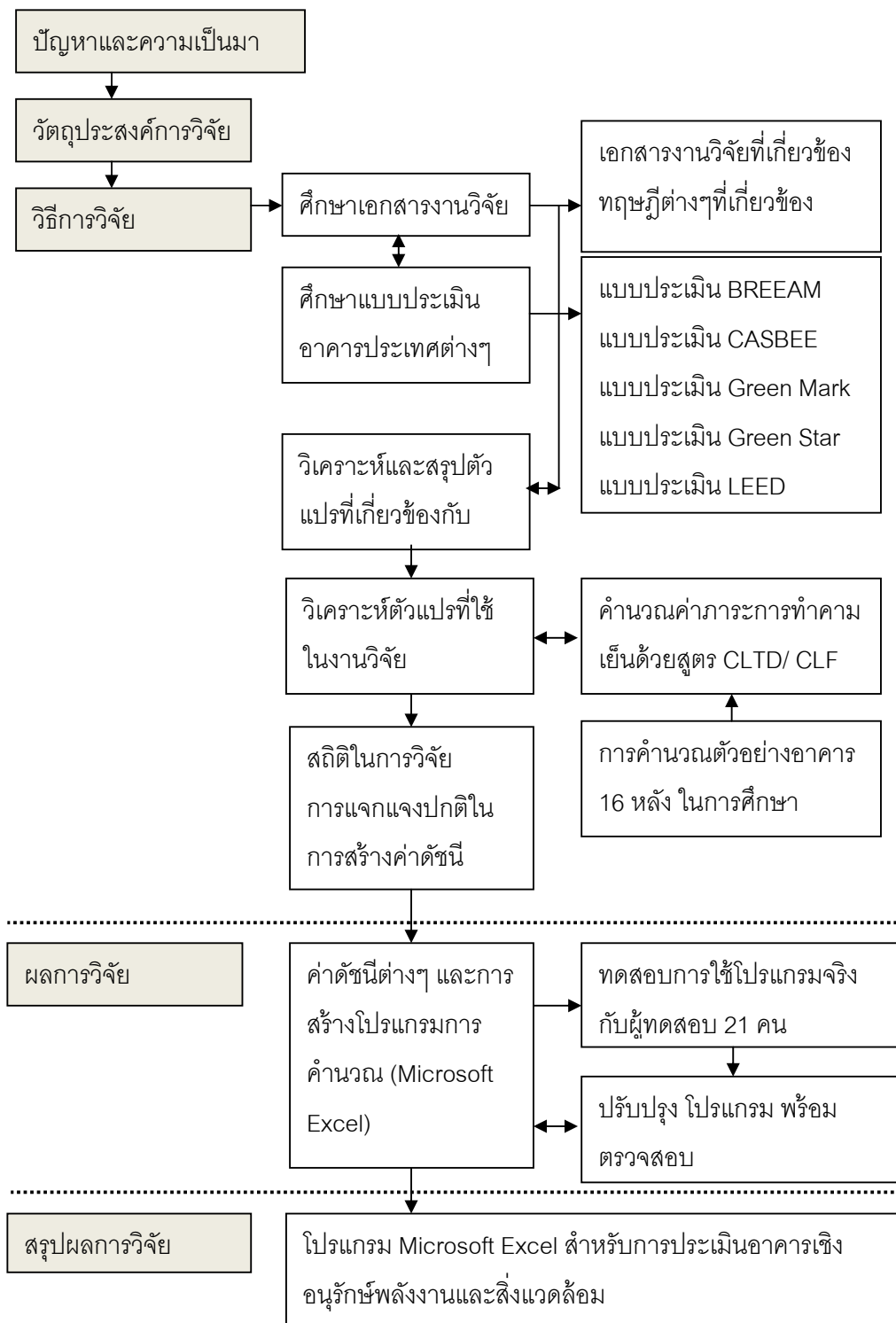
ต้นไม้สามารถดูดกลับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂ จากบรรยากาศได้โดยสามารถหาค่าจากตารางที่ 3-9 เพื่อการคำนวณ

ตารางที่ 3-9 แสดงค่าในการคำนวณการดูดกลับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของภูมิสถาปัตยกรรม

รายการ	หน่วย	CO ₂ /หน่วย
ปลูกต้นไม้ (ตลอดอายุ 20-40 ปี)	1 ต้น	1 ต้น CO ₂
ปลูกต้นไม้	1 ต้น	25 kg CO ₂ /ปี
ปลูกหญ้า	1 ตารางเมตร	0.12 kg CO ₂ /ปี

(เศรษฐพัฒน์, 2551: ออนไลน์)

3.5 ขั้นตอนการศึกษาในการวิจัย



แผนภูมิที่ 3-5 แสดงขั้นตอนการทำงานในการวิจัย

3.6 การกำหนดอาคารในการศึกษา

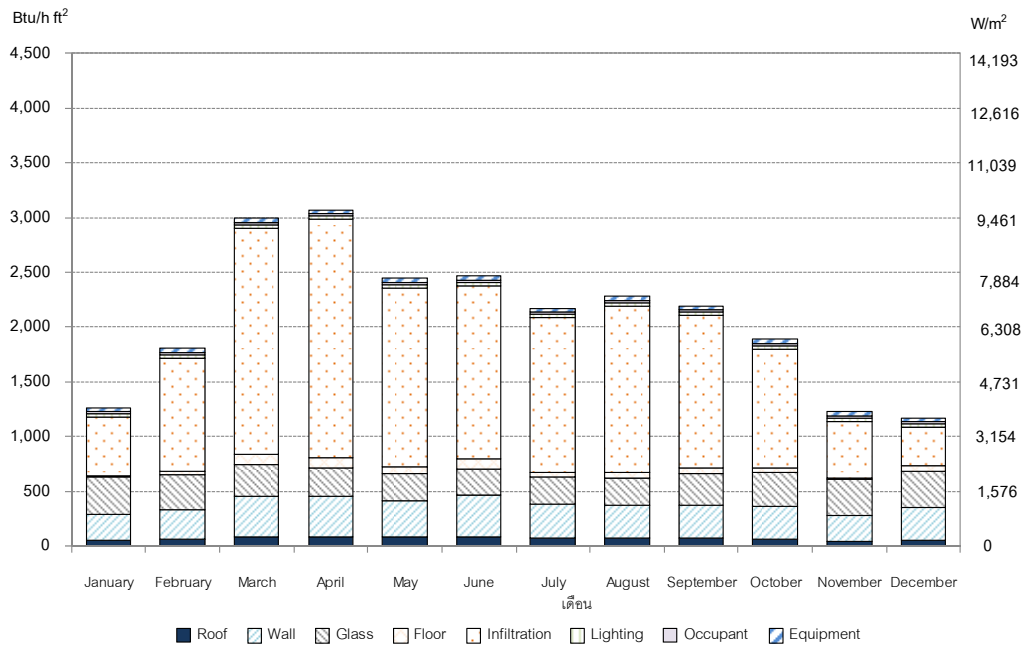
การวิจัยนี้จะใช้อาคารประเภทบ้านพักอาศัย ทำการวิเคราะห์หาภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย โดยมีอาคารตัวอย่างในการศึกษาจำนวน 16 หลัง

ตารางที่ 3-10 แสดงรายละเอียดต่างๆด้านพื้นที่อาคารของบ้าน 16 หลังสำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น

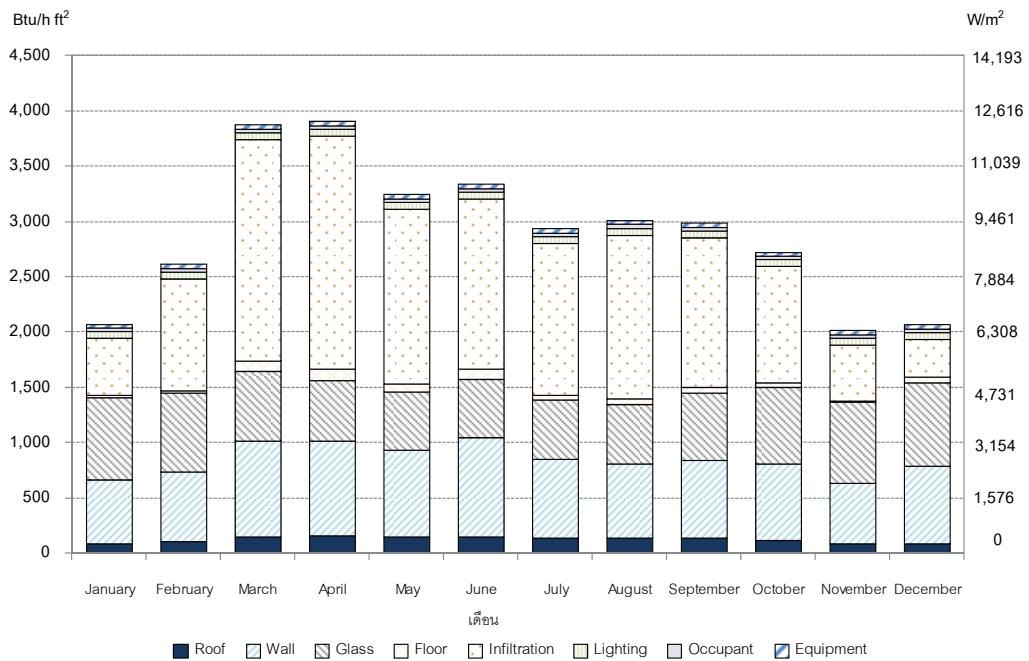
ลำดับ	บ้านตัวอย่าง (กรณีศึกษา)	A Opaque ft ²	A Glass ft ²	A Roof ft ²	A Floor ft ²	พื้นที่ใช้งาน ft ²	พื้นที่ผิวต่อ พื้นที่ใช้งาน
1	โครงการบ้านอยู่สบายประหยัดพลังงาน แบบ A	937.54	233.36	1337.53	639.92	639.92	4.919933
2	โครงการบ้านอยู่สบายประหยัดพลังงาน แบบ B	2249.14	561.88	2357.32	677.49	1344.53	4.34785
3	โครงการบ้านอยู่สบายประหยัดพลังงาน แบบ C	2224.49	653.27	2050.19	978.56	1993.01	2.963609
4	บ้านกรมโยธา แบบประหยัด 1	544.28	89.99	624.31	322.92	322.92	4.8975
5	บ้านกรมโยธา แบบประหยัด 2	825.60	166.63	833.99	575.44	575.44	4.173588
6	บ้านกรมโยธา แบบประหยัด 3	1525.04	188.59	788.25	341.22	707.52	4.018409
7	บ้านครอบครัวไทยเป็นสุข 1	798.69	180.84	1622.67	548.96	548.96	5.740196
8	บ้านครอบครัวไทยเป็นสุข 2	1189.85	229.92	1699.85	987.70	987.70	4.158457
9	บ้านครอบครัวไทยเป็นสุข 3	1999.84	404.40	1304.34	504.08	1065.96	3.951997
10	บ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคกลาง	2693.40	291.40	2797.60	492.80	1133.00	5.53857
11	บ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคใต้	5476.80	200.10	2259.60	1113.70	1517.20	5.965067
12	บ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคอีสาน	2101.40	340.00	2350.00	640.20	1092.10	4.973537
13	บ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคเหนือ	4291.10	296.40	2776.10	930.70	1425.70	5.817704
14	แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 1	1796.46	520.55	1452.06	924.63	924.63	5.07631
15	แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 2	3198.74	631.63	957.40	699.66	1453.14	3.776259
16	แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3	3931.87	772.42	2004.96	861.12	1757.22	4.308147

การหาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารตัวอย่าง 16 หลัง

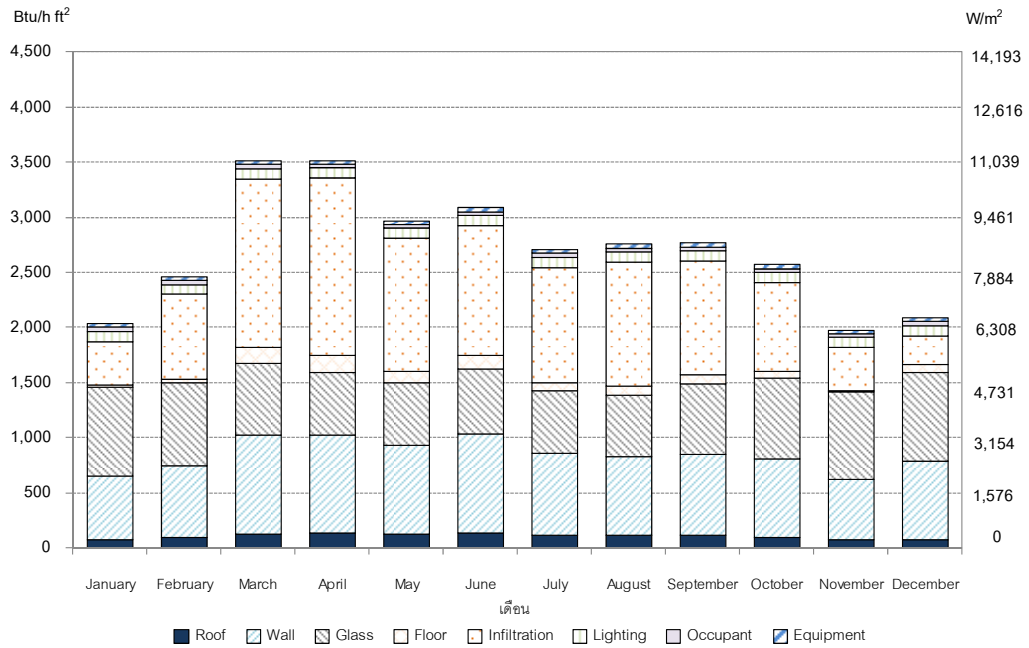
เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมิน เพื่อหาค่าน้ำหนักของตัวแปรที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของอาคารในแต่ละส่วน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินอาคารได้อย่างเหมาะสม กำหนดสภาพภูมิอากาศสำหรับการคำนวณจะใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา พ.ศ. 2550 ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยสูตร CLTD ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจริงตลอด 24 ชั่วโมง



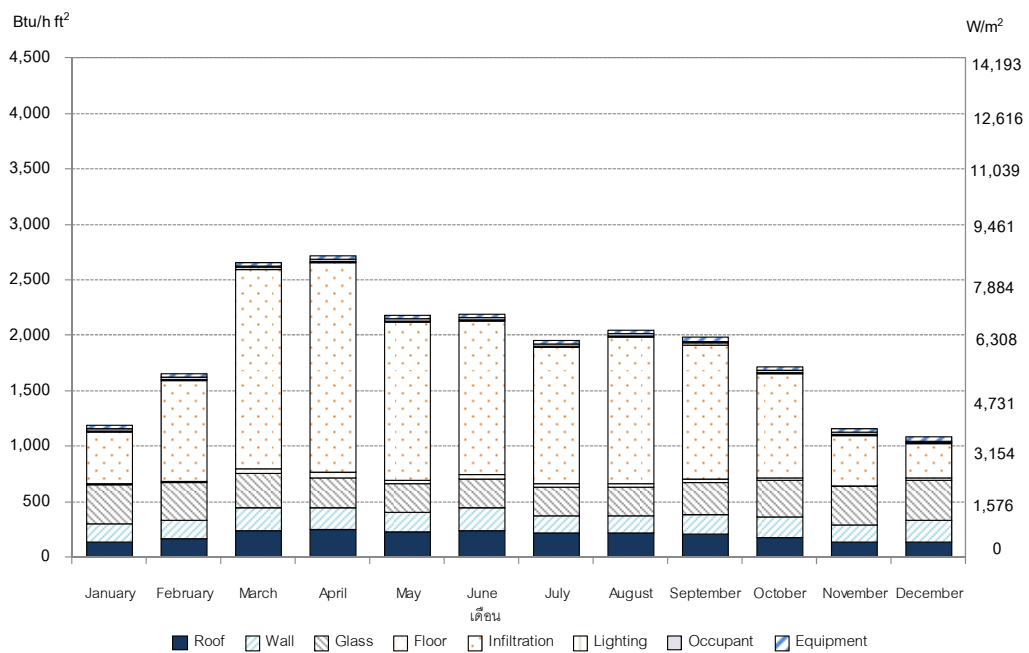
แผนภูมิที่ 3-6 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านอยู่สบาย ประหยัดพลังงานแบบ A



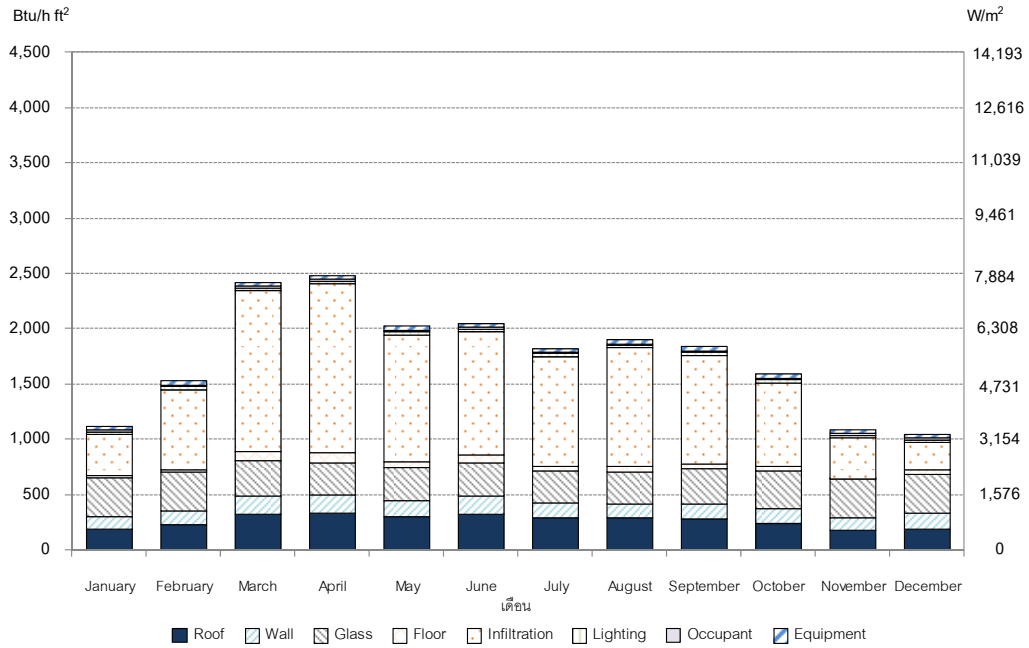
แผนภูมิที่ 3-7 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านอยู่สบาย ประหยัดพลังงานแบบ B



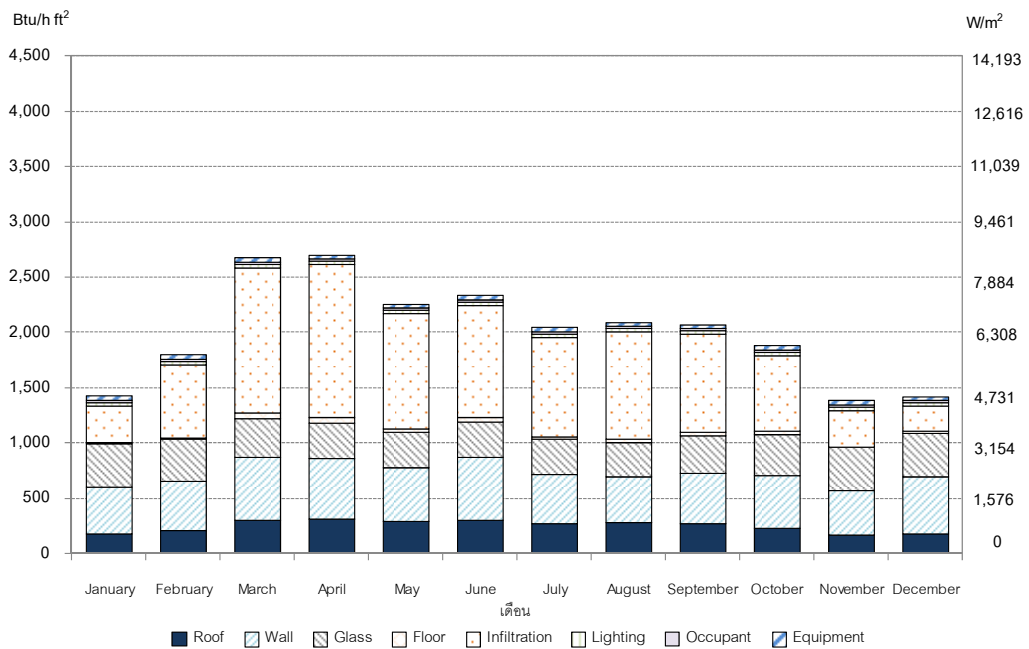
แผนภูมิที่ 3-8 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านอยู่สบาย ประหยัดพลังงานแบบ C



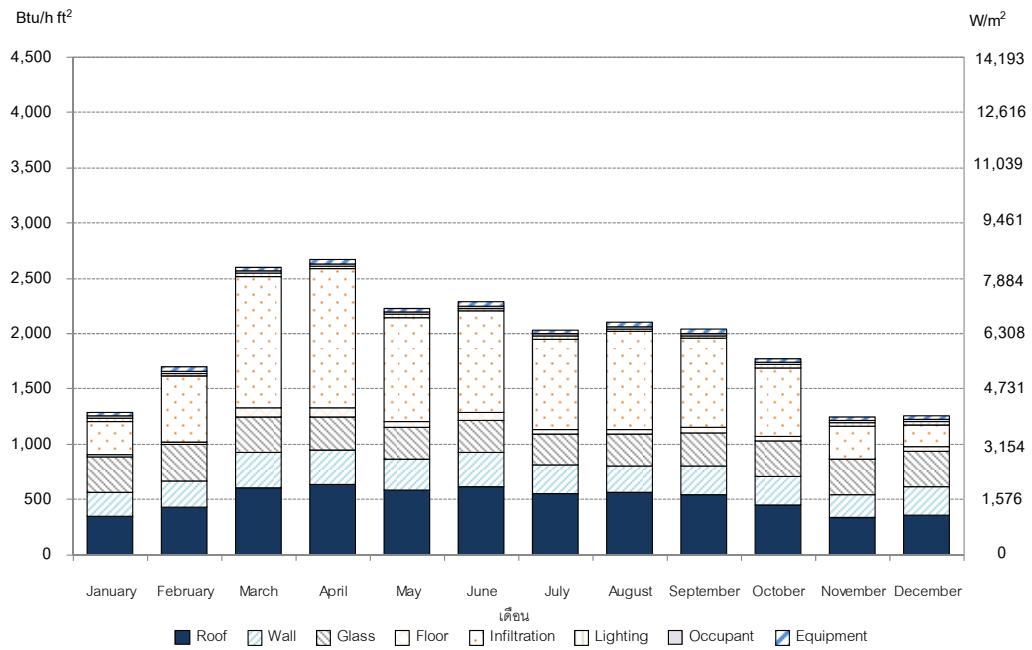
แผนภูมิที่ 3-9 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านกรมโยธา แบบ ประหยัด 1



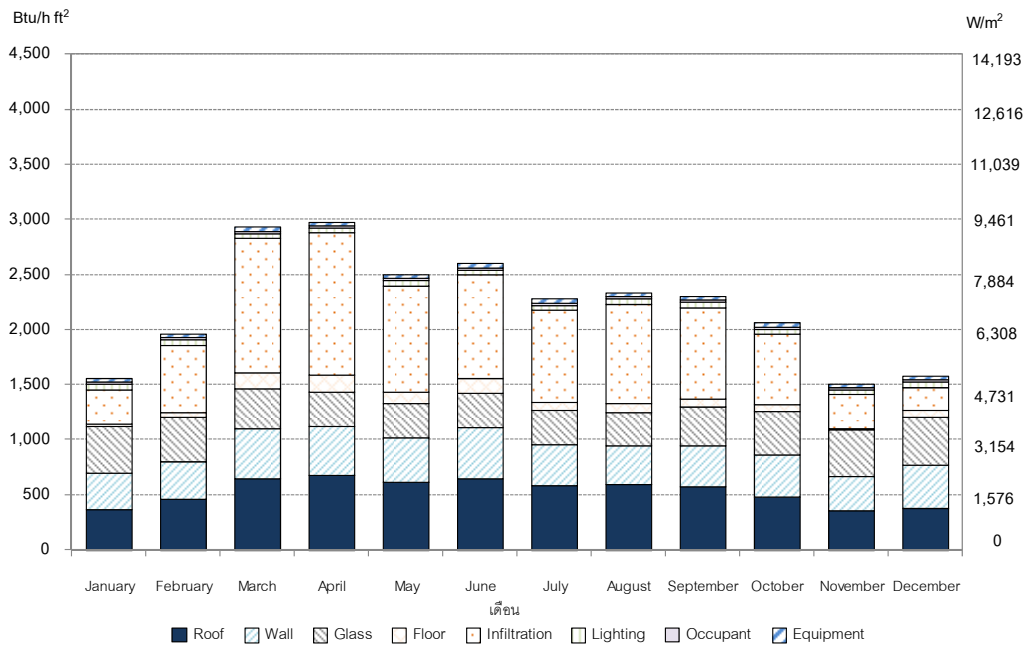
แผนภูมิที่ 3-10 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านกรมโยธา แบบ ประหยัด 2



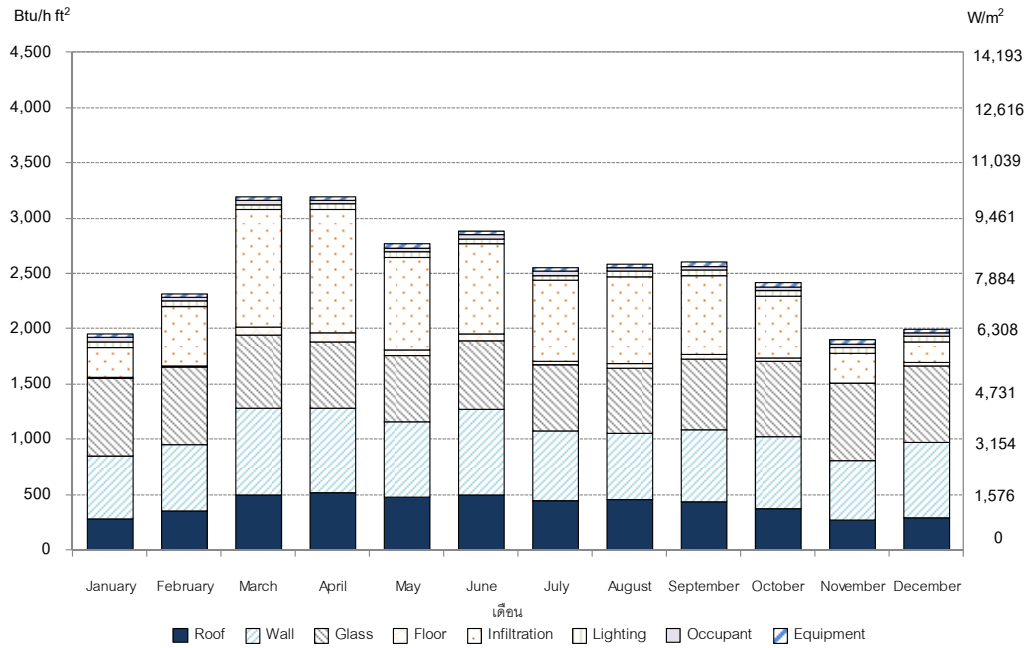
แผนภูมิที่ 3-11 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านกรมโยธา แบบ ประหยัด 3



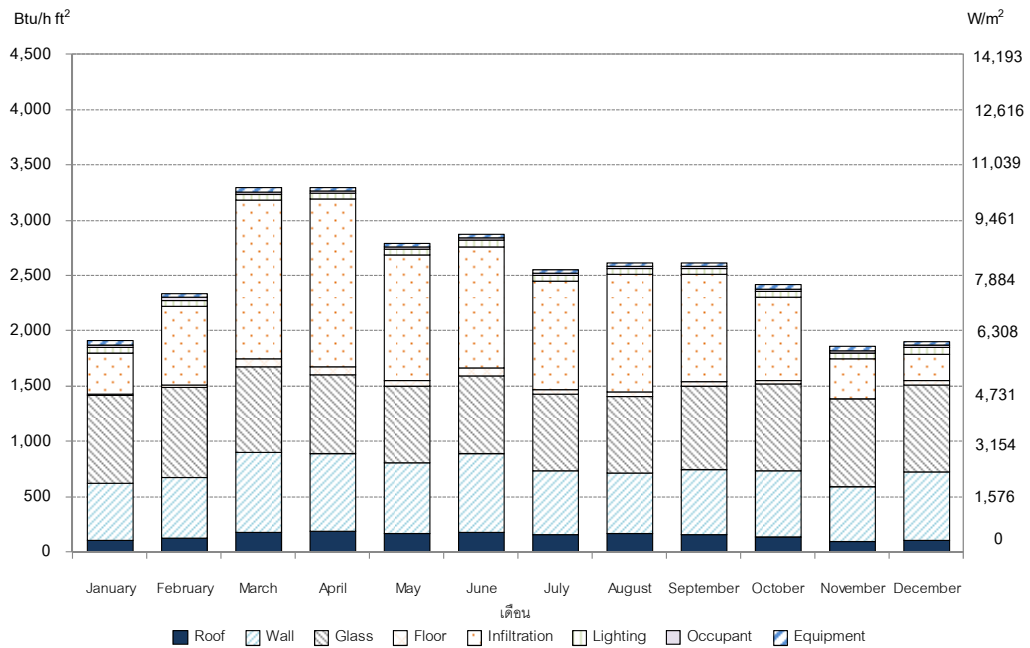
แผนภูมิที่ 3-12 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านครอบครัวไทย เป็นสุข 1



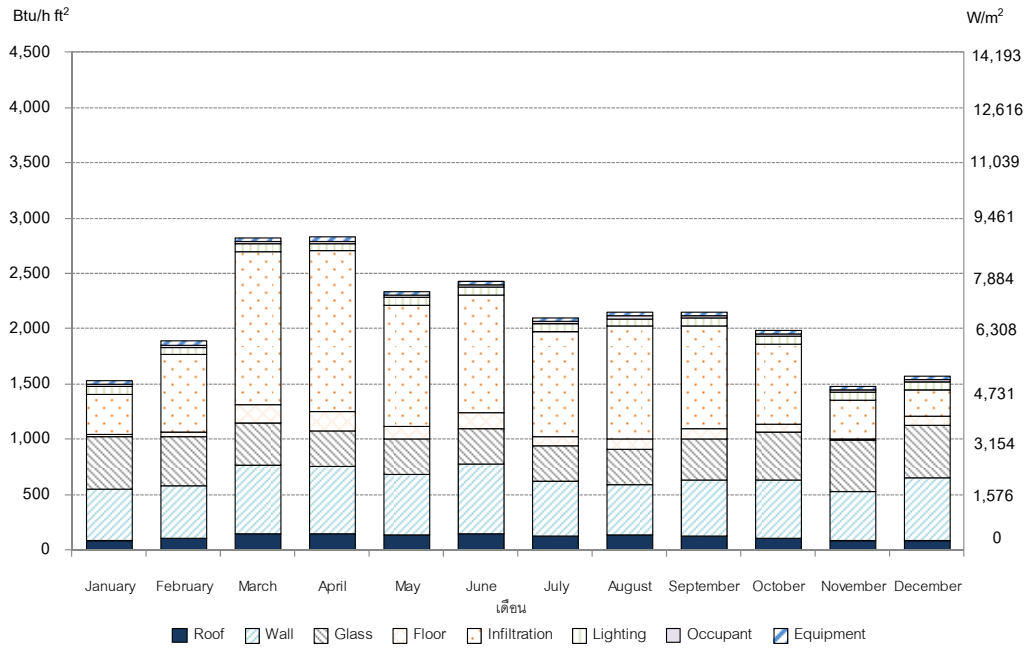
แผนภูมิที่ 3-13 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านครอบครัวไทย เป็นสุข 2



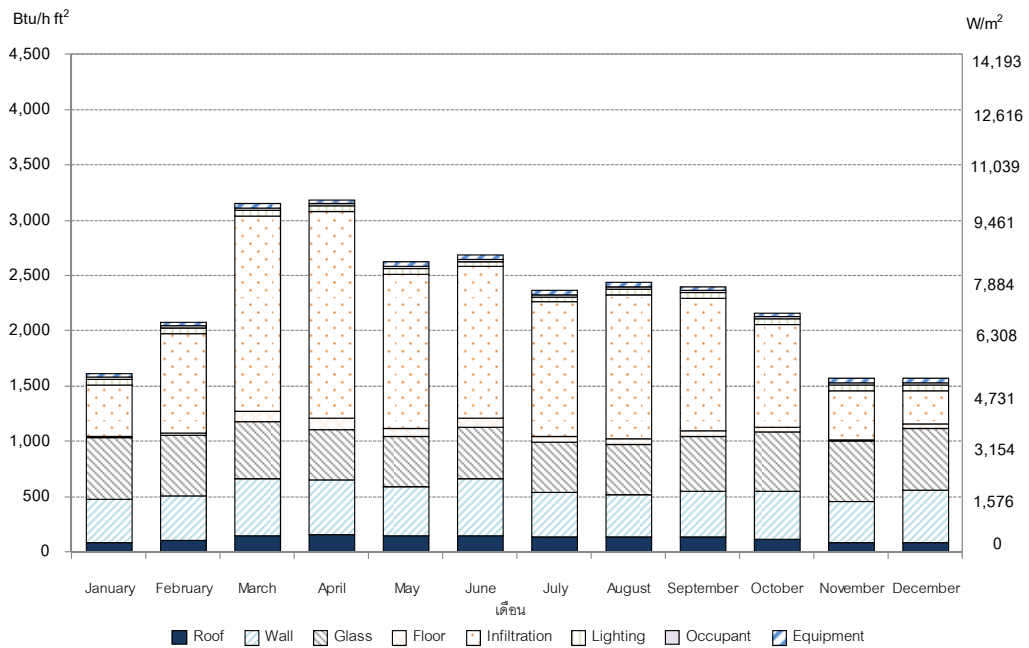
แผนภูมิที่ 3-14 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านครอบครัวไทย เป็นสุข 3



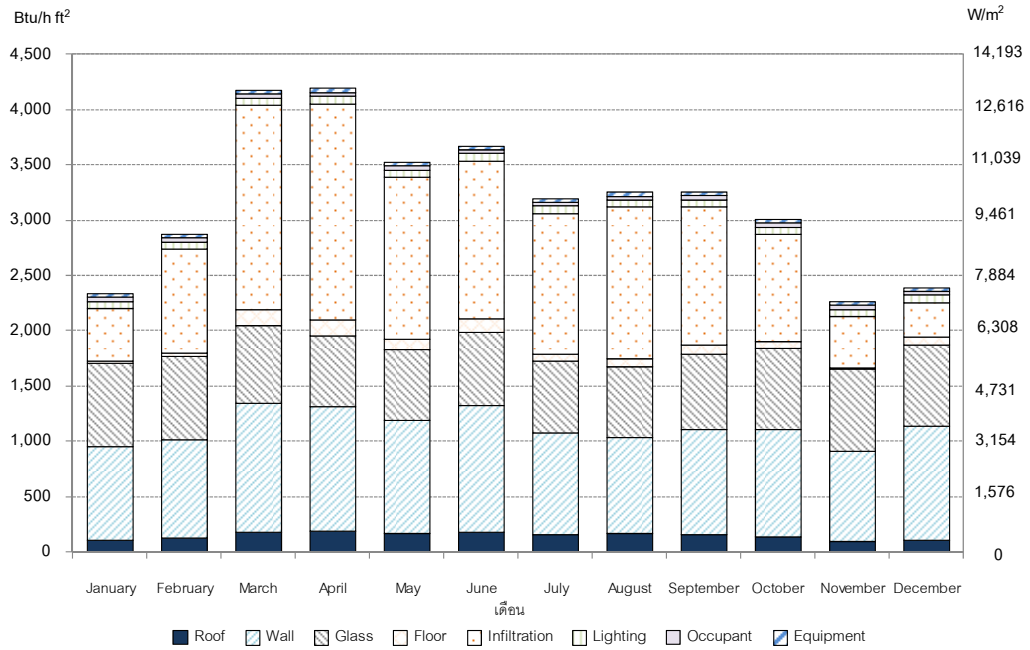
แผนภูมิที่ 3-15 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคกลาง



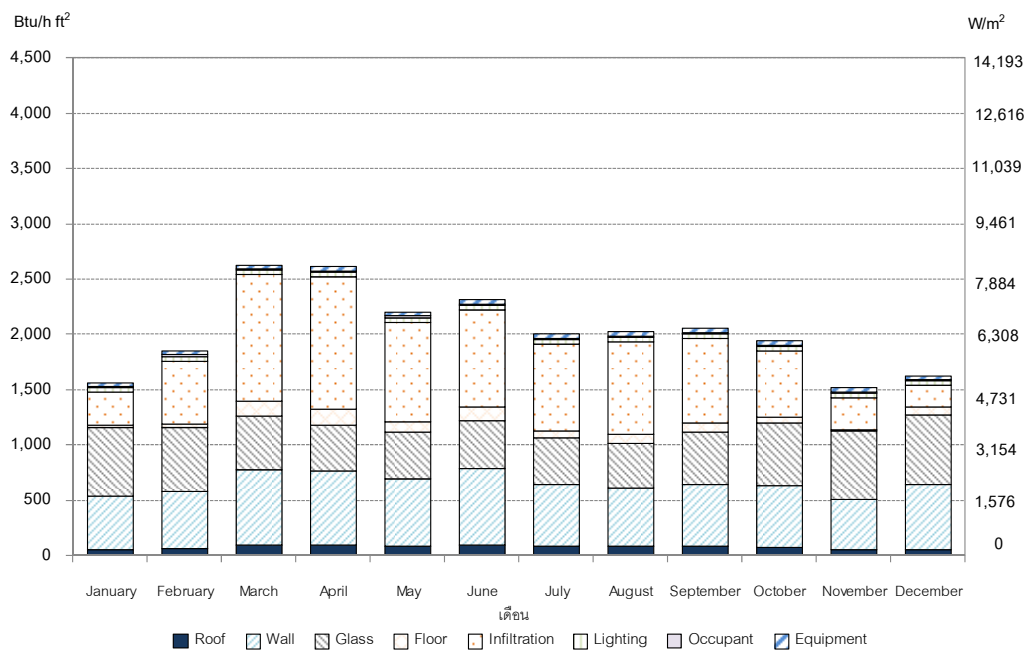
แผนภูมิที่ 3-16 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคใต้



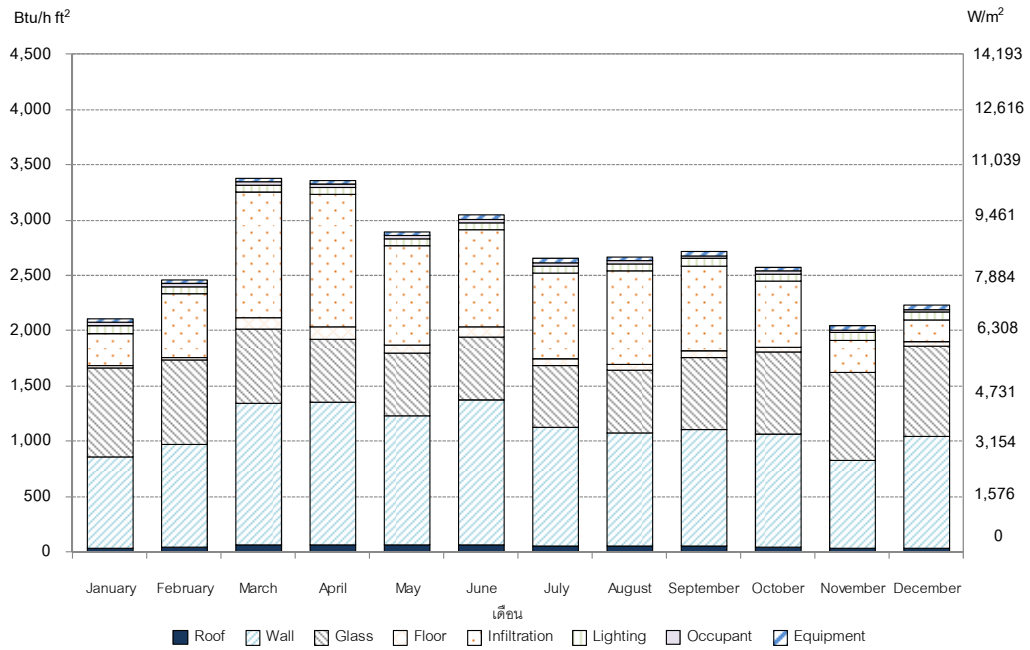
แผนภูมิที่ 3-17 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคอีสาน



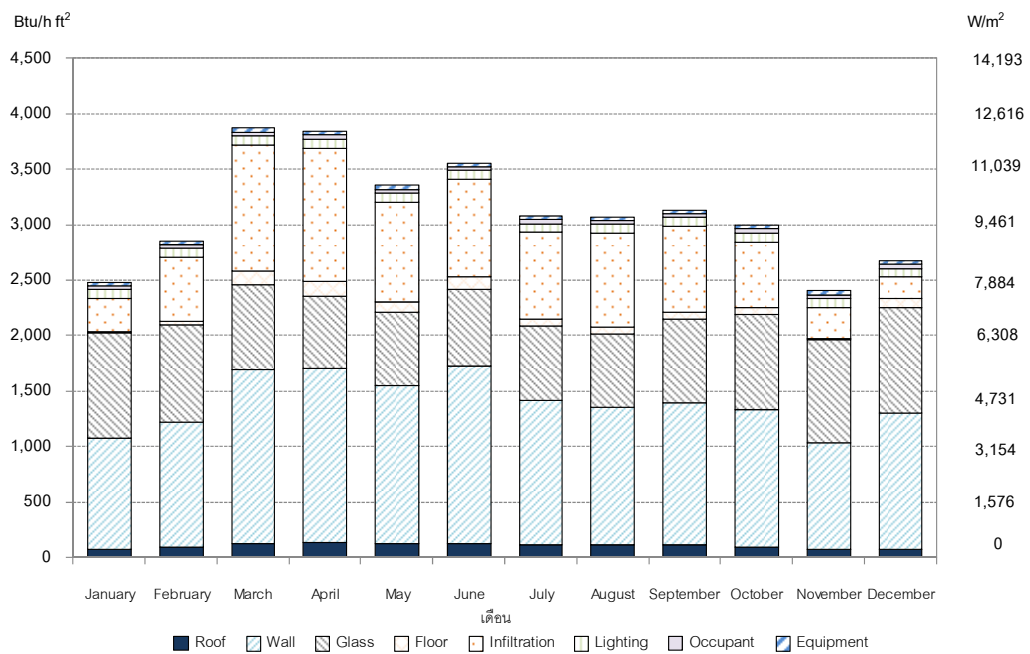
แผนภูมิที่ 3-18 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคเหนือ



แผนภูมิที่ 3-19 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 1



แผนภูมิที่ 3-20 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 2

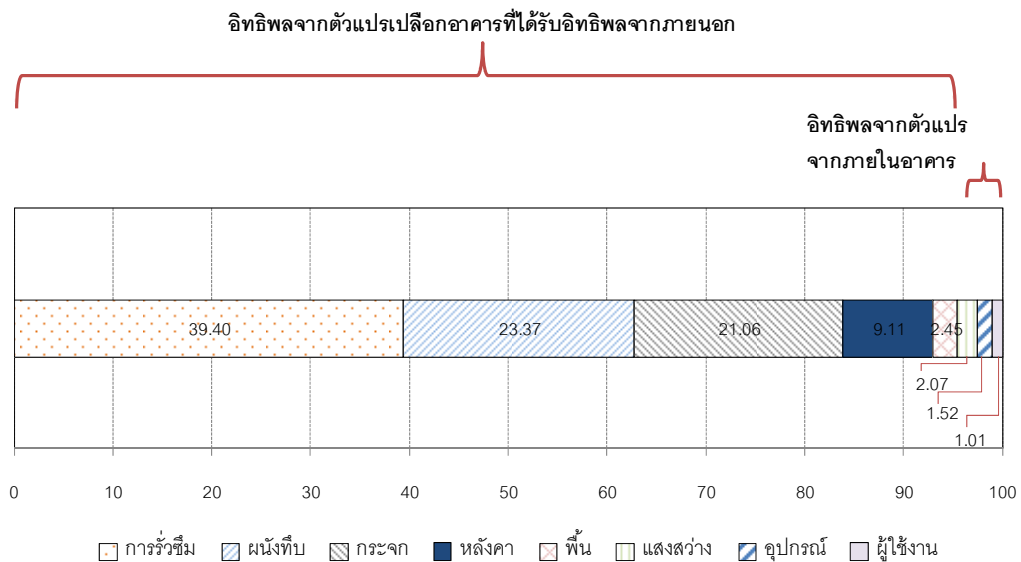


แผนภูมิที่ 3-21 แสดงค่าภาระทำความเย็นของตัวแปรต่างๆ ทุกเดือนใน 1 ปี ของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 3

จากการวิเคราะห์ตัวแปรด้านภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย 16 หลัง สามารถนำค่าจากการคำนวณมาหาสัดส่วนค่าภาระการทำความเย็นของส่วนต่างๆของอาคารว่า ส่วนประกอบใดของอาคารมีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด และส่วนประกอบของอาคารส่วนใดมีค่าภาระการทำความเย็นต่ำสุด โดยสามารถนำมาสรุปในตารางที่ 3-11 โดยทำการแยกค่าภาระการทำความเย็นของส่วนประกอบต่างๆของอาคารเพื่อให้ทราบว่าในแต่ละส่วนประกอบของอาคารมีค่าเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของค่าภาระการทำความเย็นทั้งหมด

ตารางที่ 3-11 แสดงอัตราส่วนของแต่ละตัวแปรในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย ตัวอย่าง 16 หลัง

บ้านตัวอย่าง (กรณีศึกษา)	ผนังทึบ	กระจก	หลังคา	พื้น	การรั่วซึม	แสงสว่าง	ผู้ใช้งาน	อุปกรณ์
โครงการบ้านอยู่สบายประหยัดพลังงาน แบบ A	14.81	13.85	3.35	2.51	61.37	1.42	1.01	1.68
โครงการบ้านอยู่สบายประหยัดพลังงาน แบบ B	24.87	21.73	4.24	1.91	42.69	2.15	1.21	1.21
โครงการบ้านอยู่สบายประหยัดพลังงาน แบบ C	27.35	24.81	3.95	2.95	34.94	3.41	1.29	1.30
บ้านแบบประหยัด 1	9.49	16.10	10.45	1.40	59.16	0.80	0.74	1.86
บ้านแบบประหยัด 2	8.05	18.37	15.06	2.70	51.48	1.53	0.80	2.01
บ้านแบบประหยัด 3	23.89	17.51	12.35	1.39	40.43	1.63	1.05	1.75
บ้านครอบครัวไทยเป็นสุข 1	13.55	15.77	26.13	2.31	38.05	1.31	1.08	1.80
บ้านครอบครัวไทยเป็นสุข 2	17.41	16.24	23.98	3.64	34.15	2.06	0.95	1.58
บ้านครอบครัวไทยเป็นสุข 3	26.08	25.62	16.11	1.63	25.85	1.95	1.38	1.38
บ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคกลาง	23.87	29.62	5.74	1.58	34.91	2.07	0.83	1.38
บ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคใต้	25.11	18.46	5.59	4.31	40.54	3.33	1.00	1.66
บ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคอีสาน	18.90	21.69	5.28	2.25	47.29	2.18	0.90	1.51
บ้านไทยอนุรักษ์ไทย ภาคเหนือ	30.90	21.83	4.55	2.39	36.06	2.08	1.10	1.10
แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 1	28.33	24.99	3.77	3.72	34.67	2.11	0.69	1.73
แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 2	39.74	25.12	1.88	2.13	26.26	2.51	1.04	1.31
แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3	41.62	25.23	3.39	2.30	22.60	2.61	1.12	1.13
ค่าเฉลี่ย	23.37	21.06	9.11	2.45	39.40	2.07	1.01	1.52



แผนภูมิที่ 3-22 แสดงค่าน้ำหนักของกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของอาคาร

จากการวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของบ้านตัวอย่างทั้ง 16 พบว่าอัตราการร่วซึมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงที่สุดถึง 39.40 เปอร์เซ็นต์ โดยกรอบอาคาร ผนังอาคาร หลังคา กระจก พื้น มีค่าภาระการทำความเย็นรวมกันประมาณ 55.99 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นเป็นค่าภาระการทำความเย็นซึ่งเกิดจากอิทธิพลภายในอาคารได้แก่ หลอดไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า และผู้ใช้งานอีก 4.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอิทธิพลจากภายในอาคารนั้น ขึ้นอยู่กับเวลาการใช้งานคือเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน ค่าภาระการทำความเย็นของอุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะสูงตาม ดังนั้นในการออกแบบแบบประเมินอาคารเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการประเมิน จึงแยกการประเมินเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) การประเมินค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกรอบอาคาร 2) การประเมินค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า 3) การประเมินค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า 4) การประเมินค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการร่วซึมอากาศ ดังนั้นผลที่ได้จากการประเมินอาคารจะมีทั้งผลของค่าภาระการทำความเย็นที่เป็น 4 ส่วน ทำให้สามารถผู้ใช้โปรแกรมสามารถตัดสินใจในการปรับแก้ปัจจัยที่ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานตามแบบประเมินกำหนดได้ พร้อมทั้งยังมีค่าภาระการทำความเย็นรวมทั้งหมดของปัจจัยต่างๆ ค่าที่ได้จะแสดงผลเป็นค่าที่ใช้พลังงานต่อปีเพื่อเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบกับอาคารคุณภาพดี สำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงอาคาร

3.7 การออกแบบแบบประเมินอาคาร

สร้างแบบประเมินอาคารสำหรับการคำนวณหาค่าการใช้พลังงานในอาคารที่เกิดจากอิทธิพลจากตัวแปรต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ในการคำนวณและประมวลผล โดยสร้างฐานข้อมูลด้านวัสดุ กับสูตรการคำนวณต่างๆ เพื่อใช้ในการประกอบกรคำนวณอาคาร โดยผู้ออกแบบหรือผู้ใช้โปรแกรมจะต้องกรอกข้อมูล

- ชื่ออาคาร
- ที่ตั้ง
- จำนวนผู้ใช้งาน
- เวลาการใช้งานอาคาร
- ขนาดอาคาร
- วัสดุ ฉนวน หลังคา กระจก พื้น

จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารที่กรอกข้อมูลลงไป โปรแกรม พร้อมแสดงผลของค่าภาระการทำความเย็นของปัจจัยต่างๆ และคะแนนของอาคารที่ออกแบบว่าอยู่ในเกณฑ์ใด โดยแบบประเมินจะแบ่งเกณฑ์การให้คะแนนเป็น 6 ช่วงได้แก่ ระดับ A⁺ ระดับ A ระดับ B⁺ ระดับ B ระดับ C⁺ ระดับ C ระดับ D⁺ ระดับ D

3.8 แบบประเมินความคิดเห็นจากผู้ใช้งานโปรแกรม

เมื่อได้โปรแกรมที่ได้จากการพัฒนาจากข้อมูลพื้นฐานของตัวแปรต่างๆ เรียบร้อย และทำการทดลองใช้โดยผู้วิจัยเมื่อได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จึงนำโปรแกรมนี้ไปทดสอบกับผู้ใช้งานจริงซึ่งเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบของสำนักงานสถาปนิก จำนวน 21 คน โดยทำการทดสอบโปรแกรมจริง โดยผู้ใช้โปรแกรมต้องทำการถอดแบบก่อสร้างตามแบบฟอร์มของโปรแกรมที่จัดให้ โดยจะจับเวลาการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่การถอดแบบและการใช้โปรแกรม เนื่องจากการถอดแบบนี้มีวิธีคิด ตามประสบการณ์การทำงานของผู้ทดสอบที่แตกต่างกัน ทำให้เวลาในการถอดแบบนี้ อาจจะมีความคลาดเคลื่อนมาก ส่วนเวลาในการกรอกข้อมูลนั้นสามารถตอบสนองต่อการใช้งานจริงหรือไม่ ซึ่งถ้าผู้ทดสอบสามารถกรอกข้อมูลในแบบประเมินได้ในเวลาอันสั้น ก็สามารถนำไปเป็นเครื่องมือตรวจสอบการออกแบบที่ไม่ต้องใช้เวลามากเพื่อคำนวณการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องใช้เวลานานมากเหมือนในอดีต หลังจากนั้นจะให้ผู้ทดสอบตอบแบบสอบถาม (ดูภาคผนวก ค) เพื่อเป็นข้อมูลแก่ผู้วิจัยในการปรับปรุง และขอเสนอแนะในการปรับปรุงโปรแกรมนี้ในอนาคต

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทั่วไปและประสบการณ์ในการออกแบบด้านพลังงาน

ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลจากการทดสอบโปรแกรมเรื่องการใช้งาน ความยาก ความง่ายต่อการกรอกข้อมูล ความเข้าใจผลลัพธ์ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแบบประเมินโดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และรวบรวมข้อมูลที่เป็นข้อเสนอแนะสำหรับกรวิจัยที่ต้องการพัฒนาต่อไป

จากระเบียบวิธีวิจัย สามารถสรุปขั้นตอนในการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ในการสร้างค่าดัชนีในแบบประเมินอาคาร โดยตัวแปรต่างๆที่ทำกรวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็นตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกอาคาร ได้แก่ กรอบอาคาร (ผนัง หลังคา ช่องเปิด และพื้น) และการรั่วซึม ตัวแปรที่เกิดจากอิทธิพลภายในอาคาร ได้แก่ อุณหภูมิไฟฟ้า หลอดไฟฟ้า โดยตัวแปรต่างๆเหล่านี้ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างแบบประเมินอาคารโดยโปรแกรม Microsoft Office Excel เพื่อการใช้งานและประมวผลที่มีประสิทธิภาพ โดยผ่านขั้นตอนในการทดสอบใช้งานจริงจากผู้ออกแบบและผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อปรับปรุงและแก้ไขข้อมูลจากผลการทดสอบ เพื่อการปรับปรุงและการตั้งค่าโปรแกรมการคำนวณที่เหมาะสมต่อผู้ใช้งาน สามารถสรุปในการวิเคราะห์ผลการวิจัยต่อไปได้

บทที่ 4

ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างดัชนีในแบบประเมิน

การสร้างค่าดัชนีจากตัวแปรต่างๆเพื่อจัดทำแบบประเมินอาคารสำหรับการประเมินผล ประสิทธิภาพอาคารที่ออกแบบ โดยมีตัวแปรในเรื่องพลังงานสะสม และภาระการทำความเย็นของ อาคาร จะวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆในการออกแบบที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเป็น หลัก เพื่อสร้างเกณฑ์คะแนนในการใช้ประเมินอาคารที่อนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก

4.1 การวิเคราะห์พลังงานสะสมของวัสดุสำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร

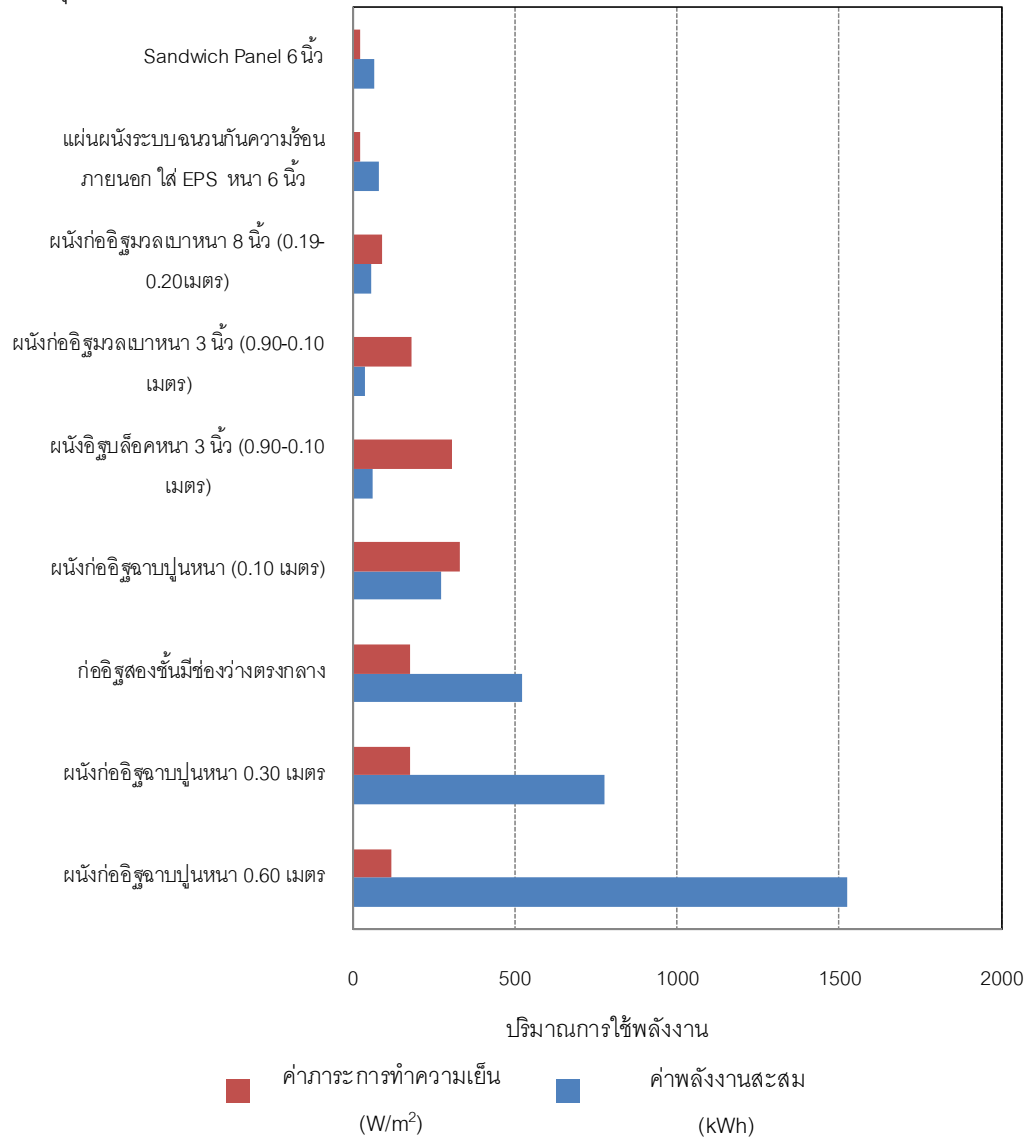
ค่าพลังงานสะสมของวัสดุเป็นค่าของพลังงานจากการผลิตวัสดุ โดยจะพิจารณาจาก วัสดุดิบว่ามาจากทรัพยากรที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือเป็นทรัพยากรที่หมดไป โดยในการ ผลิตวัสดุก่อสร้าง 1 ชนิด จะต้องมีการผลิตที่หลากหลายนำมาประกอบกัน โดยจะคิดพลังงานจากการ นำวัสดุดิบเหล่านั้นมาใช้ในการผลิตวัสดุ โดยวัสดุต่างๆจะมีค่าพลังงานสะสมต่างกัน มีหน่วยเป็น เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ค่าที่ได้นี้จะคิดตามน้ำหนักของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างอาคาร โดยค่าพลังงานสะสมในการวิจัยนี้จะคิดเฉพาะค่าพลังงานสะสมของการผลิตวัสดุ ไม่พิจารณาค่า พลังงานสะสมที่เกิดจากการขนส่ง โดยจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพลังงานสะสมของวัสดุที่ ใช้ในการก่อสร้างในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบตามตารางที่ 4-1

ค่าพลังงานสะสมมีความสัมพันธ์กับน้ำหนัก หรือปริมาณของวัสดุ แต่ไม่มีความสัมพันธ์ กับค่าภาระการทำความเย็น เนื่องจากในแผนภูมิที่ 4-1 และแผนภูมิที่ 4-2 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบ ค่าภาระการทำความเย็นของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 ม. ที่มีค่าเท่ากับ 176.72 W/m^2 มีค่า พลังงานสะสมเท่ากับ 773.63 kWh เมื่อเทียบกับ ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.75 ม. มีค่าภาระการ ทำความเย็น 181.75 W/m^2 มีค่าพลังงานสะสมเท่ากับ 35.23 kWh จะพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ค่าพลังงานสะสมเป็นลักษณะของวัสดุจากการแปรรูปการผลิต การวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมจะ วิเคราะห์ตลอดอายุการใช้งานของอาคารโดยพิจารณาที่ 50 ปี การวิเคราะห์หาความเหมาะสม ของพลังงานสะสมจะคำนวณจากค่าภาระการทำความเย็นของอาคารจากวัสดุเดียวกันแต่มีการ เพิ่มความหนาของฉนวน เมื่อพิจารณาจะสามารถหาจุดที่เหมาะสมต่อการเลือกใช้ความหนาของ ฉนวนในการเลือกวัสดุครอบอาคารได้ อาทิเช่นผนังอาคารเมื่อวิเคราะห์ผนังระบบฉนวนภายนอก เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำสุด พบว่าผนังระบบฉนวนภายนอกที่มีความ หนา 2 นิ้ว จะมีความเหมาะสมในการเลือกใช้เพราะมีค่าเทียบเท่าค่าพลังงานสะสมของวัสดุ

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับค่าพลังงานสะสมของวัสดุ (จากการคำนวณ)

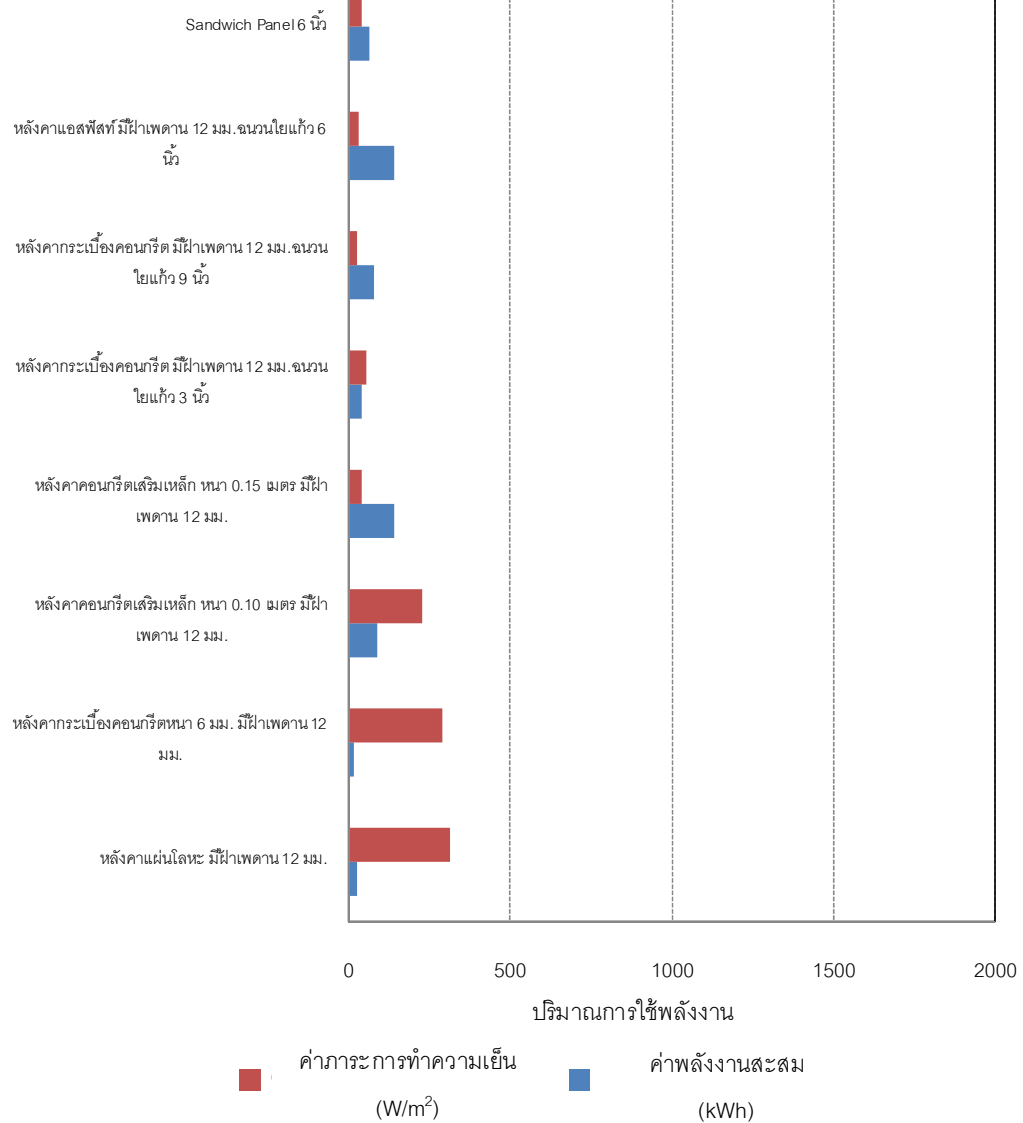
ผนังอาคาร	$\sum R$ (ft ² F/Btu)	U (Btu/h ft ² F)	Embodied Energy (kWh)
ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 เมตร	4.83	0.207	1524.03
ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 เมตร	3.03	0.33	773.63
ก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง	3	0.333	523.49
ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.10 เมตร)	1.68	0.595	273.36
ผนังอิฐบล็อกจากหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	1.84	0.543	61.1
ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	3.09	0.324	35.23
ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 8 นิ้ว (0.19-0.20เมตร)	6.19	0.162	55.23
แผ่นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใส EPS หนา 6 นิ้ว	26.1	0.038	81.36
Sandwich Panel หนา 6 นิ้ว(ผนังเหล็กที่ดลอนแกนกลางใส EPS หนา 6 นิ้ว)	24.03	0.042	65.68
หลังคาอาคาร	$\sum R$ (ft ² F/Btu)	U (Btu/h ft ² F)	Embodied Energy (kWh)
หลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม.	2.83	0.353	22.98
หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม.	2.87	0.348432056	15.93
หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.	3.87	0.258	86.85
หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	20.48	0.049	138.25
หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	17.12	0.058	37.33
หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 9 นิ้ว	39.12	0.026	80.130
หลังคาแอสฟัลท์ มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	29.45	0.034	141.4
Sandwich Panel 6 นิ้ว	24.03	0.042	65.68
พื้น	$\sum R$ (ft ² F/Btu)	U (Btu/h ft ² F)	Embodied Energy (kWh)
พื้นไม้	1.71	0.585	30.22
พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ปูกระเบื้อง	1.91	0.524	77.25
พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ปูกระเบื้อง ฉนวน EPS 2 นิ้ว	10.61	0.094	90.23
กระจก	$\sum R$ (ft ² F/Btu)	U (Btu/h ft ² F)	Embodied Energy (kWh)
กระจกใส หนา 6 มม.	0.96	1.04	68.90
กระจกใส หนา 6 มม.	0.99	1.01	114.83
กระจกLow-E หนา 6 มม.	1.59	0.63	68.90
กระจกHeat-Reflective หนา 6 มม.	1.85	0.54	114.40
กระจกHeat-Stop 24 มม.	2.94	0.34	457.60

วัสดุผนังอาคาร



แผนภูมิที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นกับค่าพลังงานสะสมของวัสดุผนังอาคารแต่ละชนิด โดยใช้การคำนวณที่ 1 ตารางเมตร อายุอาคารเท่ากับ 50 ปี จะพบว่าค่าภาระการทำความเย็นและค่าพลังงานสะสมของวัสดุต่างๆ ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกัน

วัสดุหลังคาอาคาร



แผนภูมิที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าการทำความเย็นกับค่าพลังงานสะสมของวัสดุหลังคาอาคารแต่ละชนิด โดยใช้การคำนวณที่ 1 ตารางเมตร อายุอาคารเท่ากับ 50 ปี จะพบว่าค่าการทำความเย็นและค่าพลังงานสะสมของวัสดุต่างๆ ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกัน

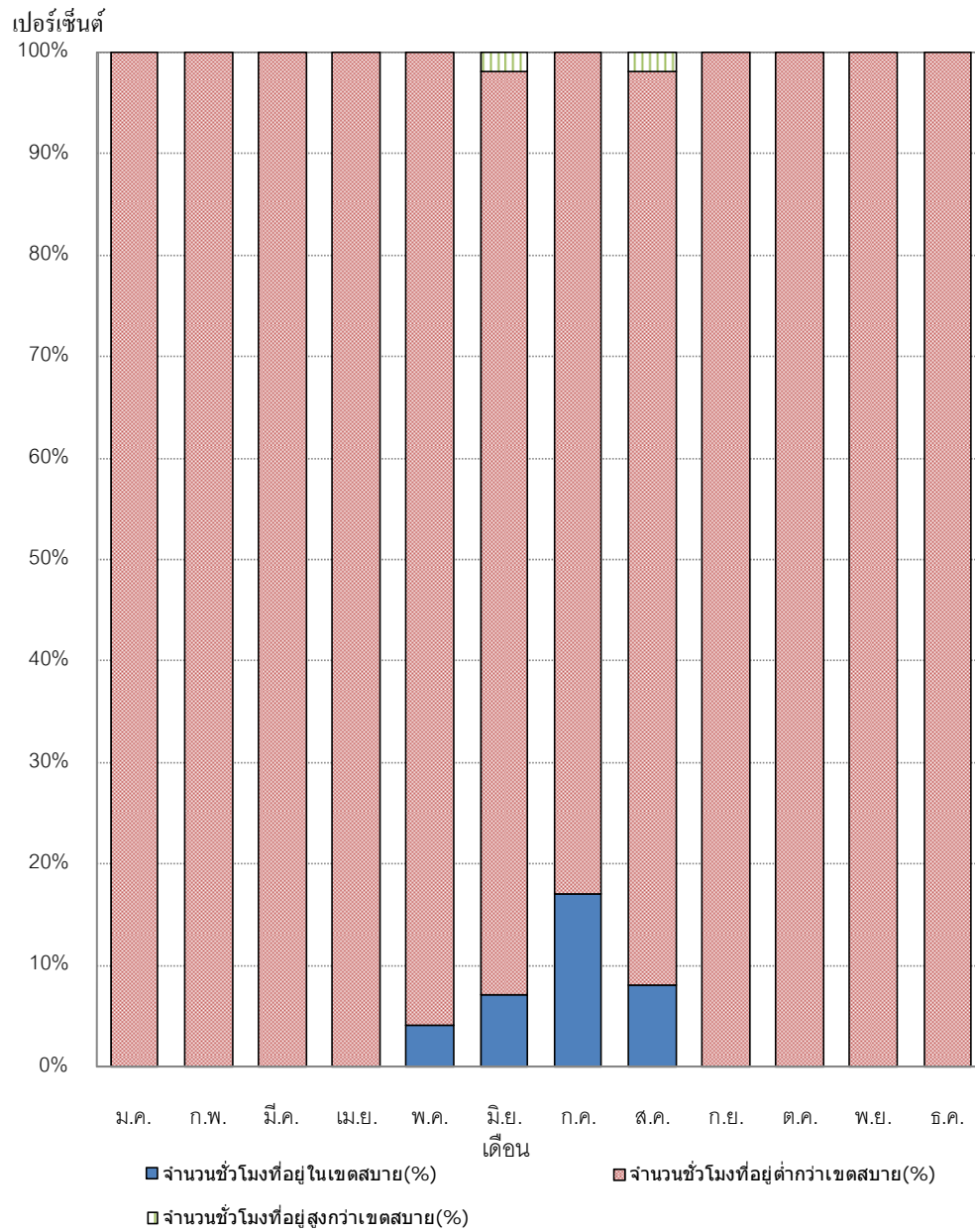
จากแผนภูมิที่ 4-1 และแผนภูมิที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานสะสมของวัสดุเปรียบเทียบกับค่าการทำความเย็นของวัสดุชนิดเดียวกัน โดยคำนวณที่อายุอาคารเท่ากับ 50 ปีพิจารณาที่พื้นที่ 1 ตารางเมตรเท่ากัน พบว่าค่าการทำความเย็นกับค่าพลังงานสะสมนี้ ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกัน ค่าพลังงานสะสมจะขึ้นอยู่กับการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิต และไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนที่จะลดค่าการทำความเย็นของอาคาร ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมและค่าการทำความเย็นควรแยกพิจารณาตามช่วงอายุของอาคาร

4.2 การวิเคราะห์สภาพอากาศของประเทศที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาตัวแปรต่างๆในการออกแบบอาคารพบว่าสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากถ้าสภาพภูมิอากาศมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้เพื่อการอยู่อาศัย ไม่ต้องใช้ระบบปรับอากาศในอาคาร หรือมีค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกน้อยมากก็จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ (พิจารณาที่ช่วงอุณหภูมิที่อยู่ในเขตสบาย) เมื่อเทียบกับสภาพภูมิอากาศที่มีความแตกต่างอุณหภูมิสูง จากการที่ศึกษาประเทศที่เป็นต้นแบบในการใช้แบบประเมินอาคารสิ่งแวดล้อม 5 ประเทศ ทำให้สามารถแสดงความแตกต่างของรูปแบบสภาพภูมิอากาศ เกณฑ์การออกแบบอาคารที่แตกต่างของแต่ละประเทศได้ และสรุปผลวิเคราะห์เพื่อให้เห็นถึงข้อแตกต่างและข้อจำกัดของสภาพอากาศในประเทศต่างๆที่ศึกษาได้ โดยวิเคราะห์หาจำนวนชั่วโมงที่สามารถเข้าสู่สภาวะน่าสบายของแต่ละประเทศ ในสภาพภูมิอากาศปกติ และทำการวิเคราะห์หาเทคนิคการปรับแต่งสภาพภูมิอากาศนอกเขตสบายในแต่ละโซน ให้สามารถเพิ่มชั่วโมงในการสร้างสภาวะน่าสบายเพิ่มขึ้น โดยประเทศที่ศึกษามีดังต่อไปนี้

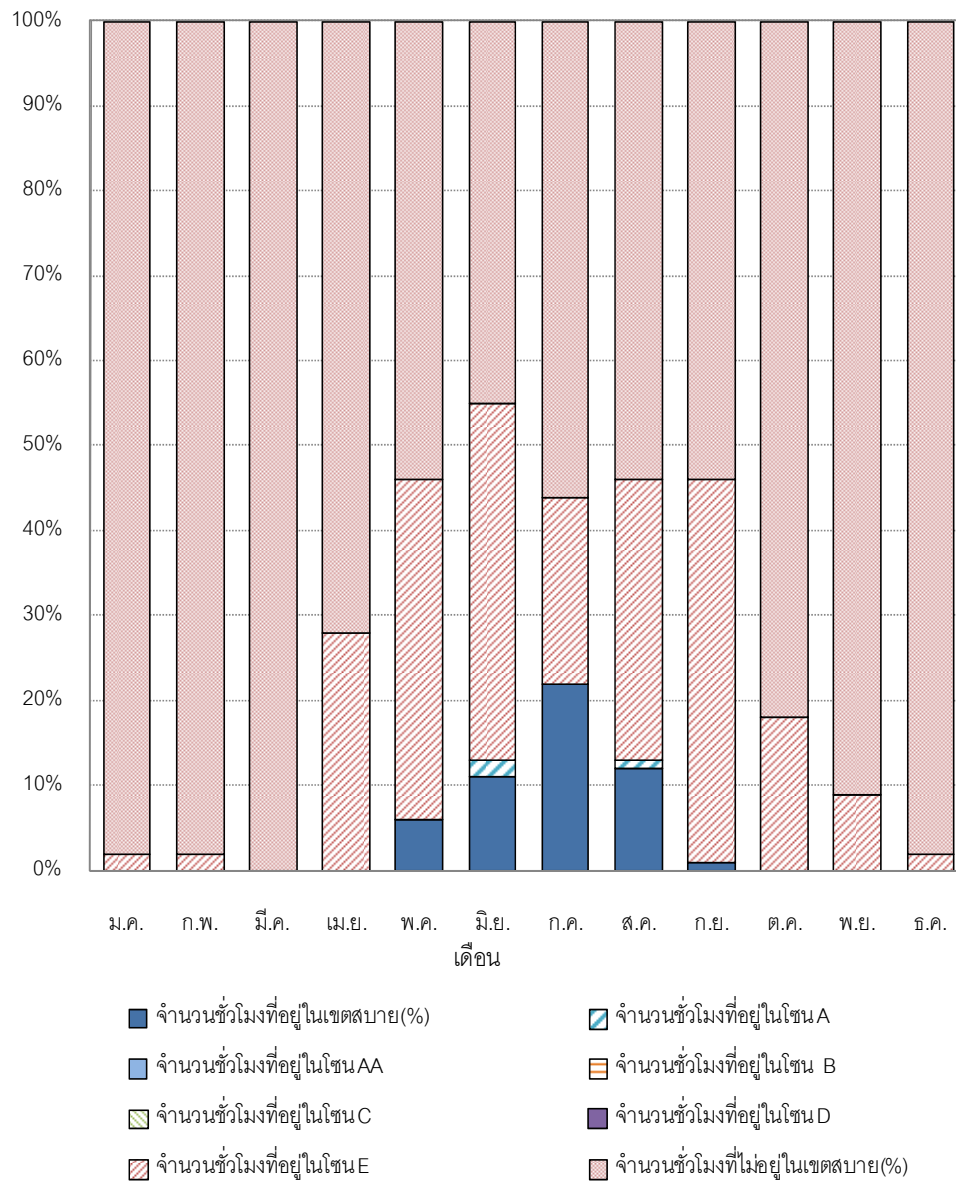
1. สหราชอาณาจักร (London)
2. ประเทศญี่ปุ่น (Tokyo)
3. ประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar)
4. ประเทศออสเตรเลีย (Sydney)
5. สหรัฐอเมริกา (New York Laguardia)
6. ประเทศไทย (Bangkok)

4.2.1 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของสหราชอาณาจักร (London)



แผนภูมิที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของสหราชอาณาจักร (London)

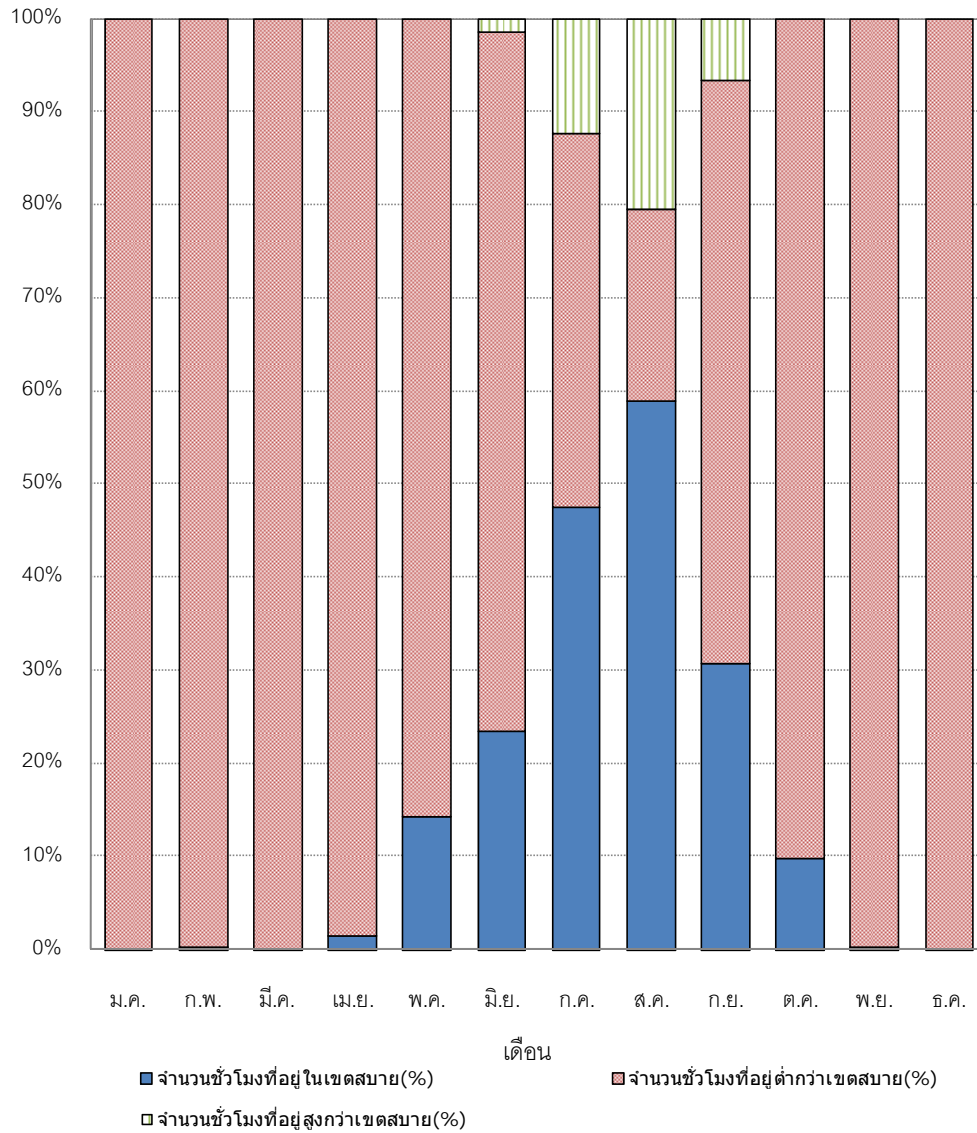
เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับสภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของสหราชอาณาจักร (London)

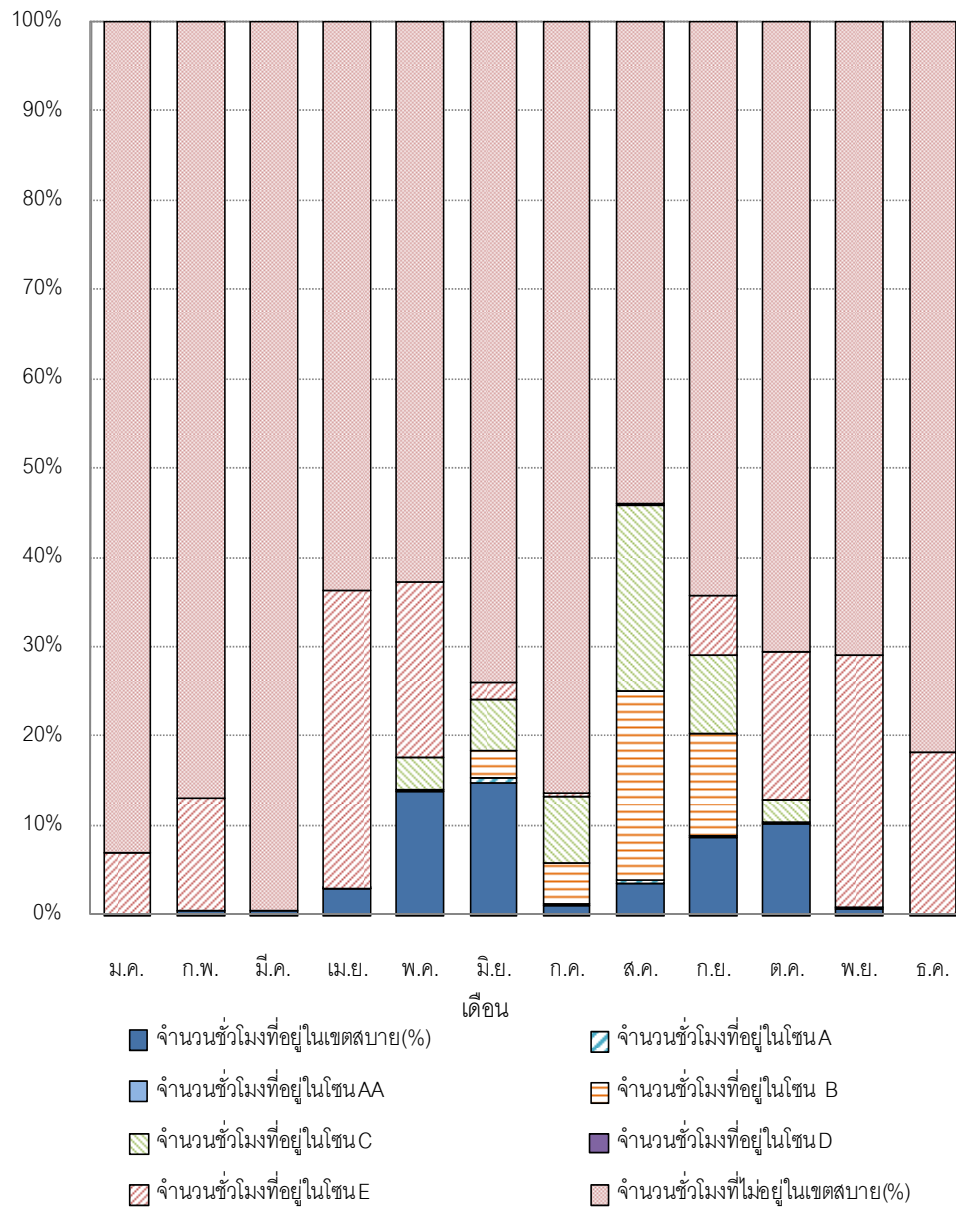
4.2.2 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของประเทศญี่ปุ่น (Tokyo)

เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 4-5 เปอร์เซนต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศญี่ปุ่น (Tokyo)

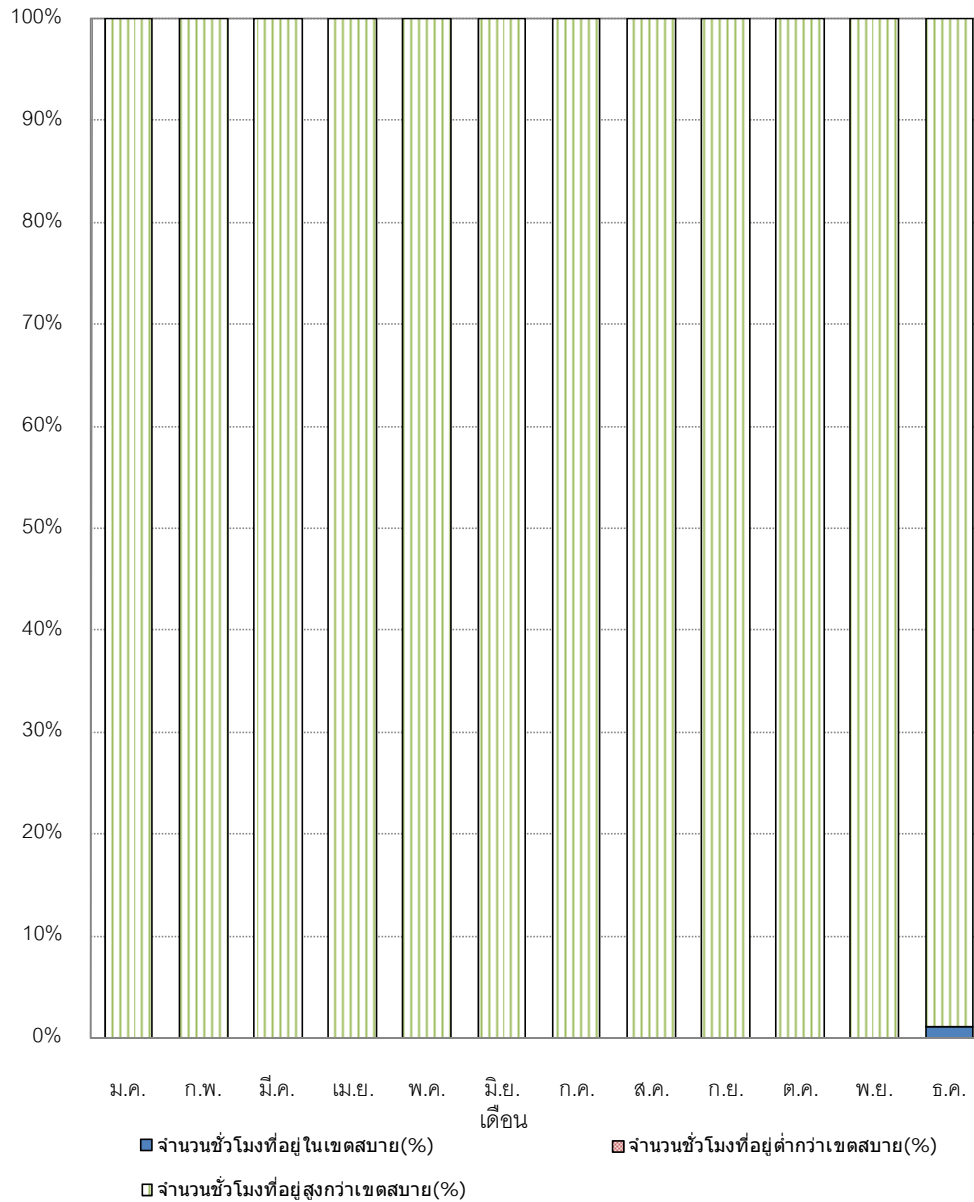
เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 4-6 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับสภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศญี่ปุ่น (Tokyo)

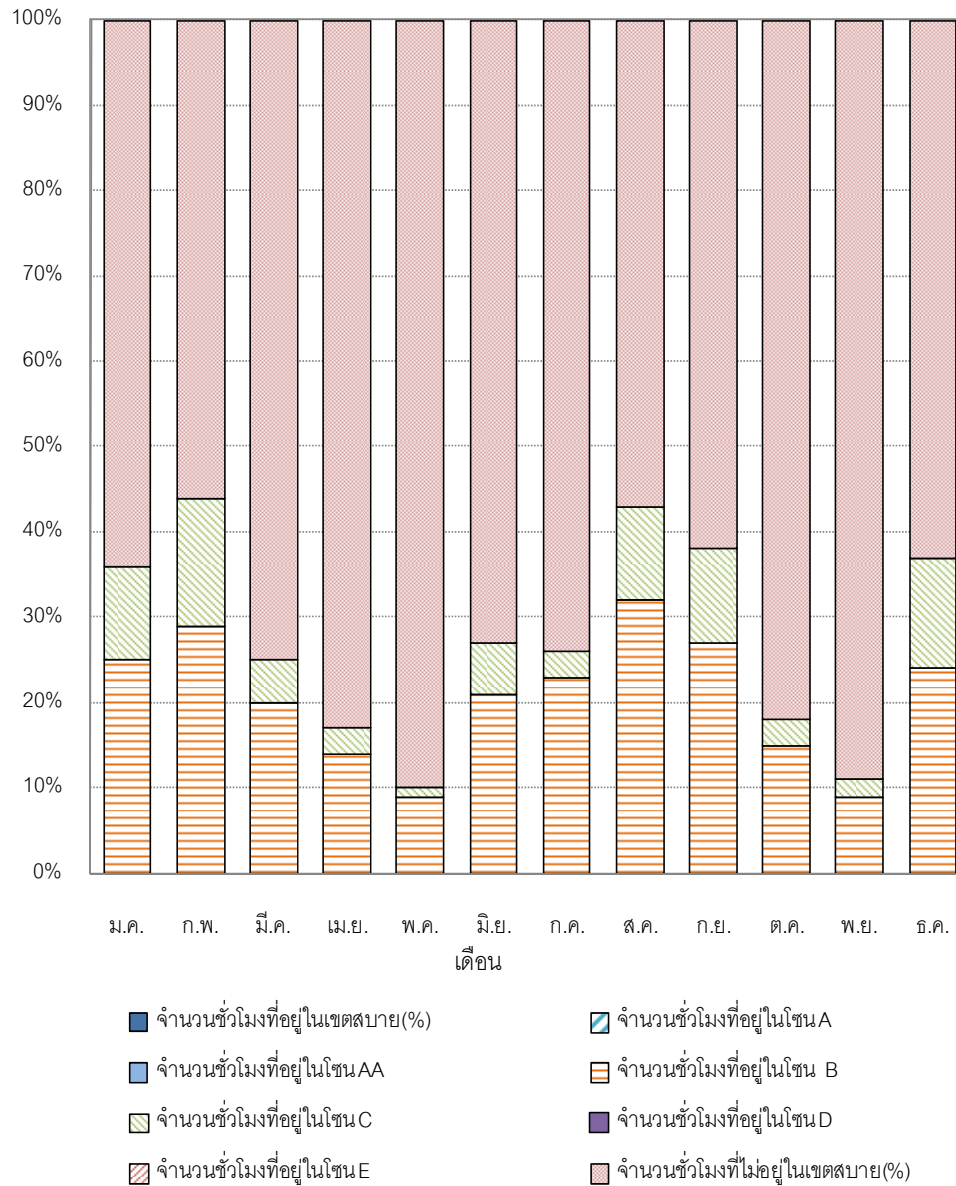
4.2.3 การวิเคราะห์สัมภาพภูมิอากาศของประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar)

เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 4-7 เปอร์เซนต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar)

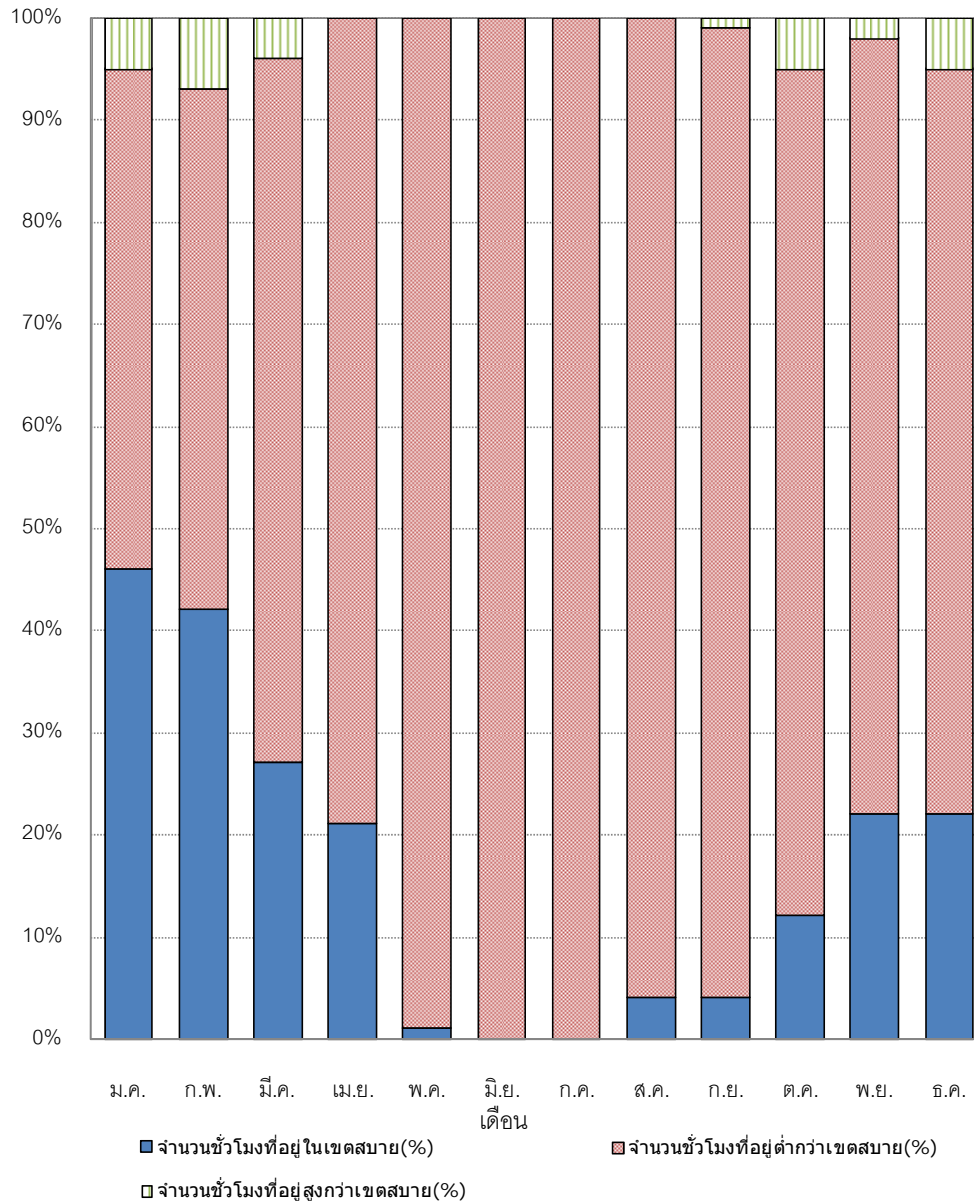
เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 4-8 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับสภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar)

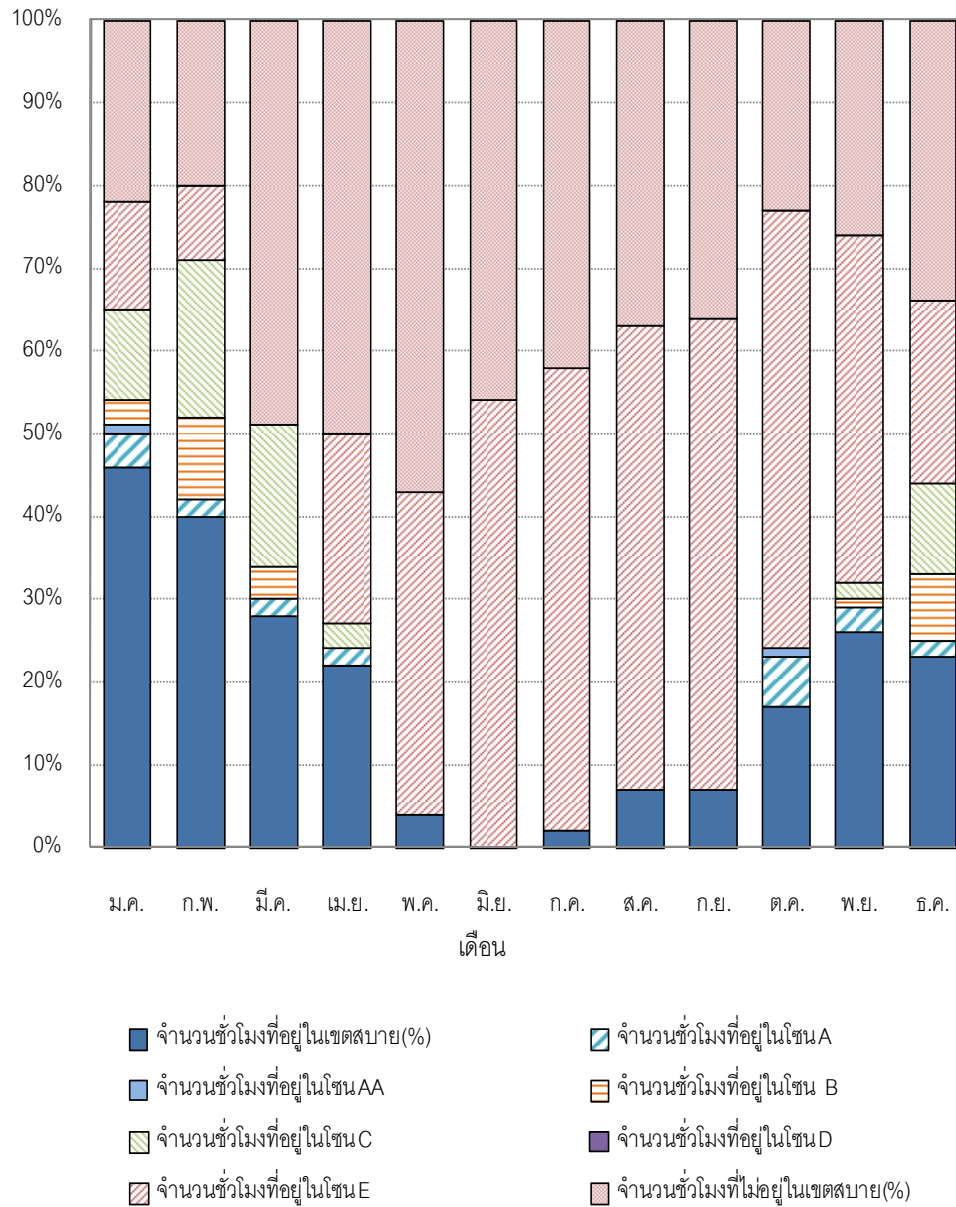
4.2.4 การวิเคราะห์สัมพัทธภาพภูมิอากาศของประเทศออสเตรเลีย (Sydney)

เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 4-9 เปอร์เซนต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศออสเตรเลีย (Sydney)

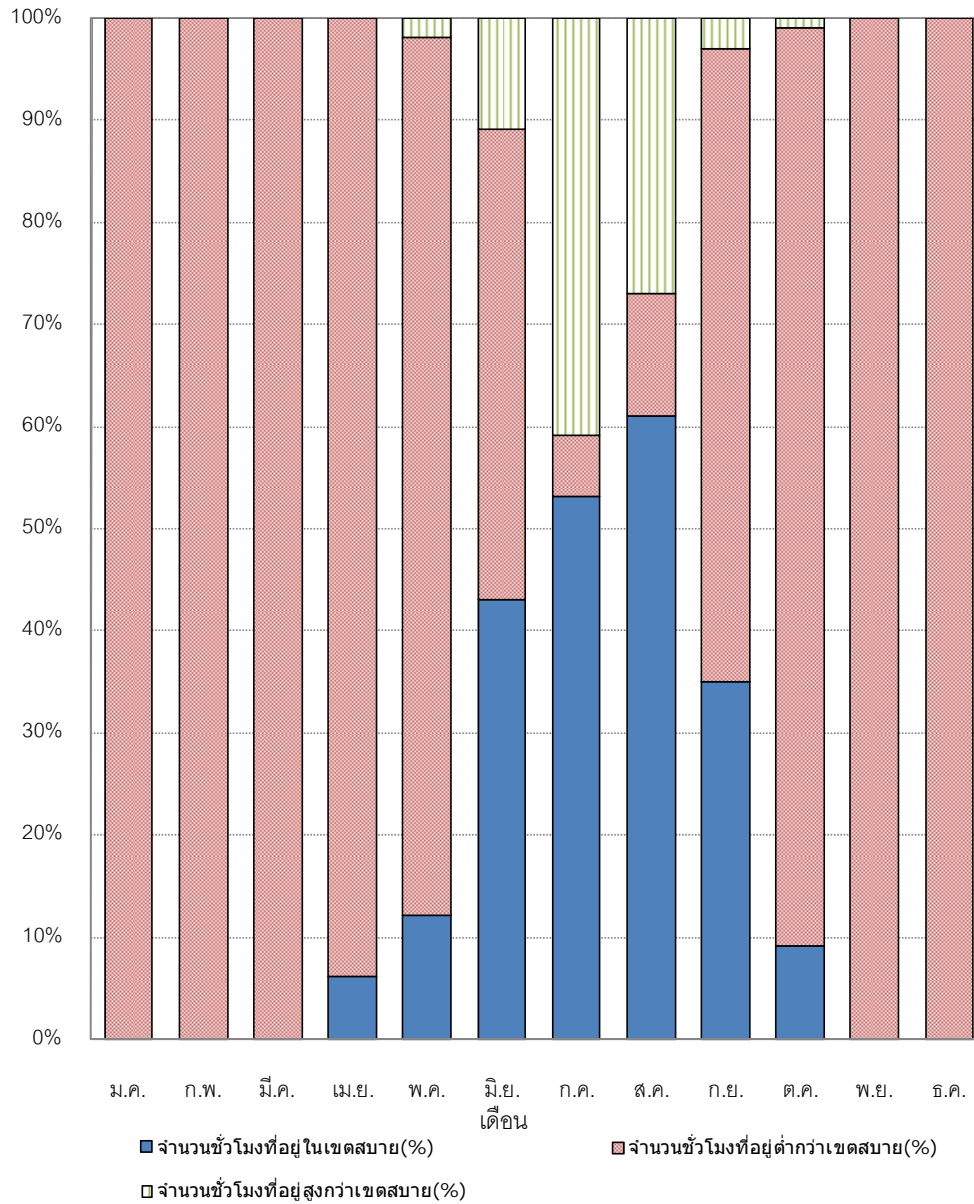
เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 4-10 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับสภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศออสเตรเลีย (Sydney)

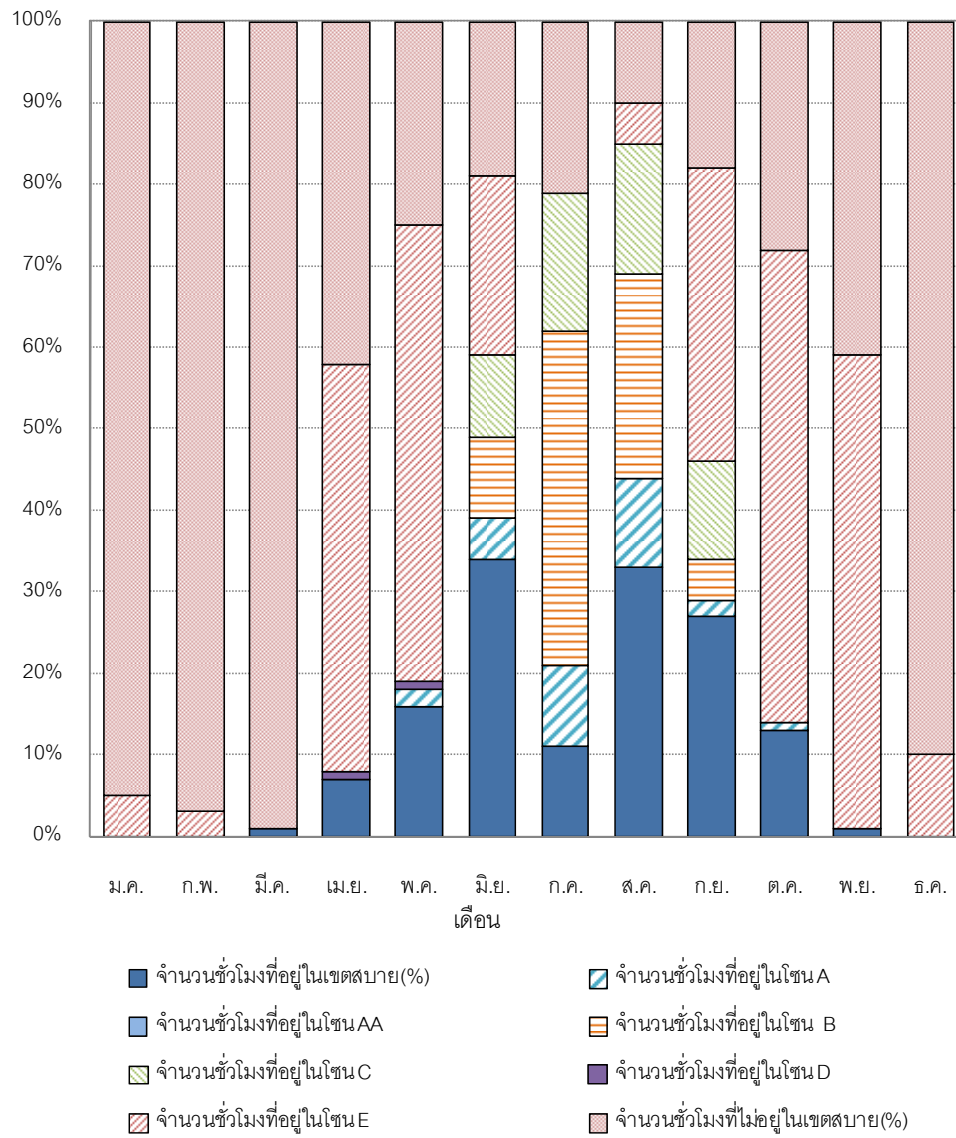
4.2.5 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของสหรัฐอเมริกา (New York Laguardia)

เปอร์เซ็นต์



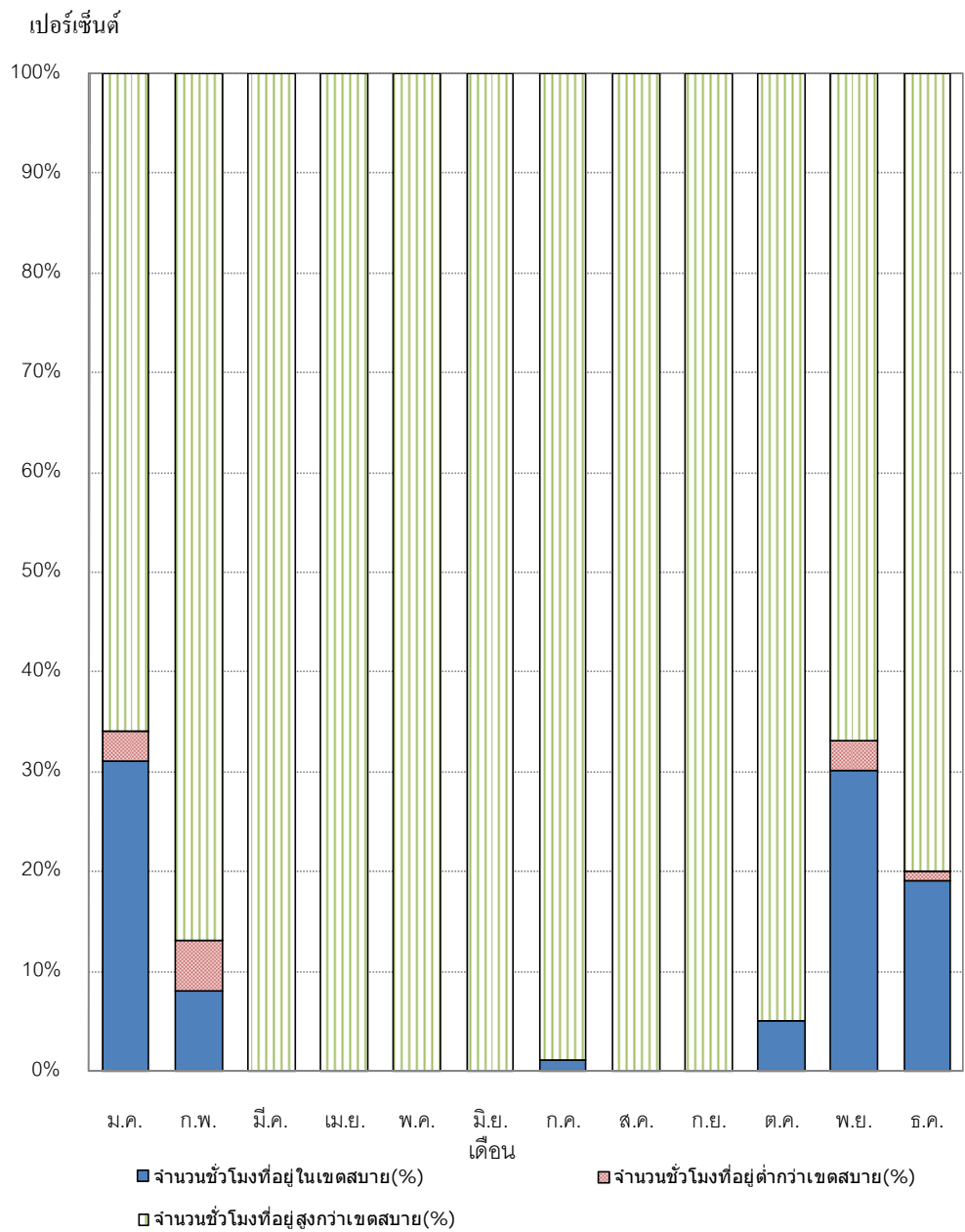
แผนภูมิที่ 4-11 เปอร์เซนต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของสหรัฐอเมริกา (New York Laguardia)

เปอร์เซ็นต์



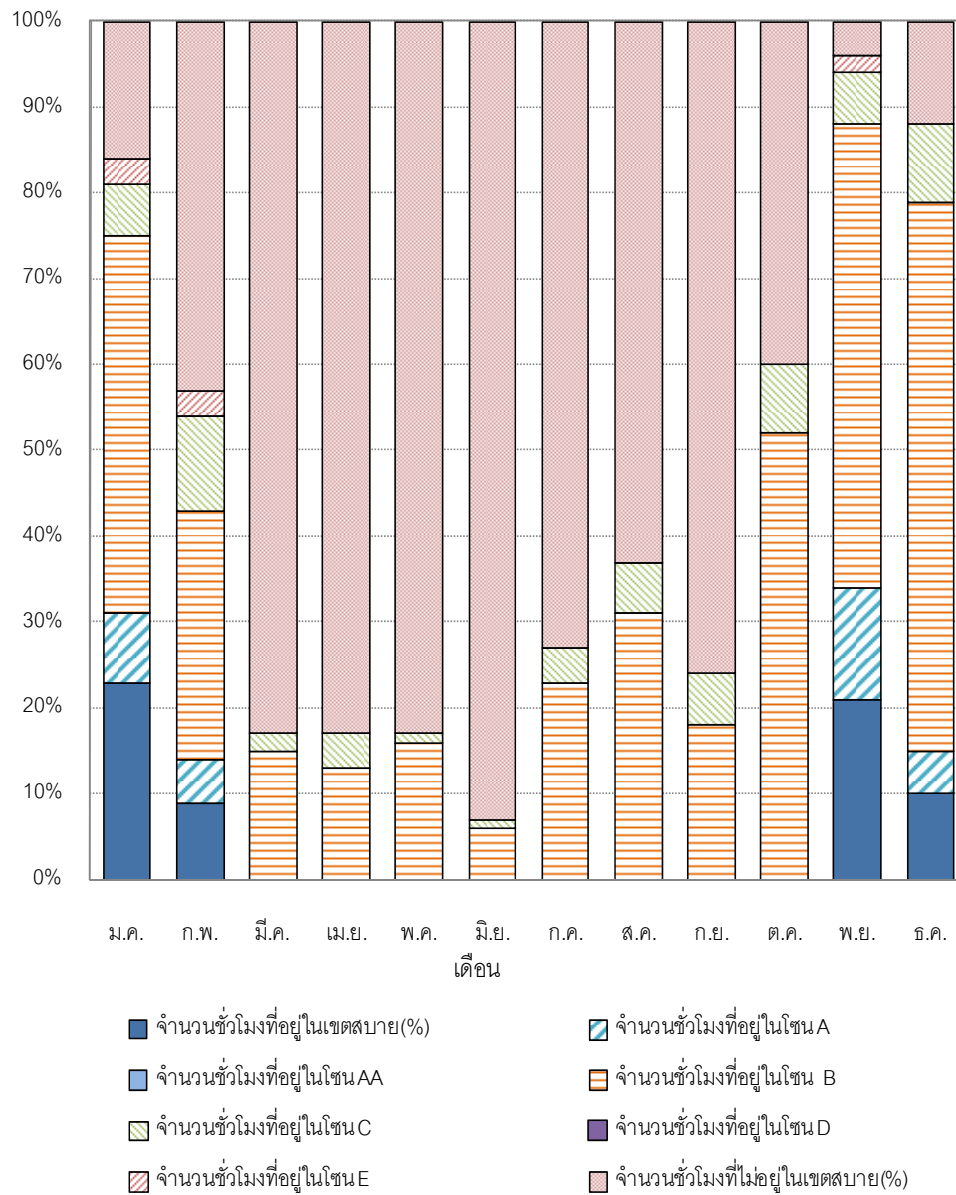
แผนภูมิที่ 4-12 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับสภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของสหรัฐอเมริกา (New York Laguardia)

4.2.6 การวิเคราะห์สัมพัทธภาพภูมิอากาศของประเทศไทย (Bangkok)



แผนภูมิที่ 4-13 เปอร์เซนต์ของจำนวนชั่วโมงแต่ละเดือนที่อยู่ในเขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศไทย (Bangkok)

เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 4-14 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทคนิคการปรับสภาพแวดล้อมในแต่ละเดือนที่อยู่นอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายของสภาพภูมิอากาศปกติของประเทศไทย (Bangkok)

จากแผนภูมิที่ 4-3 ถึงแผนภูมิที่ 4-14 พบว่าแต่ละประเทศมีรูปแบบและลักษณะสภาพภูมิอากาศแตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ลักษณะของอุณหภูมิและความชื้นตลอดปีของแต่ละประเทศพบว่าในเขตอบอุ่นมีอุณหภูมิต่ำกว่าเขตสบายเกือบตลอดทั้งปี เขตร้อนชื้นมีอุณหภูมิที่สูงและชื้นเกือบตลอดทั้งปี ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมาก ศักยภาพในการนำสภาพภูมิอากาศมาใช้ควบคู่กับการออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานก็จะแตกต่างกันออกไป อาทิเช่น สหราชอาณาจักร (London) ใช้การออกแบบช่องเปิดในการรับแสงในตอนกลางวันเพื่อนำมาสร้างความอบอุ่นให้กับภายในอาคาร จากการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยพบว่า ความร้อนและความชื้นเป็นปัญหาสำคัญในการสร้างสภาวะน่าสบาย ดังนั้นการสร้างกรอบอาคารที่สามารถกันความร้อนและความชื้นจึงเป็นเรื่องสำคัญ การใช้เทคนิคการปรับสภาพภูมิอากาศที่ใช้ได้กับประเทศไทย ต้องเพิ่มความเร็วลม การระเหยของน้ำ การลดอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบให้เย็นลงโดยการสร้าง MRT (Mean Radiant Temperature)

ตารางที่ 4-2 แสดงจำนวนชั่วโมงของแต่ละประเทศที่สามารถนำเทคนิคการปรับสภาพภูมิอากาศนอกเขตสบายให้เข้าสู่เขตสบายมาใช้ในประเทศต่างๆ

ประเทศ (เมือง)	จำนวนชั่วโมงในหนึ่งปี (%)							
	เขตสบาย (comfort zone)	โซน A	โซน AA	โซน B	โซน C	โซน D	โซน E	ไม่อยู่ในเขตสบาย
สหราชอาณาจักร (London)	5	0	0	0	0	0	20	75
ประเทศญี่ปุ่น (Tokyo)	5	0	0	3	4	0	12	76
ประเทศสิงคโปร์ (Paya Lebar)	1	0	0	21	7	0	0	71
ประเทศออสเตรเลีย (Sydney)	19	1	0	2	5	0	36	37
ประเทศไทย (Bangkok)	5	3	0	31	5	0	0	56
สหรัฐอเมริกา (New York Laguardia)	12	2	0	7	5	0	25	49

4.3 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของผนังสำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร

การสร้างแบบประเมินผนังเพื่อหาค่าดัชนีในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากวัสดุกรอบอาคารโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ(U) ซึ่งมีค่าผกผันโดยตรงกับค่าภาระการทำความเย็น โดยการวิเคราะห์จะทำการใช้สูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ เปรียบเทียบกันเพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าภาระการทำความเย็นจากวัสดุกรอบอาคาร โดยทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของของสีในการวิเคราะห์เนื่องจาก CLTD คือการปรับแก้คุณพหุมิติที่เกิดจากอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ ใช้ตารางวัสดุในกรณีศึกษาตามตารางที่ 4-3

การหาภาระการทำความเย็นจากสูตร CLTD พบว่า วัสดุที่นำมาใช้เป็นผนังนั้นนอกจากจะต้องพิจารณาเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแล้วนั้น มวลสารของวัสดุยังมีเรื่องของค่าความจุความร้อนจำเพาะ ในการกักเก็บความร้อน (Heat Storage) ของมวลสารในระยะเวลาหนึ่ง (Time Lag) ดังนั้นสามารถแบ่งกลุ่มของผนังทั้งหมด 7 กลุ่ม ได้แก่กลุ่ม A ถึง กลุ่ม G ตามน้ำหนักของวัสดุและการเรียงลำดับของส่วนประกอบผนังในแต่ละชั้นของผนังตามตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 แสดงรายละเอียดค่าความต้านทานความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารต่างๆที่ศึกษา

กลุ่ม	ผนังอาคาร	ΣR (ft ² F/Btu)	U (Btu/(h ft ² F))
A	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 เมตร	4.83	0.207
B	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 เมตร	3.03	0.33
C	ก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง	3	0.333
D	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.10 เมตร)	1.68	0.595
E	ผนังอิฐบล็อกจากหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	1.84	0.543
F	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	3.09	0.324
E	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 8 นิ้ว (0.19-0.20 เมตร)	6.19	0.162
G	แผ่นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใต้ EPS หนา 6 นิ้ว	26.1	0.038
G	Sandwich Panel หนา 6 นิ้ว(ผนังเหล็กที่ลดอุณหภูมิกลางใต้ EPS หนา 6 นิ้ว)	24.03	0.042

ตารางที่ 4-4 แสดงการแบ่งกลุ่มของประเภทผนังอาคารต่างๆ สำหรับการคำนวณหาค่าการกระทำ
ความเย็น (Stein et al., 1986)

Group NO.	Description of Construction	Weight (lb/ft ²)	U Value (Btu/h ft ² F)
101.6-mm (4-in.)Face Brick+(Brick)			
C	Air Space + 101.6-mm(4-in.) Face Brick	83	0.358
D	101.6-mm (4-in.)Common Brick	90	0.415
C	25.4-mm (1-in.)Insulation or Air Space + 101.6-mm (4-in.)Common Brick	90	0.174-0.301
B	50.8-mm (2-in.) Insulation+101.6-mm (4-in.)Common Brick	88	0.111
B	203.2-mm (8-in.)Common Brick	130	0.302
A	Insulation or Air Space+203.2-mm (8-in.) Common brick	130	0.154-0.243
101.6-mm (4-in.)Face Brick+(H.W.Concrete)			
C	Air Space + 50.8-mm (2-in.)Concrete	94	0.35
B	50.8-mm (2-in.)Insulation+101.6-mm (4-in.)Concrete	97	0.116
A	Air Space or Insulation+203.2-mm (8-in.) or more Concrete	143-190	0.110-0.112
101.6-mm (4-in.)Face Brick+(L.W. or H.W.Concrete Block)			
E	101.6-mm(4-in.) Block	62	0.319
D	Air Space or Insulation + 101.6-mm (4-in.)Block	62	0.153-0.246
D	203.2mm (8-in.) Block	70	0.274
C	Air Space or 25.4-mm(1-in.)Insulation+152.4-mm(6-in.) or 203.2-mm (8-in.)Block	73-89	0.221-0.275
B	50.8-mm(2-in.)Insulation+203.2-mm(8-in.)Block	89	0.096-0.107
101.6-mm (4-in.)Face Brick+(Clay Tile)			
D	101.6-mm(4-in.)Tile	71	0.381
D	Air Space+101.6-mm(4-in.)Tile	71	0.281
C	Insulation+101.6-mm(4-in.) Tile	71	0.169
C	203.2-mm(8-in.)Tile	96	0.275
B	Air Space or 25.4-mm(1-in.)Insulation+203.2mm(8-in.)Tile	96	0.142-0.221
A	50.8-mm(2-in.) Insulation+203.2-mm(8-in.)Tile	97	0.097
H.W. Concrete Wall(Finish)			
E	101.6-mm(4-in.)Concrete	63	0.585
D	101.6-mm(4in.)Concrete+25.4-mm(1-in.) or 50.8-mm(2-in.)Insulation	63	0.119-0.200
C	50.8-mm(2-in.)Insulation+101.6-mm(4-in.)Concrete	63	0.119
C	203.2-mm(8-in.)Concrete	109	0.49
B	203.2-mm(8-in.)Concrete+25.4-mm(1-in.) or 50.8-mm(2-in)Insulation	110	0.115-0.187
A	50.8-mm(2-in.)Insulation+203.2-mm(8-in.)Concrete	110	0.115
B	304.8-mm(12-in.)Concrete	156	0.421
A	304.8-mm(12-in.)Concrete Insulation	156	0.113
L.W. and H.W.Concrete Block+(Finish)			

F	101.6-mm(4-in.)Block+Air Space/ Insulation	29	0.161-0.263
E	50.8-mm(2-in.)Insulation+101.6-mm(4-in.)Block	29-37	0.105-0.114
E	203.2-mm(8-in.)Block	47-51	0.294-0.402
D	203.2-mm(8-in.)Block+Air Space/Insulation	41-57	0.149-0.173
Clay Tile+(Finish)			
F	101.6-mm(4-in.)Tile	39	0.419
F	101.6-mm(4-in.)Tile+Air Space	39	0.303
E	101.6-mm(4-in.)Tile+25.4-mm(1-in.)Insulation	39	0.175
D	50.8-mm.(2-in.)Insulation+101.6-mm(4-in.)Tile	40	0.11
D	203.2-mm(8-in.)Tile	63	0.296
C	203.2-mm(8-in.)Tile+Air Space/25.4-mm(1-in.)Insulation	63	0.151-0.231
B	50.8-mm(2-in.)Insulation+203.2-mm(8-in.)Tile	63	0.099
Metal Curtain Wall			
G	With/without air space +25.4-mm(1-in.)/50.8-mm(2-in.)/76.2-mm(3-in.)Insulation	5-6	0.091-0.230
Frame Wall			
G	25.4-mm(1-in.)to 76.2-mm(3-in.)Insulation	16	0.081-0.178

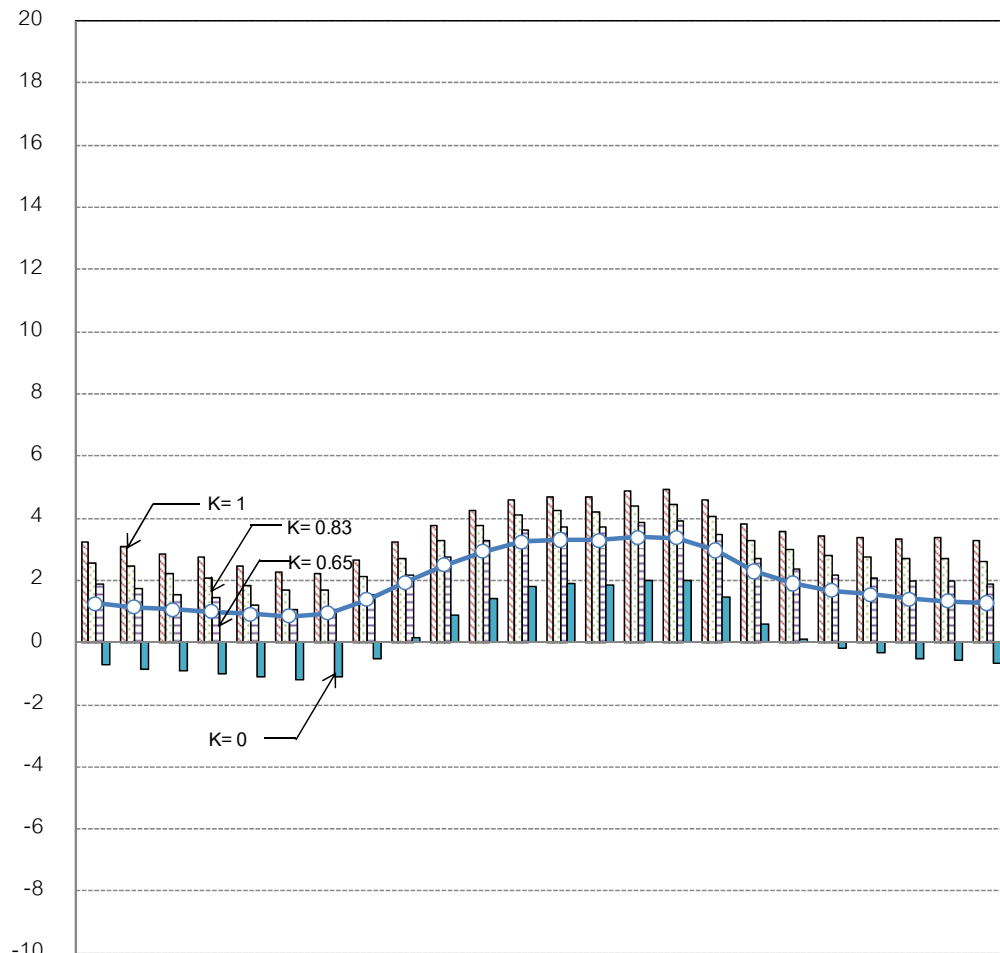
จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของผนังอาคารทั้ง 9 ชนิด มาคำนวณด้วยสูตร CLTD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุต่างๆ กับค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U * A * \Delta T$ เพื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของทั้ง 2 สูตร ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรของแต่ละวัสดุอาคารเพื่อให้เข้าใจถึงอิทธิพลหลักของตัวแปรด้านวัสดุอาคารต่อการลดค่าภาระการทำความเย็นของอาคารได้ โดยสูตร CLTD เพิ่มการวิเคราะห์ด้านการเลือกสีของผิววัสดุผนังอาคารชนิดต่างๆโดยมีความเข้มสีตั้งแต่สีเข้ม (K=1) สีปานกลาง (K=0.83) สีอ่อน (K=0.65) และสมมุติให้ค่า K=0 เมื่อตัดตัวแปรด้านอิทธิพลภายนอก อาทิของรังสีดวงอาทิตย์ การกระจายของออกไป เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของวัสดุเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าความเข้มของสี ว่าจะมีขอบเขตในการเลือกใช้สีในการออกแบบอาคารอย่างไร โดยการคำนวณใช้เดือนเมษายนในการเป็รตัวแทนเนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุด

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 เมตรเมื่อเปรียบเทียบ

จากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1)
 U*A*CLTD(K=0.83)
 U*A*CLTD(K=0.65)
 U*A*CLTD(K=0)
 U*A*DT

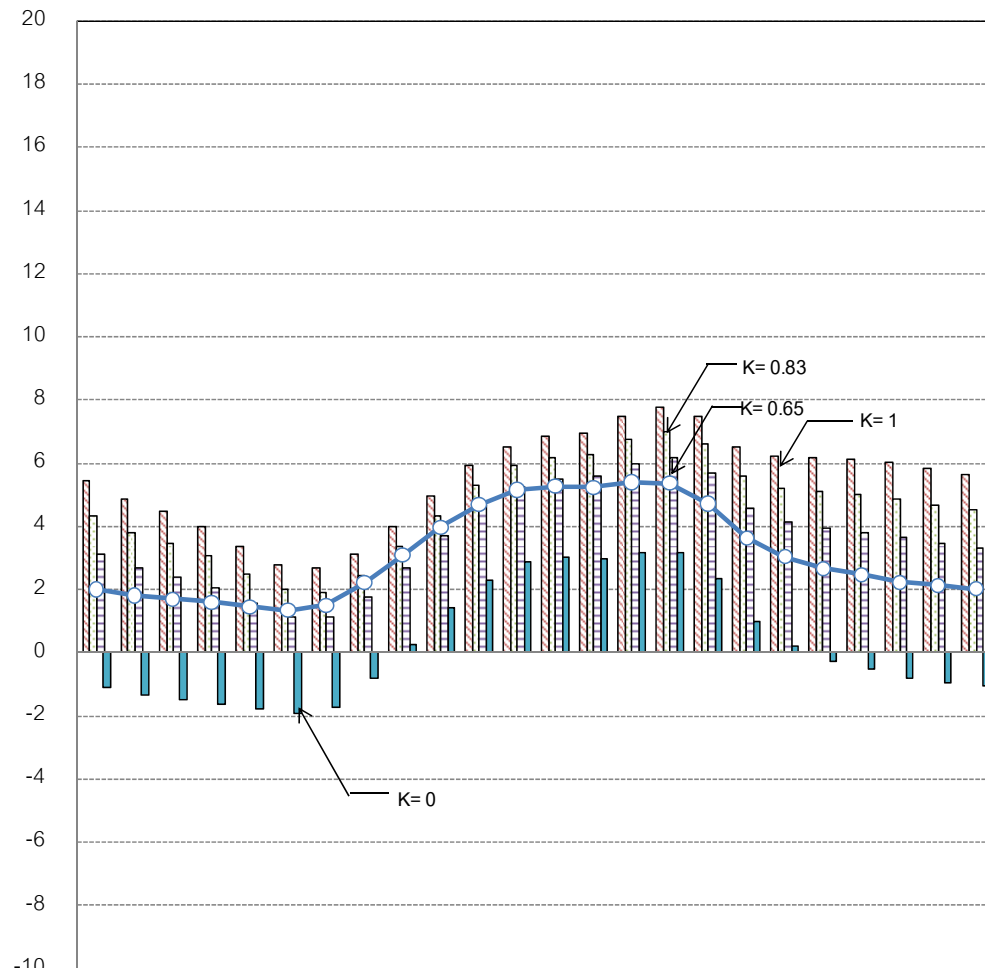
แผนภูมิที่ 4-15 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
 ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 ม. ค่า U-Value = 0.207 Btu/hr.ft²F (Group A)
 ค่าความเข้มของสวิตช์มีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0

แผนภูมิที่ 4-15 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันไม่มาก การเลือกสวิตช์มีผลไม่มากต่อวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 ม. จากการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับค่าภาระการทำความเย็นของความแตกต่างอุณหภูมิอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 เมตรเมื่อเปรียบเทียบ จากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00

เวลา

$U \cdot A \cdot CLTD(K=1)$
 $U \cdot A \cdot CLTD(K=0.83)$
 $U \cdot A \cdot CLTD(K=0.65)$
 $U \cdot A \cdot CLTD(K=0)$
 $U \cdot A \cdot \Delta T$

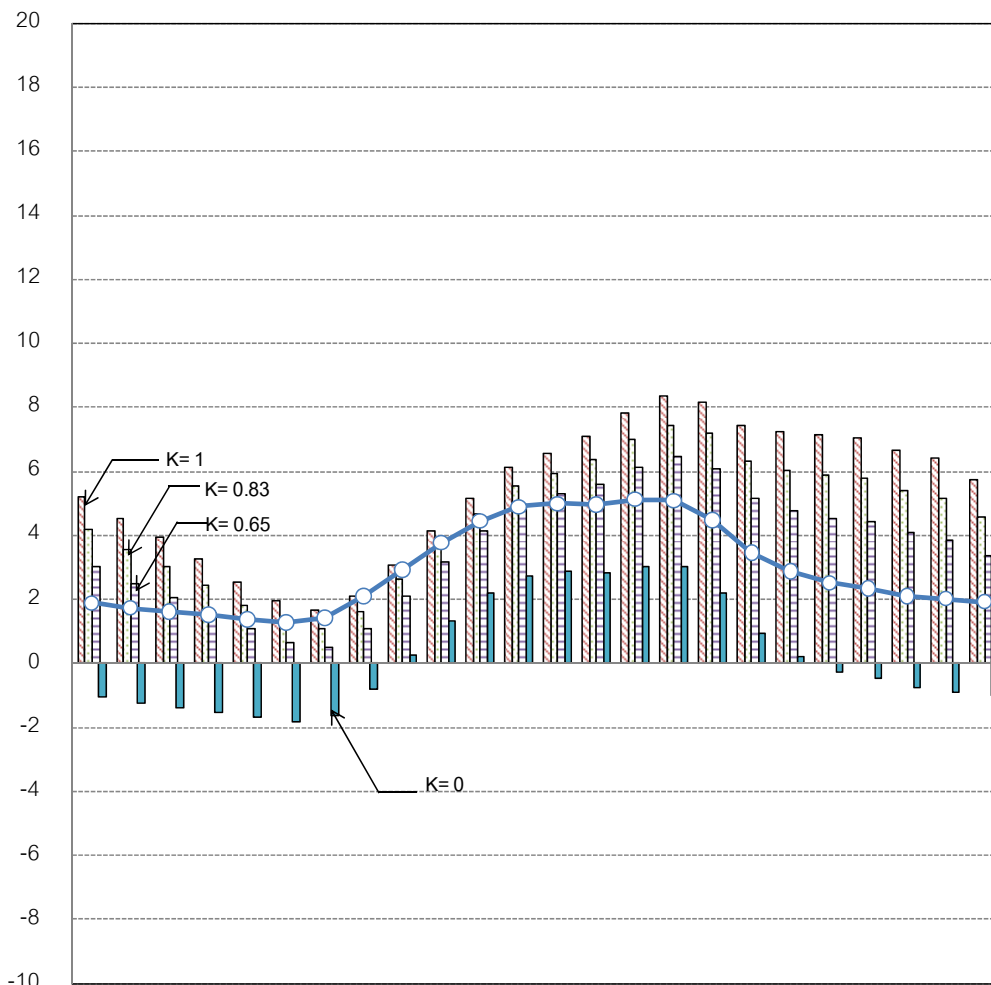
แผนภูมิที่ 4-16 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 ม. ค่า U-Value = 0.33 Btu/hr.ft²°F (Group B) ค่าความเข้มของวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0

แผนภูมิที่ 4-16 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกวัสดุมีผลต่อวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 ม. เพราะจากการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นเรื่องสี พบว่ามีความแตกต่างกันมากและจากกราฟพบว่าวัสดุจะหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงกลางวัน 14:00 น. ไปในช่วงเวลา 16:00 น.

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนังก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลางเปรียบเทียบจาก
สูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1) U*A*CLTD(K=0.83) U*A*CLTD(K=0.65) U*A*CLTD(K=0) U*A*DT

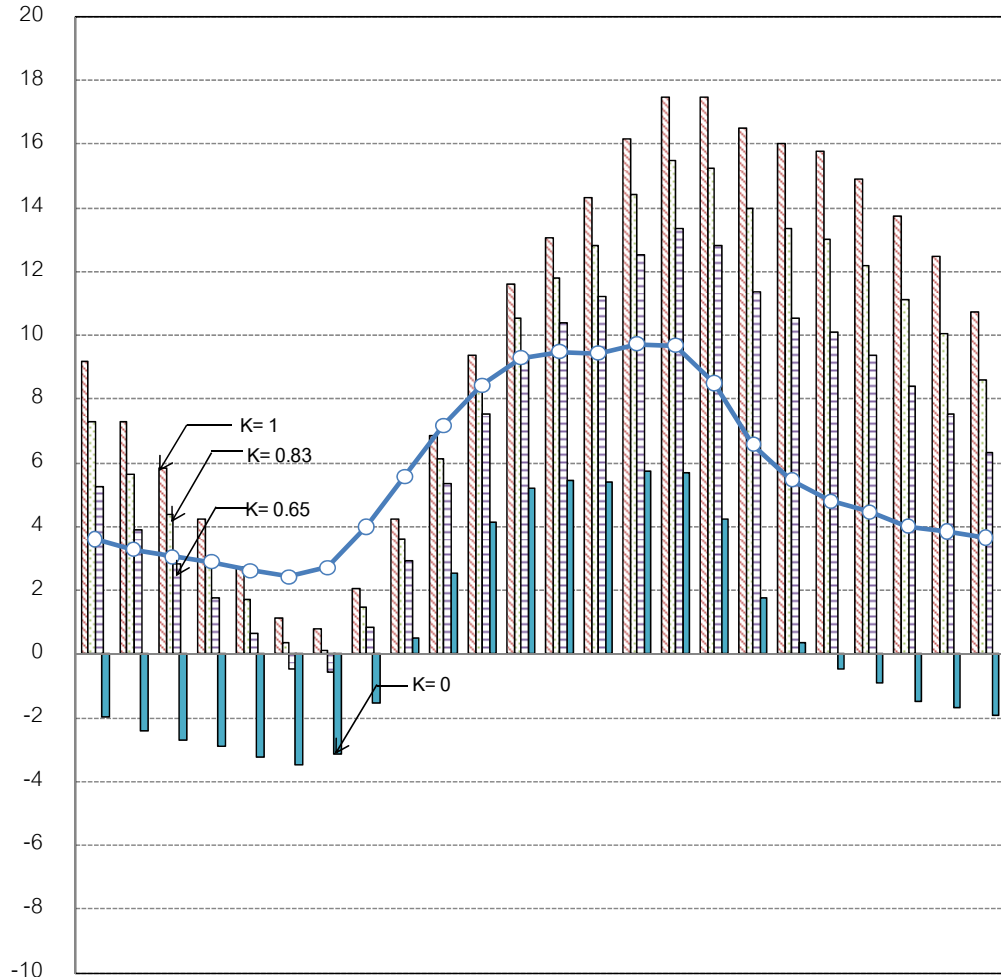
แผนภูมิที่ 4-17 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง ค่า U-Value = 0.313 Btu/hr.ft²F
(Group C) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0

แผนภูมิที่ 4-17 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร
 $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกสีวัสดุมีผลต่อวัสดุผนังก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง
พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศ มี
ค่าภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมาก

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.10 เมตร) เมื่อเปรียบเทียบ จากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1) U*A*CLTD(K=0.83) U*A*CLTD(K=0.65) U*A*CLTD(K=0) U*A*ΔT

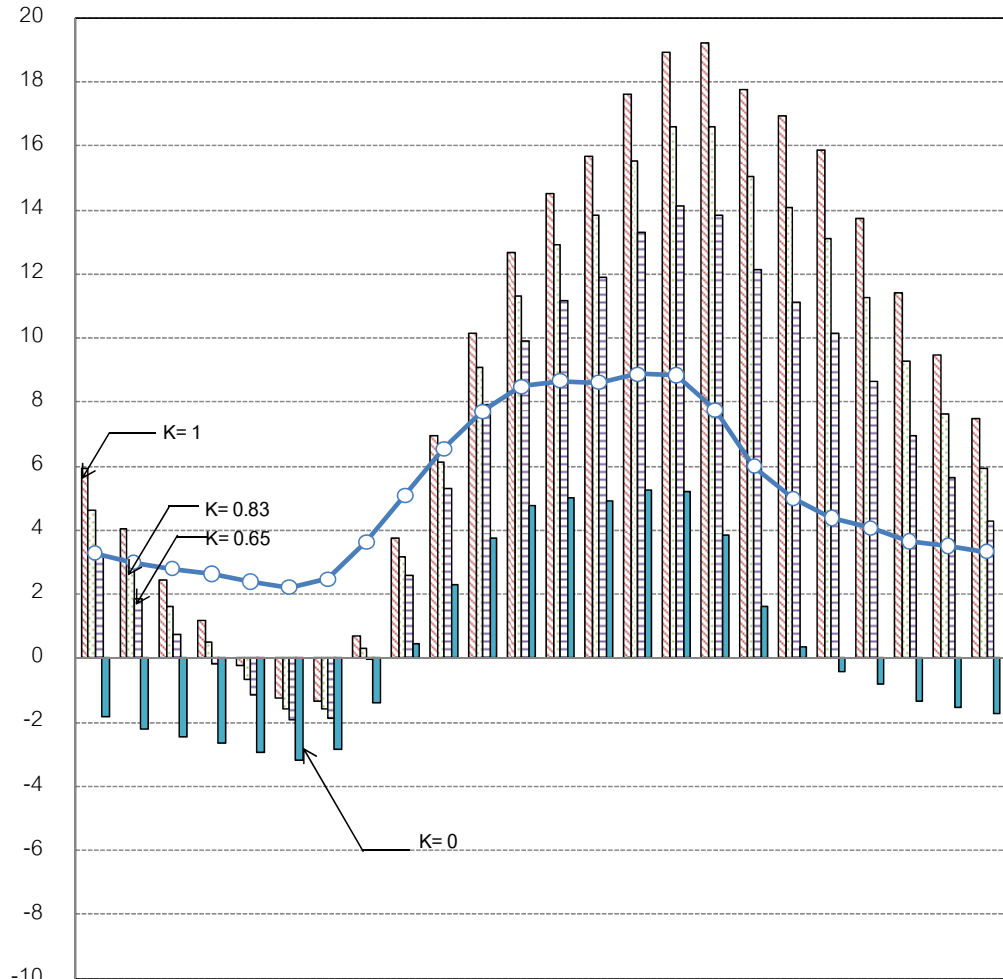
แผนภูมิที่ 4-18 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.595 Btu/hr.ft²°F (Group D) ค่าความเข้มของสวิตช์มีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65, 0

แผนภูมิที่ 4-18 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกสวิตช์มีผลต่อวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม.พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศ มีค่าภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมาก

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนังอิฐบล็อกจากหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร) เมื่อเปรียบเทียบจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1) U*A*CLTD(K=0.83) U*A*CLTD(K=0.65) U*A*CLTD(K=0) U*A*Delta T

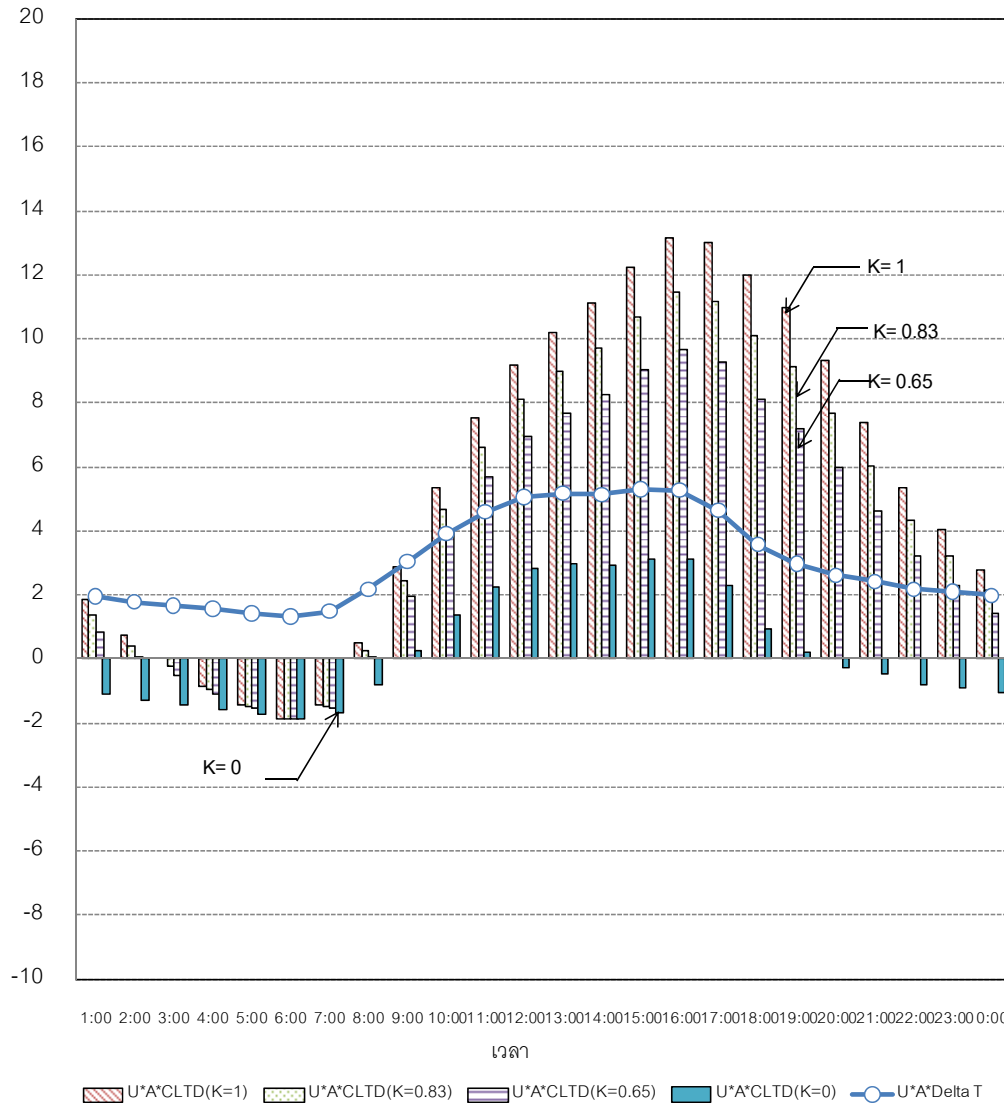
แผนภูมิที่ 4-19 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังอิฐบล็อกจากหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.543 Btu/hr.ft²F (Group E) ค่า ความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65, 0

แผนภูมิที่ 4-19 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกสีวัสดุมีผลต่อวัสดุผนังอิฐบล็อกจากหนา 0.10 ม. พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศ มีค่าภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมาก

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



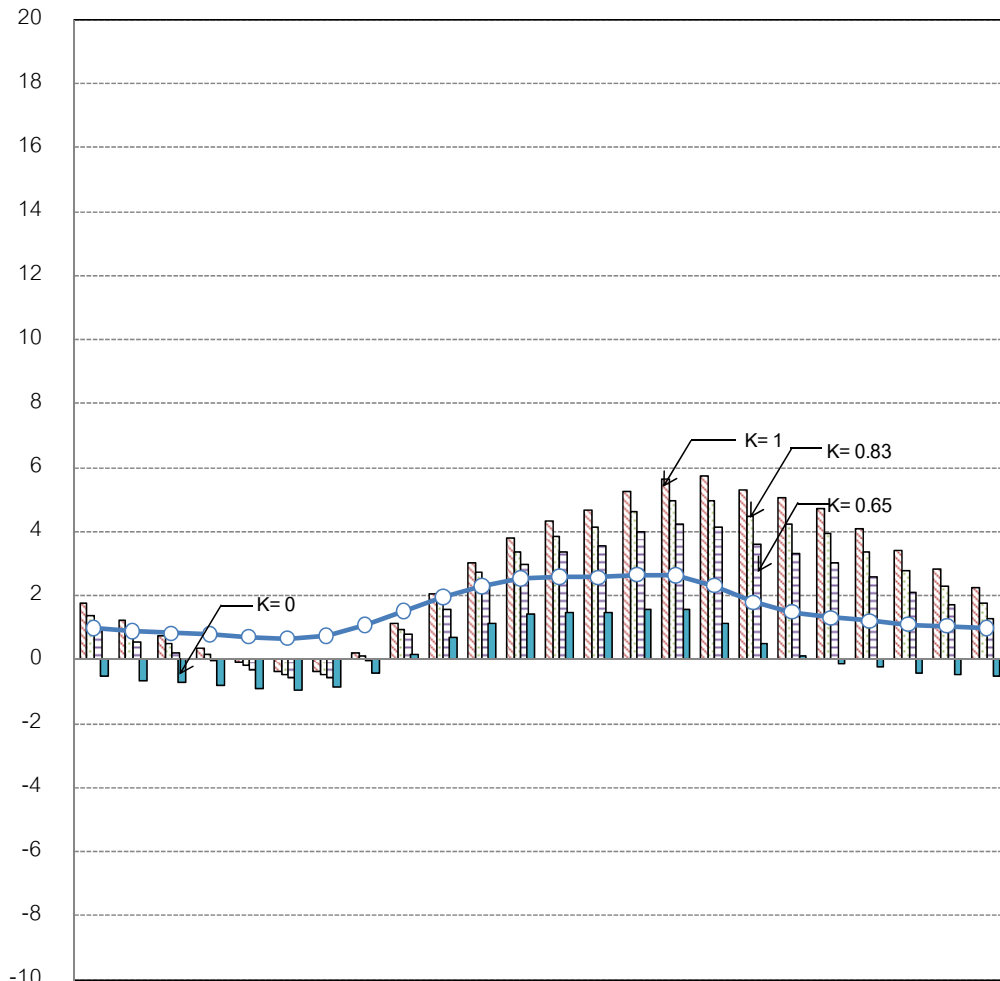
แผนภูมิที่ 4-20 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.324 Btu/hr.ft²F (Group F) ค่าความเข้มของสวิตช์มีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0

แผนภูมิที่ 4-20 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกสวิตช์มีผลต่อวัสดุผนังอิฐมวลเบาหนา 0.10 ม.พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังที่อ่อนกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศ มีค่าภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมาก

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 8 นิ้ว (0.19-0.20เมตร)เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1) U*A*CLTD(K=0.83) U*A*CLTD(K=0.65) U*A*CLTD(K=0) U*A*DT

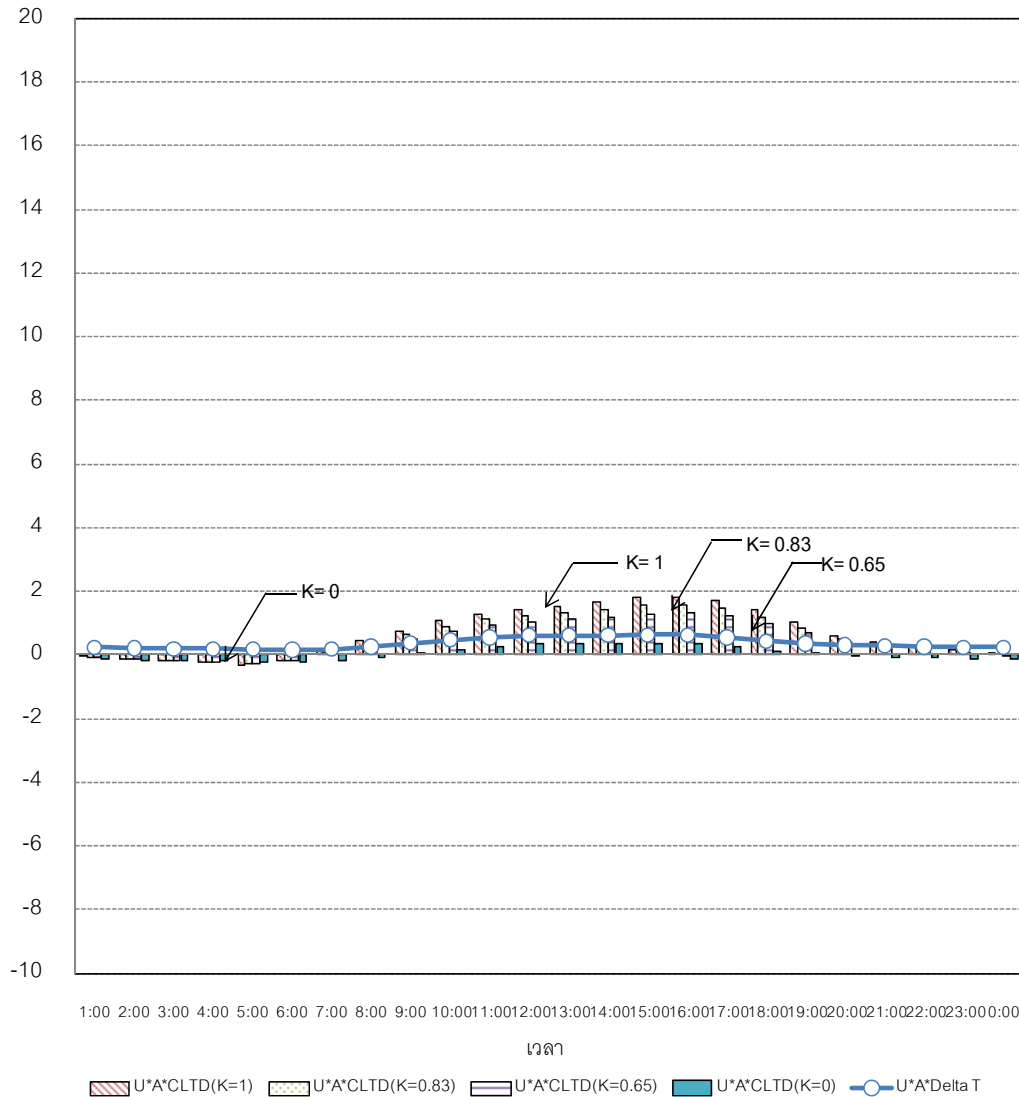
แผนภูมิที่ 4-21 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.20 ม. ค่า U-Value = 0.162 Btu/hr.ft²⁰ F (Group E) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65, 0

แผนภูมิที่ 4-21 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกสีวัสดุมีผลต่อวัสดุผนังอิฐมวลเบาหนา 0.20 ม.พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศ มีค่าภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมาก

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใต้ EPS หนา 6 นิ้วเมื่อเปรียบเทียบจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



แผนภูมิที่ 4-22 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EPS หนา 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.039 Btu/hr.ft²⁰ F (Group G) ค่าความเข้มของสวิตช์มีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0

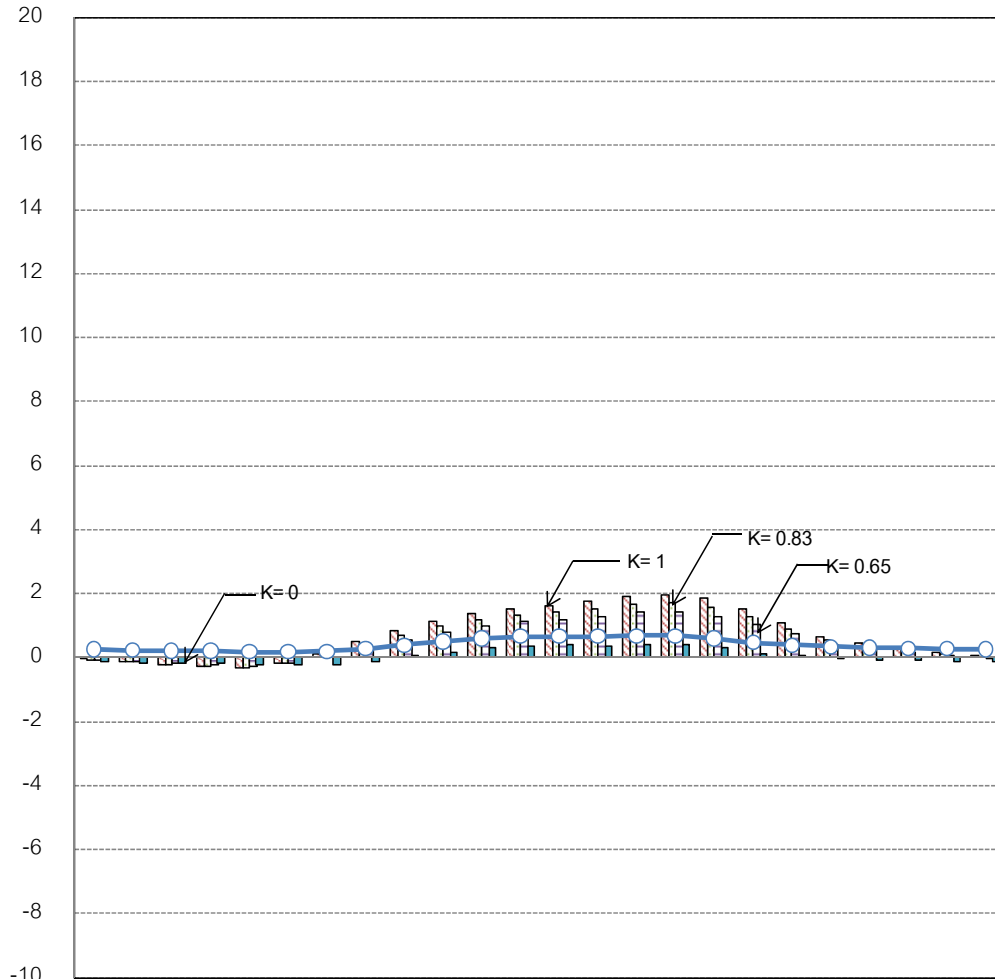
แผนภูมิที่ 4-22 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกันมาก การเลือกสวิตช์มีผลน้อยมากต่อผลลัพธ์ของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EPS หนา 6 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสี่อ้นกับค่าภาระการทำความเย็นของความแตกต่างอุณหภูมิอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านผนัง Sandwich Panel 6 นิ้วเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร

$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1) U*A*CLTD(K=0.83) U*A*CLTD(K=0.65) U*A*CLTD(K=0) U*A*Delta T

แผนภูมิที่ 4-23 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา

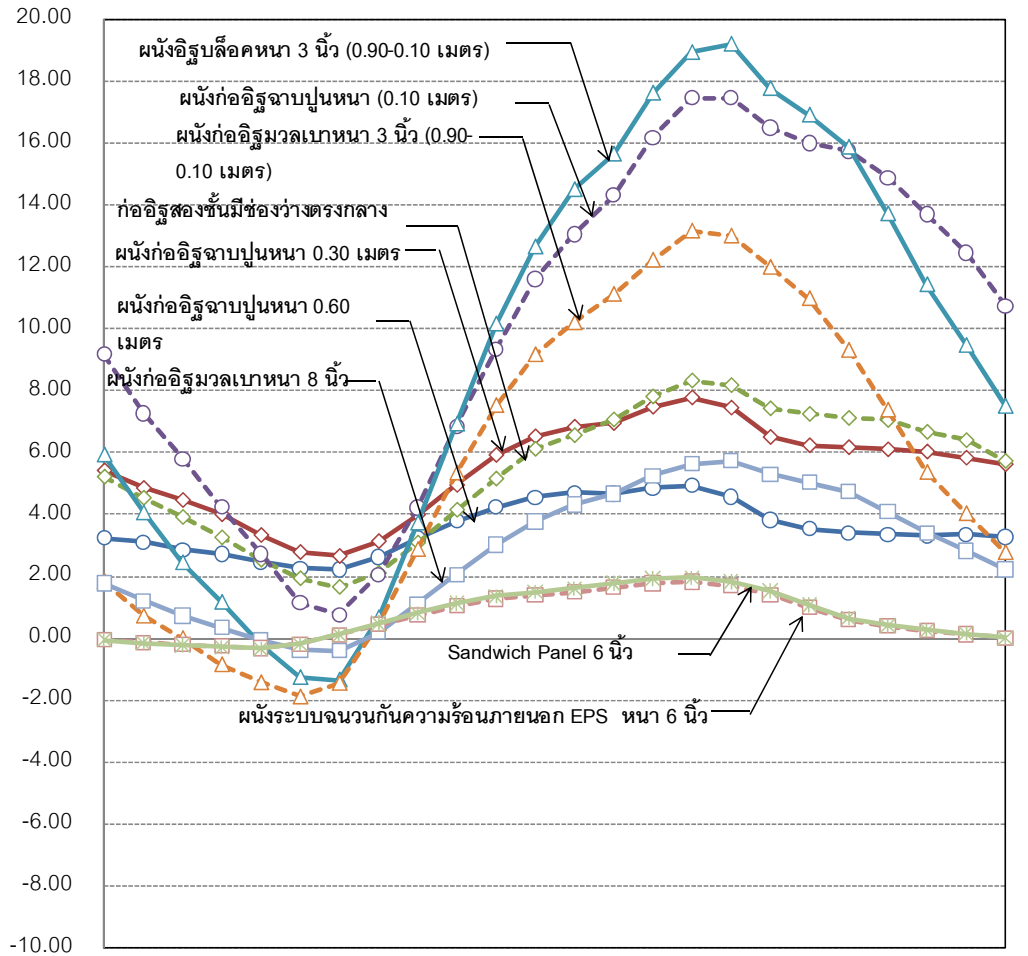
ค่า ΔT และค่า CLTD ของ Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.042 Btu/hr.ft²F (Group G) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0

แผนภูมิที่ 4-23 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกันมาก การเลือกสีวัสดุมีผลน้อยมากต่อวัสดุผนัง Sandwich Panel 6 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับค่าภาระการทำความเย็นของความแตกต่างอุณหภูมิอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน

การเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุต่างๆเมื่อค่าความเข้มของสีผิววัสดุมีค่าเท่ากันที่ความเข้มสี K=1

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

- | | |
|--|--|
| ●— ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 เมตร | ◆— ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 เมตร |
| ◇— ก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง | ○— ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.10 เมตร) |
| ▲— ผนังอิฐบล็อกจากหนา (0.90-0.10 เมตร) | △— ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา(0.90-0.10 เมตร) |
| □— ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา(0.19-0.20เมตร) | □— ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกEPS หนา 6 นิ้ว |
| ✱— Sandwich Panel 6 นิ้ว | |

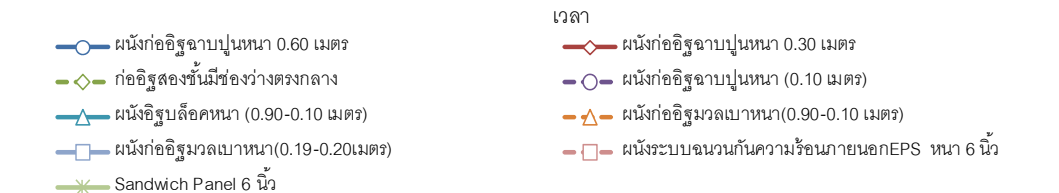
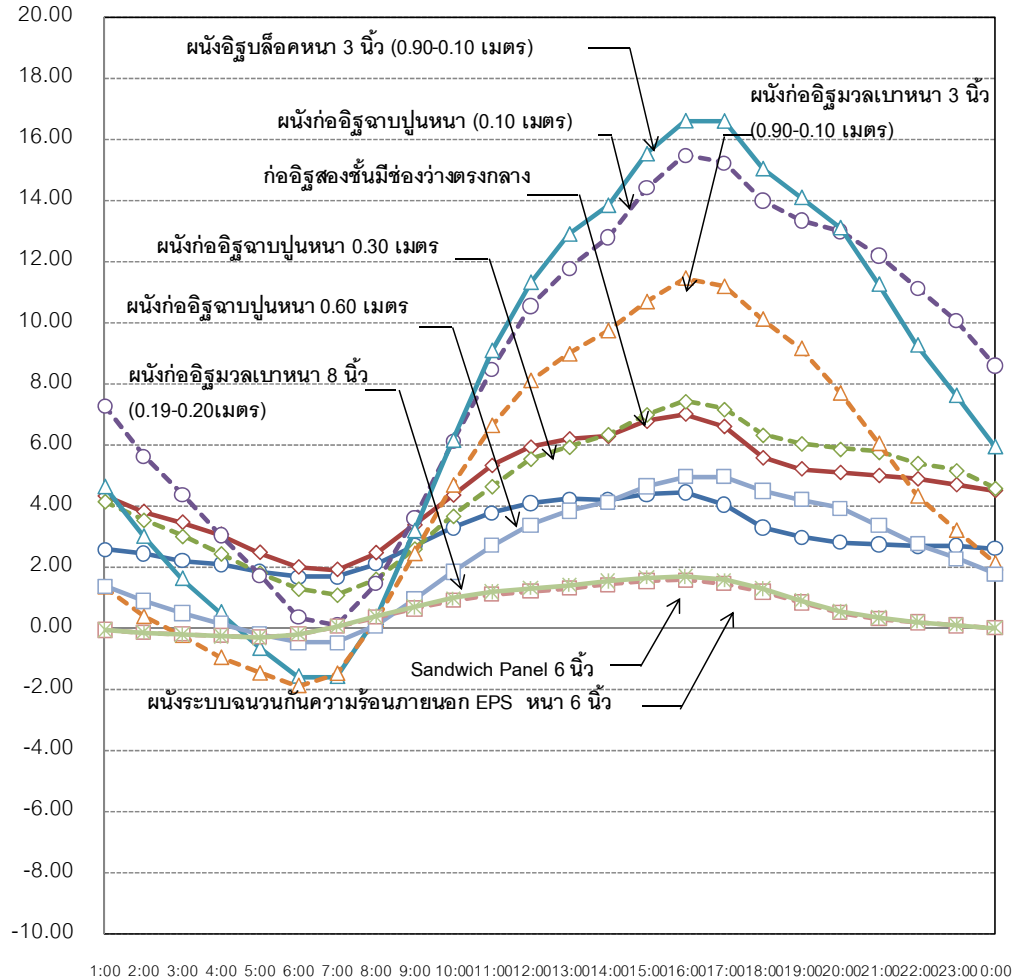
แผนภูมิที่ 4-24 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า CLTD ของผนังต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า = 1

แผนภูมิที่ 4-24 คิดภาระการทำความเย็นจากผนังสีเข้ม พบว่าผนังอิฐบล็อกจากหนา 0.10 ม. มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด ค่าช่วงสูงสุดประมาณ 19 Btu/hr.ft² โดยผนังระบบกันฉนวนความร้อนภายนอกEPS 6 นิ้ว มีค่าภาระการทำความเย็นต่ำสุดค่าช่วงสูงสุดประมาณ 2 Btu/hr.ft²

การเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุต่างๆเมื่อค่าความเข้มของสีผิววัสดุมีค่าเท่ากันที่ความเข้มสี K=0.83

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



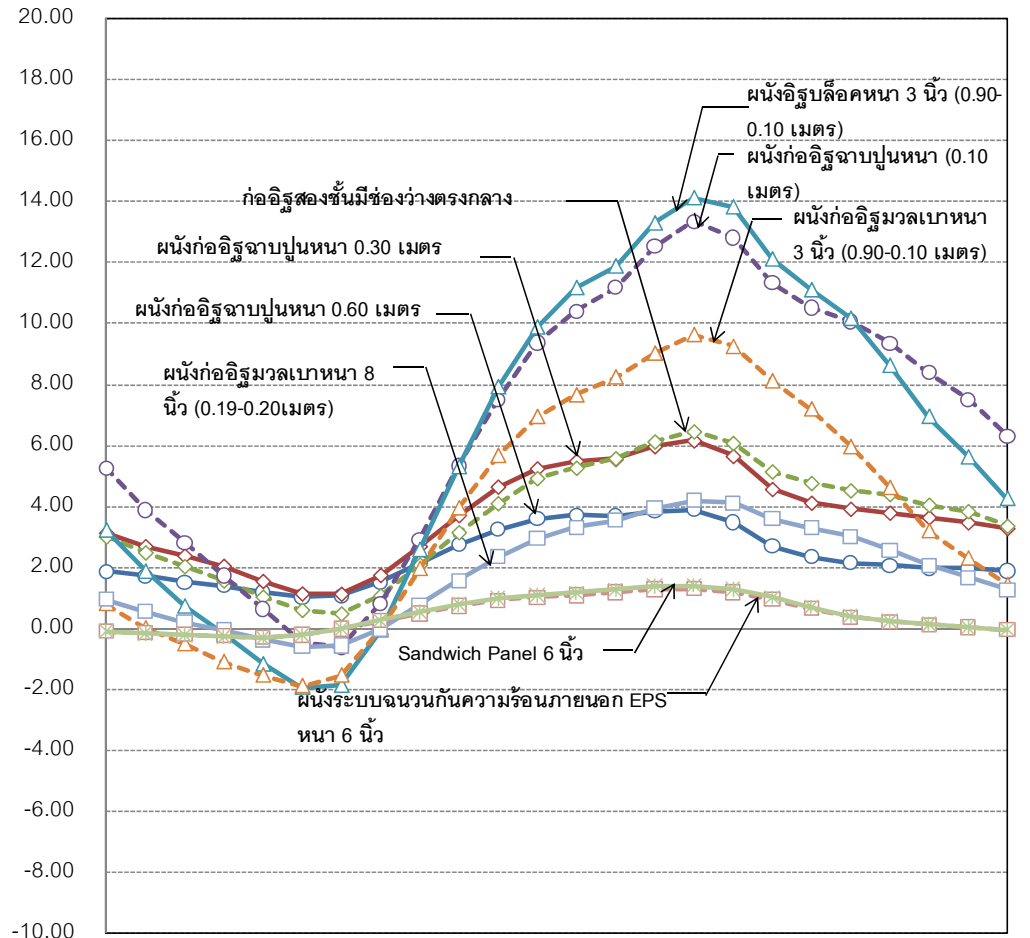
แผนภูมิที่ 4-25 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า CLTD ของผนังต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของสีผิววัสดุมีค่า = 0.83

แผนภูมิที่ 4-25 คิดภาระการทำความเย็นจากผนังสีปานกลาง พบว่าผนังอิฐบล็อกหนา 0.10 ม.มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด ค่าช่วงสูงสุดประมาณ 17 Btu/hr.ft² โดยผนังระบบกัน ฉนวนความร้อนภายนอก EPS 6 นิ้ว มีค่าภาระการทำความเย็นต่ำสุดค่าช่วงสูงสุดประมาณ 1.8 Btu/hr.ft²

การเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุต่างๆเมื่อค่าความเข้มของสีกวีสตูดมีค่าเท่ากันที่ความเข้มสี K=0.65

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

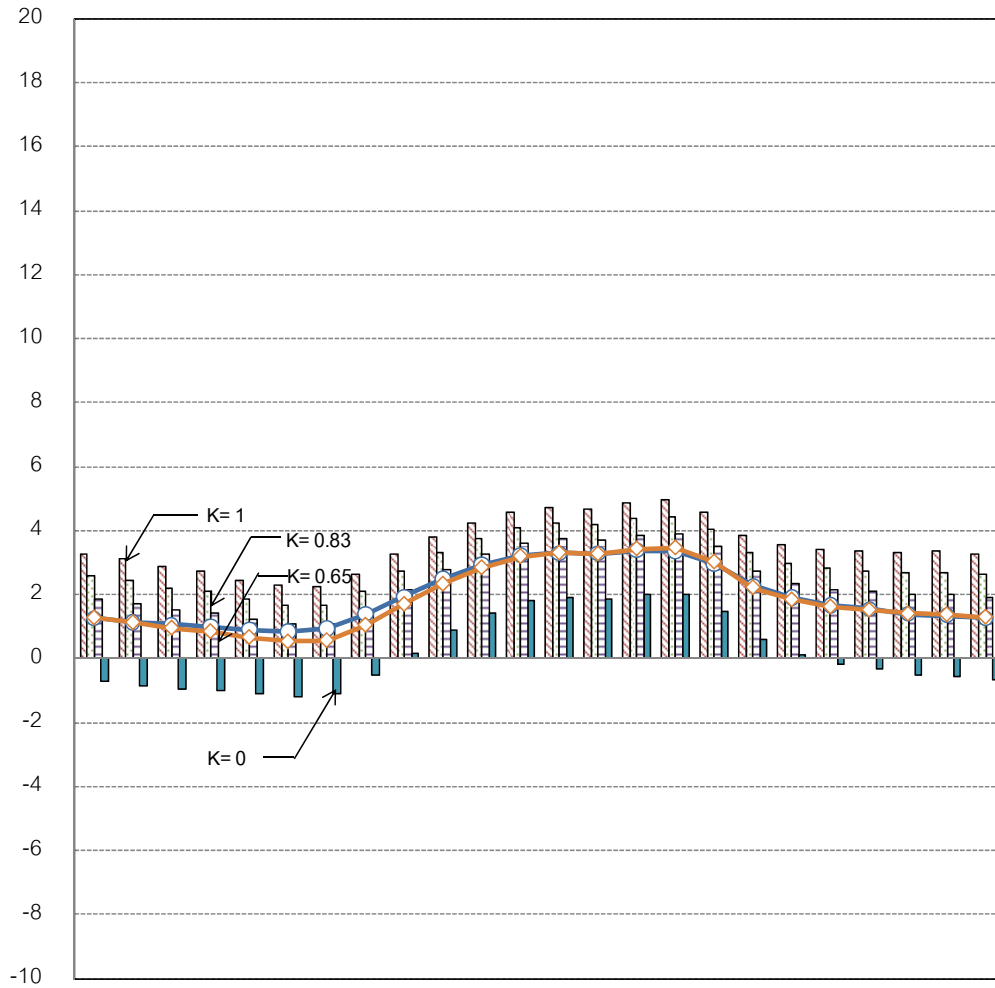
- | | |
|--|--|
| ●— ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 เมตร | ◇— ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 เมตร |
| ◇— ก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง | ○— ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.10 เมตร) |
| ▲— ผนังอิฐบล็อกจากหนา (0.90-0.10 เมตร) | △— ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา(0.90-0.10 เมตร) |
| □— ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา(0.19-0.20เมตร) | □— ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกEPS หนา 6 นิ้ว |
| ✱— Sandwich Panel 6 นิ้ว | |

แผนภูมิที่ 4-26 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า CLTD ของผนังต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของสีกวีสตูดมีค่า = 0.65

แผนภูมิที่ 4-26 คิดภาระการทำความเย็นจากผนังสีปานกลาง พบว่าผนังอิฐบล็อกจากหนา 0.10 ม.มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด ค่าช่วงสูงสุดประมาณ 14 Btu/hr.ft² โดยผนังระบบกัน ฉนวนความร้อนภายนอก EPS 6 นิ้ว มีค่าภาระการทำความเย็นต่ำสุดค่าช่วงสูงสุดประมาณ 1.7 Btu/hr.ft²

การหาค่าความเข้มสีของวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 ม. ที่ทำให้ค่าภาระการทำ
 ความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน
 ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

- U*A*CLTD(K=1)
- U*A*CLTD(K=0.83)
- U*A*CLTD(K=0.65)
- U*A*CLTD(K=0)
- U*A*DT
- U*A*CLTD(K=0.5)

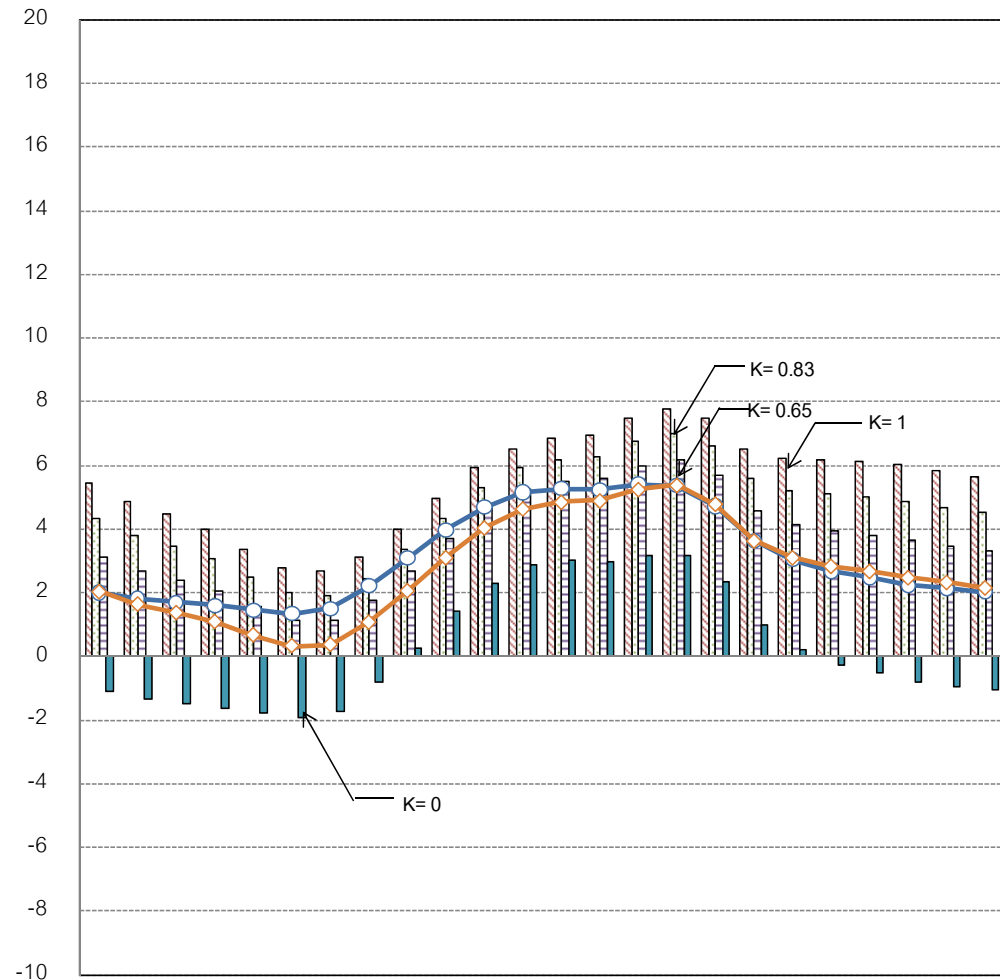
แผนภูมิที่ 4-27 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
 ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 ม. ค่า U-Value = 0.207 Btu/hr.ft²F (Group A)
 ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.5

แผนภูมิที่ 4-27 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าภาระการทำความเย็น
 ใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของ
 สภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 ม. ค่า K=0.5

การหาค่าความเข้มสีของวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 ม. ที่ทำให้ค่าภาระการทำ
ความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

- $U \cdot A \cdot CLTD(K=1)$
- $U \cdot A \cdot CLTD(K=0.83)$
- $U \cdot A \cdot CLTD(K=0.65)$
- $U \cdot A \cdot CLTD(K=0)$
- $U \cdot A \cdot \Delta T$
- $U \cdot A \cdot CLTD(K=0.48)$

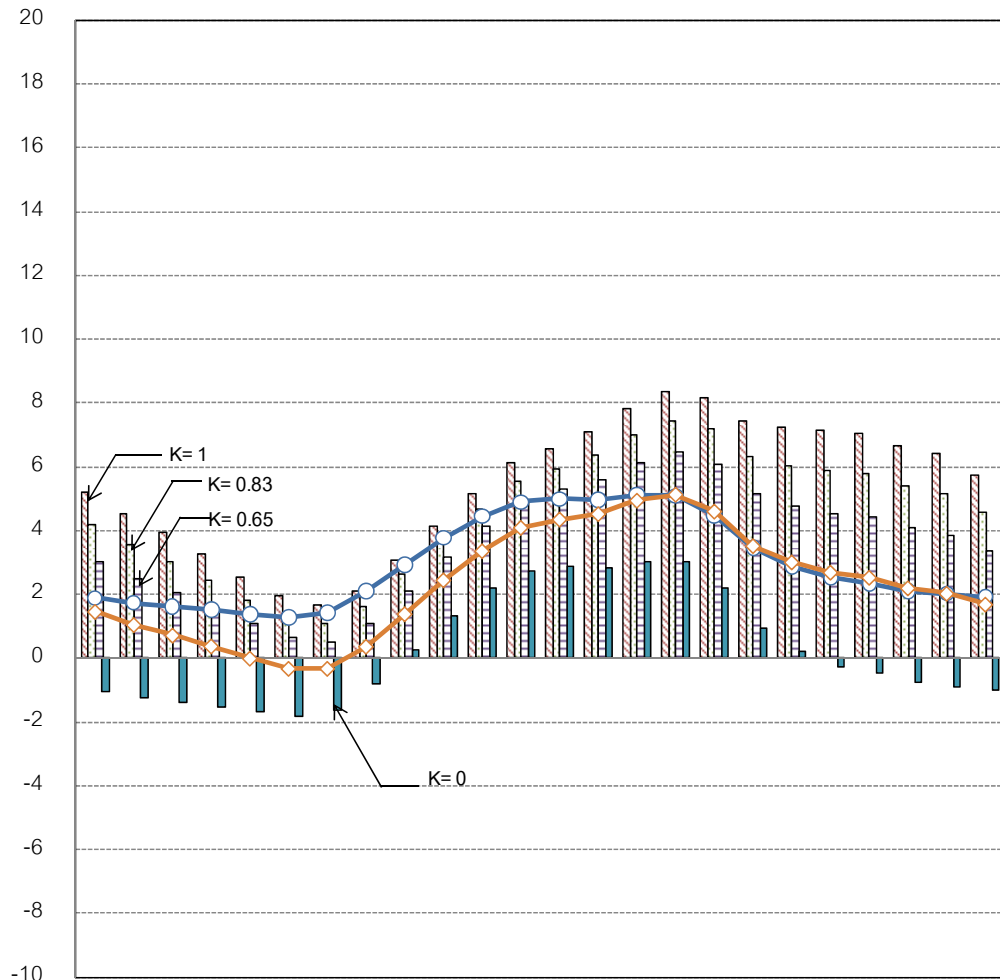
แผนภูมิที่ 4-28 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 ม. ค่า U-Value = 0.33 Btu/hr.ft²°F (Group B)
ความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.48

แผนภูมิที่ 4-28 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าภาระการทำความเย็น
ใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของ
สภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 ม. ค่า K=0.48

การหาค่าความเข้มสีของวัสดุผนังก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง ที่ทำให้ค่าภาระการทำ
 ความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00

เวลา
 U*A*CLTD(K=1) U*A*CLTD(K=0.83) U*A*CLTD(K=0.65)
 U*A*CLTD(K=0) U*A*DT U*A*CLTD(K=0.40)

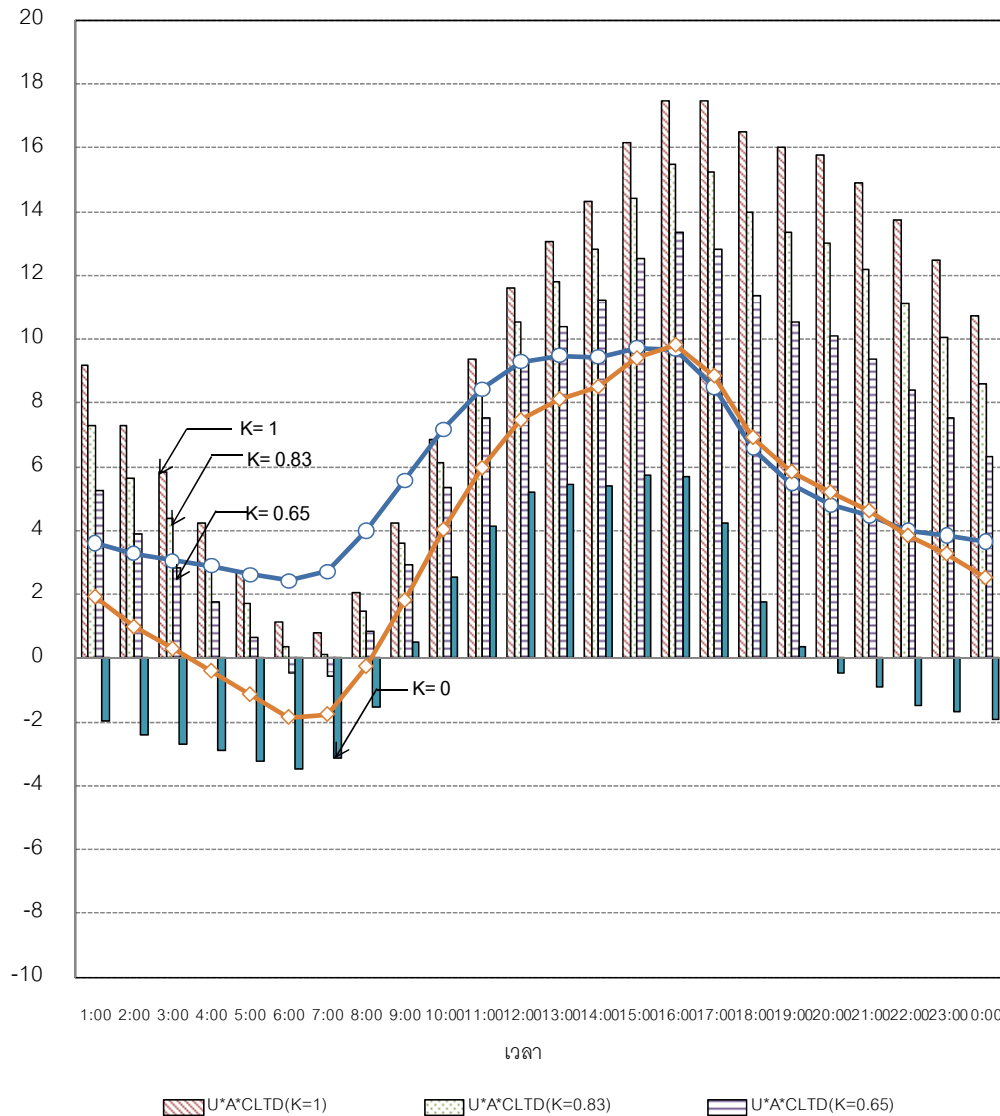
แผนภูมิที่ 4-29 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
 ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง ค่า U-Value = 0.313 Btu/hr.ft²⁰ F
 (Group C) ความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.40

แผนภูมิที่ 4-29 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าภาระการทำความเย็น
 ใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของ
 สภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนังก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง ค่า K=0.48

การหาค่าความชื้นสีของวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม.ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



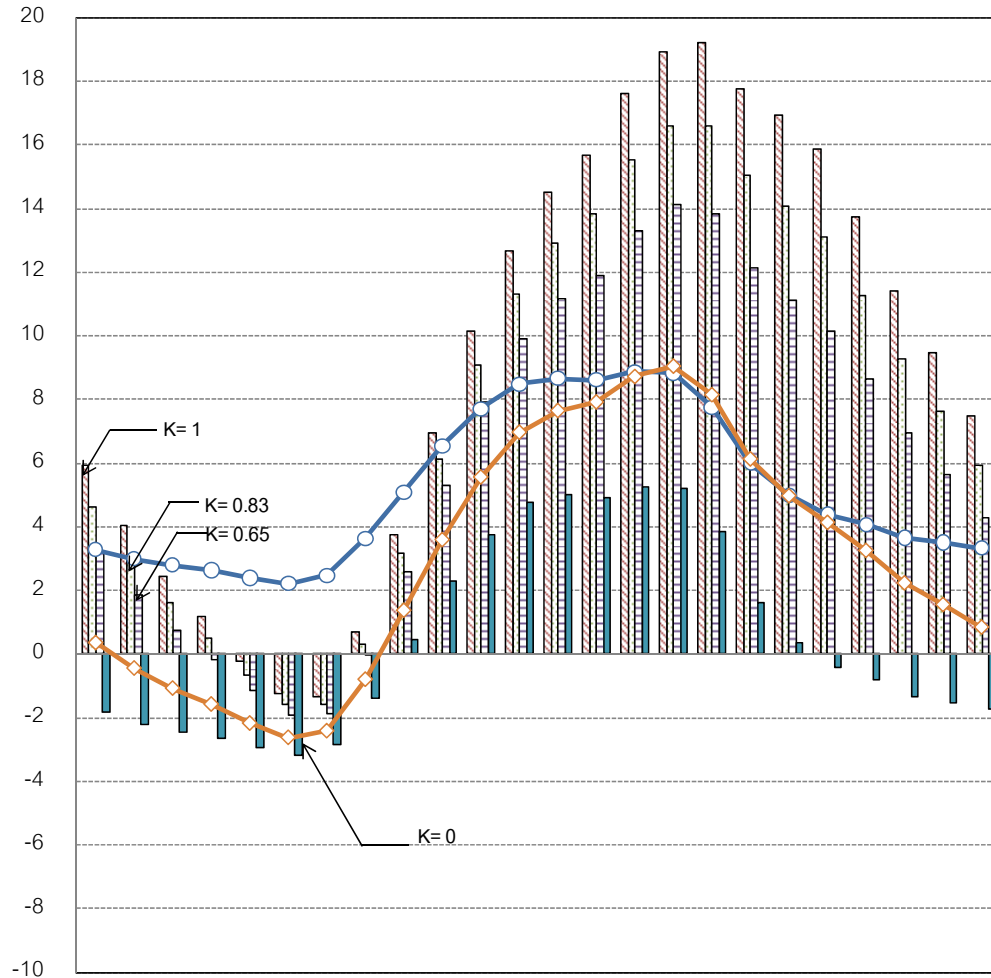
แผนภูมิที่ 4-30 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.595 Btu/hr.ft²F (Group D) ความชื้นของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.35

แผนภูมิที่ 4-30 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะทำให้ได้ค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ค่า K=0.35

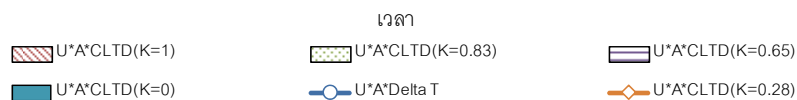
การหาค่าความเข้มสีของวัสดุผนังก่ออิฐบล็อกจากหนา 0.10 ม. ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00



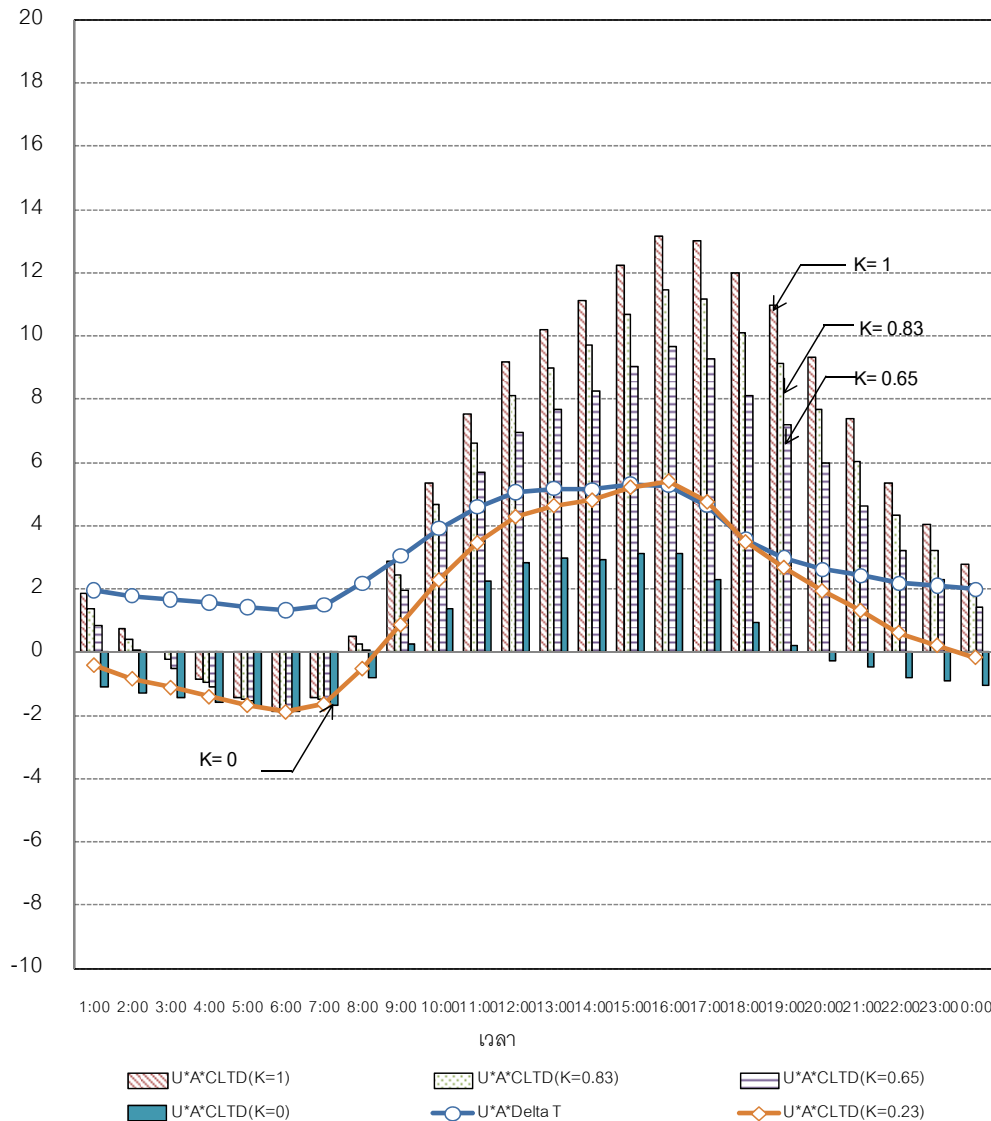
แผนภูมิที่ 4-31 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังอิฐบล็อกจากหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.543 Btu/hr.ft²°F (Group E) ความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.28

แผนภูมิที่ 4-31 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนังก่ออิฐบล็อกจากหนา 0.10 ม. ค่า K=0.28

การหาค่าความเข้มสีของวัสดุผนังอิฐมวลเบา 0.10 ม. ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็น
ของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



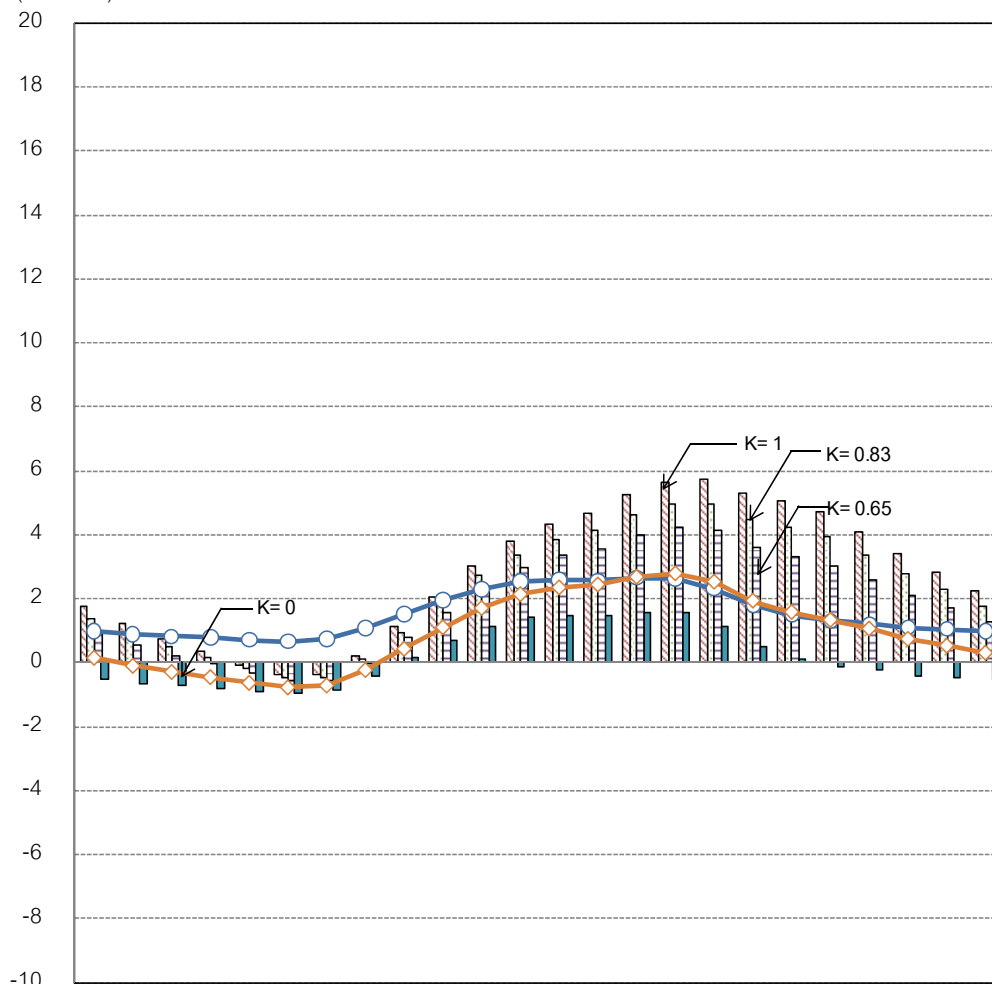
แผนภูมิที่ 4-32 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 ม. ค่า U-Value = 0.324 Btu/hr.ft²°F (Group F)
ความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.23

แผนภูมิที่ 4-32 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าภาระการทำความเย็น
ใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของ
สภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนังอิฐมวลเบา 0.10 ม. ค่า K = 0.23

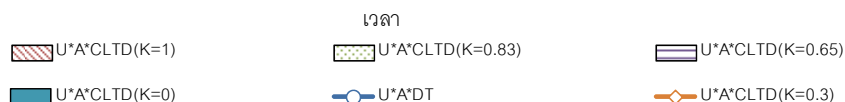
การหาค่าความเข้มสีของวัสดุผนังอิฐมวลเบา 0.20 ม. ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00



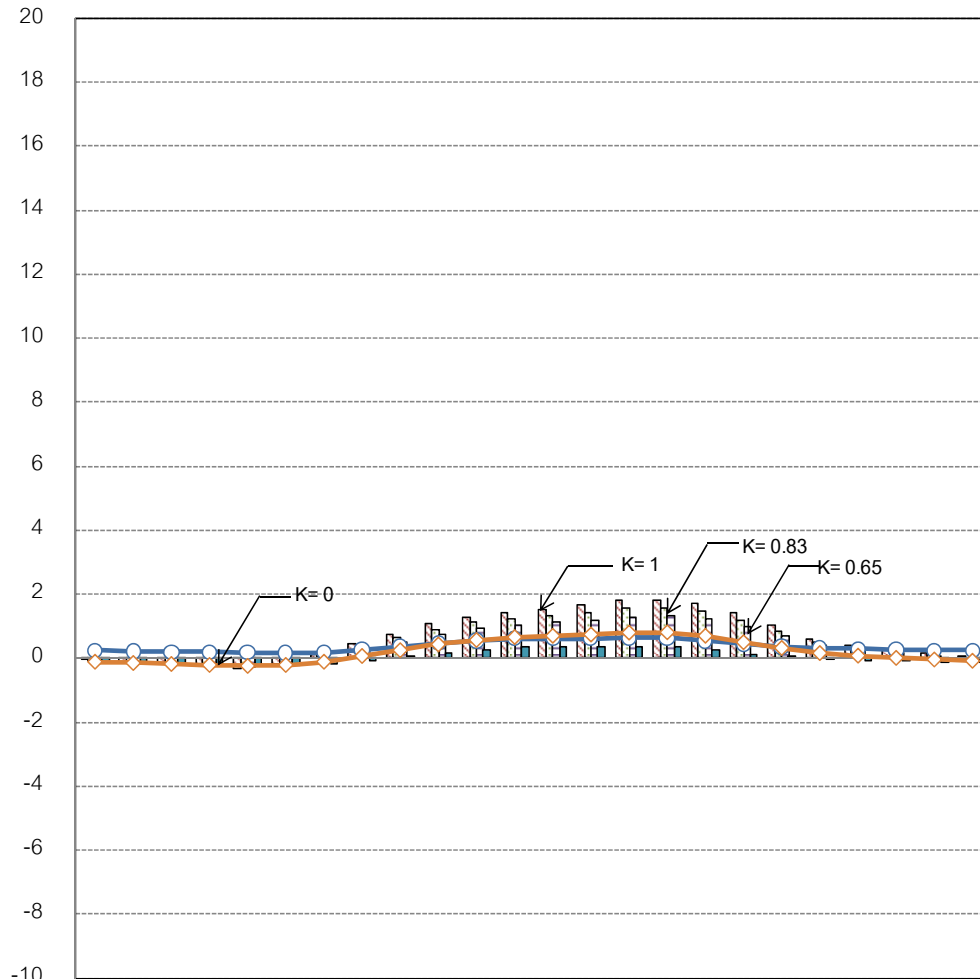
แผนภูมิที่ 4-33 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.20 ม. ค่า U-Value = 0.162 Btu/hr.ft² F (Group E) ความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K)= 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.30

แผนภูมิที่ 4-33 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะทำให้ได้ค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนังอิฐมวลเบา 0.20 ม. ค่า K=0.30

การหาค่าความเข้มสีของวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EPS หน้า 6 นิ้วที่ทำ
ให้ค่าภาระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00

เวลา

- $U \cdot A \cdot CLTD(K=1)$
- $U \cdot A \cdot CLTD(K=0.83)$
- $U \cdot A \cdot CLTD(K=0.65)$
- $U \cdot A \cdot CLTD(K=0)$
- $U \cdot A \cdot \Delta T$
- $U \cdot A \cdot CLTD(K=0.3)$

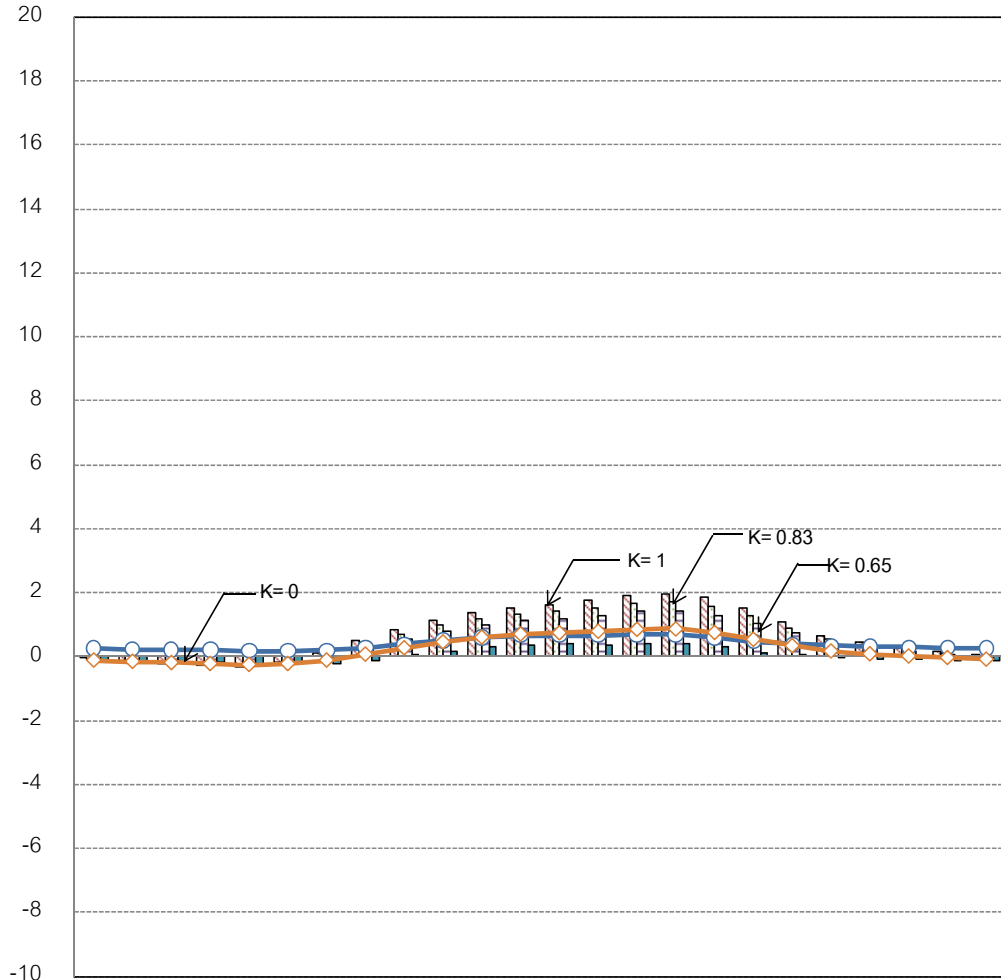
แผนภูมิที่ 4-34 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณาค่า ΔT และค่า ของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EPS หน้า 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.039 Btu/hr.ft² F (Group G) ความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.30

แผนภูมิที่ 4-34 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะทำให้ได้ค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EPS หน้า 6 นิ้ว ค่า K=0.30

การหาค่าความเข้มสีของวัสดุผนัง Sandwich Panel 6 นิ้ว ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00

เวลา

- $U \cdot A \cdot CLTD (K=1)$
- $U \cdot A \cdot CLTD (K=0.83)$
- $U \cdot A \cdot CLTD (K=0.65)$
- $U \cdot A \cdot CLTD (K=0)$
- $U \cdot A \cdot \Delta T$
- $U \cdot A \cdot CLTD (K=0.3)$

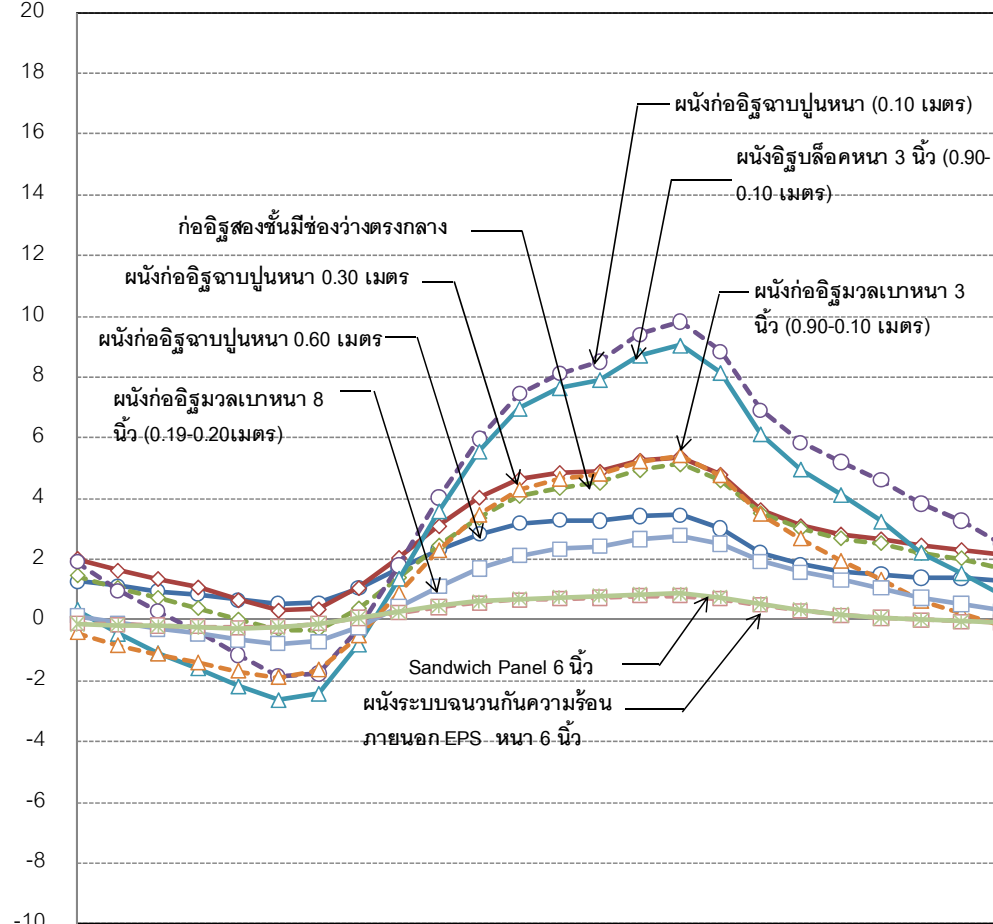
แผนภูมิที่ 4-35 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า ของ Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.042 Btu/hr.ft²F (Group G) ความเข้มของวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.83, 0.65, 0 และ 0.30

แผนภูมิที่ 4-35 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะทำให้ได้ค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าวัสดุผนัง Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า K=0.30

การเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุต่างๆเมื่อปรับค่าความชื้นของวัสดุ เพื่อให้ค่าภาระการทำความเย็นจาก CLTD ใกล้เคียงกับ ค่าจาก Δt

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)

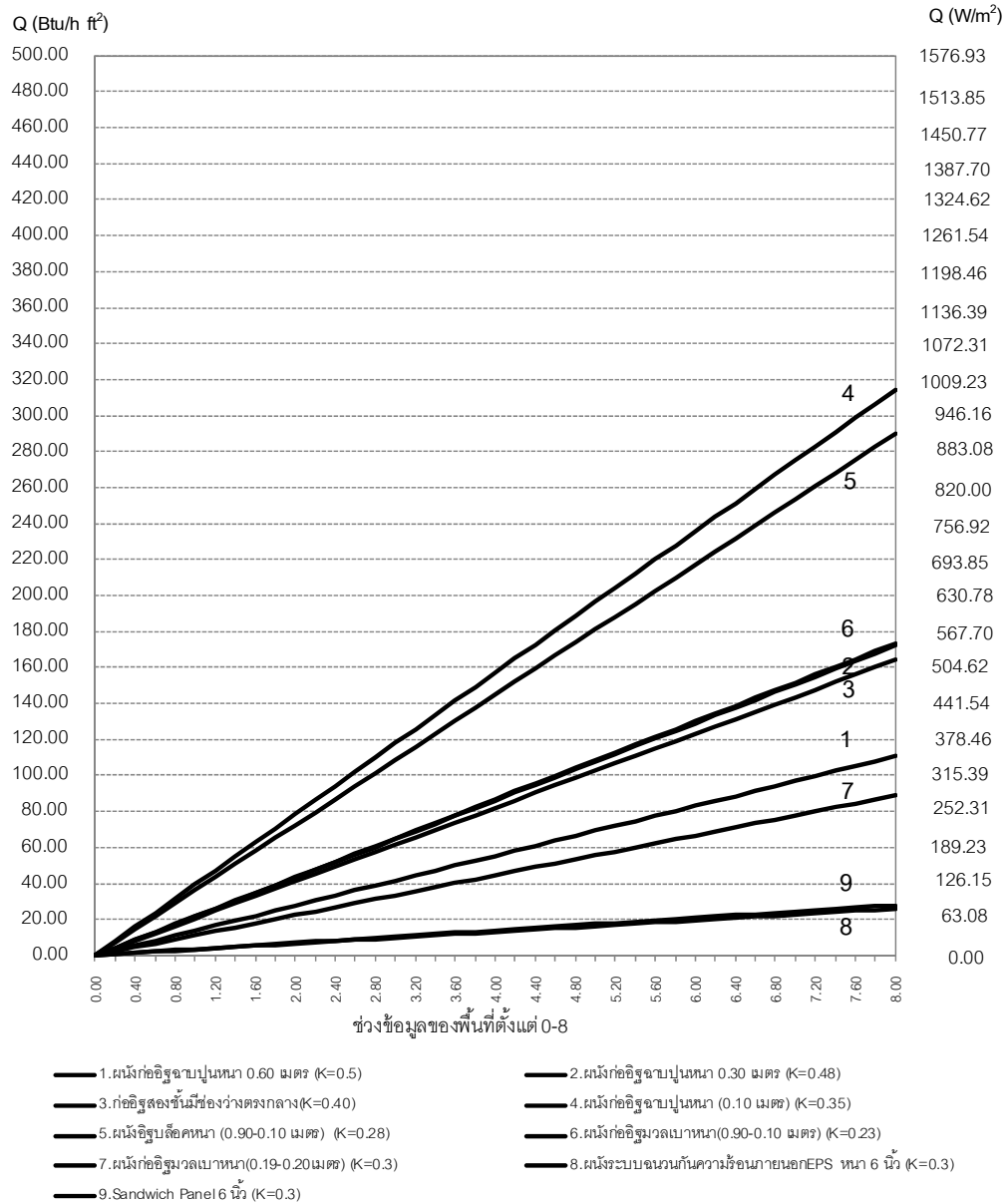


1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00

- ผนังก้ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 เมตร (K=0.5)
- ◇— ก้ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง(K=0.40)
- △— ผนังอิฐบล็อกหนา (0.90-0.10 เมตร) (K=0.28)
- ผนังก้ออิฐมวลเบาหนา(0.19-0.20เมตร) (K=0.3)
- *— Sandwich Panel 6 นิ้ว (K=0.3)
- ◇— ผนังก้ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 เมตร (K=0.48)
- ผนังก้ออิฐฉาบปูนหนา (0.10 เมตร) (K=0.35)
- △— ผนังก้ออิฐมวลเบาหนา(0.90-0.10 เมตร) (K=0.23)
- ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกEPS หนา 6 นิ้ว (K=0.3)

แผนภูมิที่ 4-36 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า CLTD ของผนังต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความชื้นของวัสดุมีค่าใกล้เคียงกับ Δt

แผนภูมิที่ 4-36 เปรียบเทียบค่าภาระความเย็นที่ทำการปรับค่าความชื้นที่ใกล้เคียงกับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากอุณหภูมิอากาศ และนำค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของผนังแต่ละชนิดมาคูณกับช่วงข้อมูลของผนังตั้งแต่ 0-8 แสดงกราฟเชิงเส้นในแผนภูมิที่ 4-37



แผนภูมิที่ 4-37 แผนภูมิแสดงค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ได้จากค่า U*A ของผนังอาคารแต่ละชนิดที่มีการปรับค่า CLTD ให้ใกล้เคียง Δt โดยค่า A มีค่าตั้งแต่ 0-8 เพื่อหาช่วงค่าข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนในการทำแบบประเมินอาคาร

แผนภูมิที่ 4-37 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุต่างๆคุณช่วงข้อมูลพื้นที่ตั้งแต่ 0-8 จะได้ค่าภาระการทำความเย็นในแกน Y วิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุจากความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุและสีของวัสดุ พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดประมาณ 320 Btu/hft² ค่าภาระการทำความเย็นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EPS หนา 6 นิ้วประมาณ 25 Btu/hft² โดยจะเป็นเกณฑ์ในการสร้างแบบประเมินต่อไป

4.4 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาสำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร

การสร้างแบบประเมินหลังคา การวิเคราะห์หาค่าดัชนีในการประเมินภาระการทำความเย็นของหลังคาจะพิจารณาค่าภาระการทำความเย็นจากการหาภาระการทำความเย็นจากสูตร CLTD พบว่า ได้แบ่งกลุ่มของหลังคาเป็น 13 ลำดับและแบ่งเป็นมีฝ้าและไม่มีฝ้า โดยการแบ่งลำดับของประเภทหลังคาในการคำนวณจาก หน้าหนักของวัสดุและการเรียงลำดับของส่วนประกอบหลังคา ตามตารางที่ 4-5 (Stein et al., 1986) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ซึ่งมีค่าผกผันโดยตรงกับค่าภาระการทำความเย็น โดยการวิเคราะห์จะคำนวณโดยใช้สูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ เปรียบเทียบกันเพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าภาระการทำความเย็นจากวัสดุกรอบอาคาร โดยทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของของสี่วัสดุในการวิเคราะห์ เนื่องจาก CLTD คือการปรับแก้คุณสมบัติที่เกิดจากอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ ที่มีการพิจารณาเรื่องสีของวัสดุ โดยมีการแบ่งระดับความเข้มของสีเป็น 2 ระดับ ได้แก่ มีความเข้มสีมาก ($K=1$) มีความเข้มสีปานกลาง ($K=0.5$) การวิจัยนี้จะเพิ่มการทดสอบเรื่องสี โดยการแทนค่า $K=0$ เพิ่มขึ้นมาสำหรับใช้เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากสูตรทั้ง 2 เมื่ออิทธิพลตัวแปรเรื่องสีมีค่าเปลี่ยนไป โดยการวิเคราะห์เรื่องสีของวัสดุนี้จะต้องวิเคราะห์ควบคู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุควบคู่กันด้วย เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ตัวแปรด้านวัสดุกรอบอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์จะนำรูปแบบของหลังคาต่างๆตามตารางที่ 4-6 มาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของวัสดุหลังคาแต่ละชนิด ที่สามารถหาได้จากผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของหลังคา โดยพิจารณาร่วมกับโครงสร้างหลังคา จะได้ค่าผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของหลังคา ทำให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้จากส่วนกลับของค่าผลรวมของค่าความต้านทานความร้อน จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ที่ได้ในหลังคาแต่ละแบบ มาวิเคราะห์โดยใช้สูตร CLTD เพื่อที่จะหาค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาแต่ละชนิด โดยจากตารางที่ 4-6 พบว่าหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากที่สุดคือหลังคาสังกะสีและหลังคาโลหะ มีค่าเท่ากับ $0.99 \text{ Btu/h.ft}^2\text{F}$ และหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุดคือหลังคาแผ่นแอสฟัลท์ที่มีค่าเท่ากับ $0.034 \text{ Btu/h.ft}^2\text{F}$

ตารางที่ 4-5 แสดงการแบ่งประเภทของหลังคา (Stein et al., 1986)

Roof NO.	Description of Construction	Weight (lb/ft ²)	U Value (Btu/h ft ² F)
Without Suspended Ceiling			
1	Steel Sheet with 25.4-mm(1-in.) or (50.8-mm) insulation	7 (8)	0.213 (0.214)
2	25.4-mm(1-in.) wood with 25.4-mm(1-in.)insulation	8	0.17
3	101.6-mm(4-in.)l.w.concrete	18	0.213
4	50.8-mm(2-in.) h.w.concrete with 25.4(1-in.) or (50.8-mm) insulation	29	0.206 (0.122)
5	25.4-mm(1-in.) wood with 50.8-mm(2-in.)insulation	9	0.109
6	152.4-mm(6-in.)l.w.concrete	24	0.158
7	63.5-mm(2.5-in.)wood with 25.4-mm(1-in.) insulation	13	0.13
8	203.2-mm(8-in.)l.w.concrete	31	0.126
9	101.6-mm(4-in.)h.w.concrete with 25.4-mm(1-in.) or (50.8-mm) insulation	52 (52)	0.200 (0.120)
10	63.5-mm(2.5-in.)wood with 50.8-mm(2-in.) insulation	13	0.093
11	Roof terrace system	75	0.106
12	152.4-mm(6-in.)h.w.concrete with 25.4-mm(1-in.) or (50.8-mm) insulation	(75) 75	0.192 (0.117)
13	101.6-mm(4-in.)wood with 25.4-mm(1-in.) or (50.8-mm) insulation	17 (18)	0.106 (0.078)
With Suspended Ceiling			
1	Steel Sheet with 25.4-mm(1-in.) or (50.8-mm) insulation	9 (10)	0.134 (0.092)
2	25.4-mm(1-in.) wood with 25.4-mm(1-in.)insulation	10	0.115
3	101.6-mm(4-in.)l.w.concrete	20	0.134
4	50.8-mm(2-in.) h.w.concrete with 25.4(1-in.) or (50.8-mm) insulation	30	0.131
5	25.4-mm(1-in.)wood with 50.8-mm(2-in.)insulation	10	0.083
6	152.4-mm(6-in.)l.w.concrete	26	0.109
7	63.5-mm(2.5-in.)wood with 25.4-mm(1-in.) insulation	15	0.096
8	203.2-mm(8-in.)l.w.concrete	33	0.093
9	101.6-mm(4-in.)h.w.concrete with 25.4-mm(1-in.) or (50.8-mm) insulation	53 (54)	0.128 (0.090)
10	63.5-mm(2.5-in.) wood with 50.8-mm(2-in.)insulation	15	0.072
11	Roof terrace system	77	0.082
12	152.4-mm(6-in.)h.w.concrete with 25.4-mm(1-in.) or (50.8-mm) insulation	77 (77)	0.125(0.088)
13	101.6-mm(4-in.) wood with 25.4-mm(1-in.) or (50.8-mm) insulation	19 (20)	0.082(0.064)

ตารางที่ 4-6 แสดงตัวอย่างหลังคาที่ใช้ในการศึกษาและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของวัสดุหลังคา 8 ชนิด

No	หลังคาอาคาร	$\sum R$ (ft ² F/Btu)	U (Btu/(h ft ² F)
1	หลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม.	2.83	0.353
5	หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม.	2.87	0.348
9	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.	3.87	0.258
11	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	20.48	0.049
5	หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	17.12	0.058
5	หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 9 นิ้ว	39.12	0.026
1	หลังคาแอสฟัลท์ มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	29.45	0.034
1	Sandwich Panel 6 นิ้ว	24.03	0.042

การประเมินประสิทธิภาพของหลังคาด้านการลดค่าภาระการทำความเย็นของอาคาร จะใช้หลังคาที่เป็นตัวแทน 8 ชนิดมาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) และคำนวณค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลังคาชนิดต่าง โดยคำนวณจากสูตร CLTD เพื่อหาค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาแต่ละแบบ พร้อมกับมีการเปรียบเทียบการปรับแต่งค่าสีของวัสดุ (K) ดังนี้ K= 1 0.5 และ 0 ตามลำดับ

จากสูตร

$$Q = U \cdot A \cdot \text{CLTD}$$

$$\text{CLTD}_{\text{corr}} = (\text{CLTD} + \text{LM})K + (78 - t_r) + (T_o - 85)f$$

โดย

$\text{CLTD}_{\text{corr}}$ คือ ค่าปรับแก้แล้วของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง °F

CLTD คือ ค่าความร้อนแตกต่างเทียบเท่า °F

LM คือ ที่ตั้งและเดือน

K คือ สีผิวของวัสดุ

T_r คือ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง °F

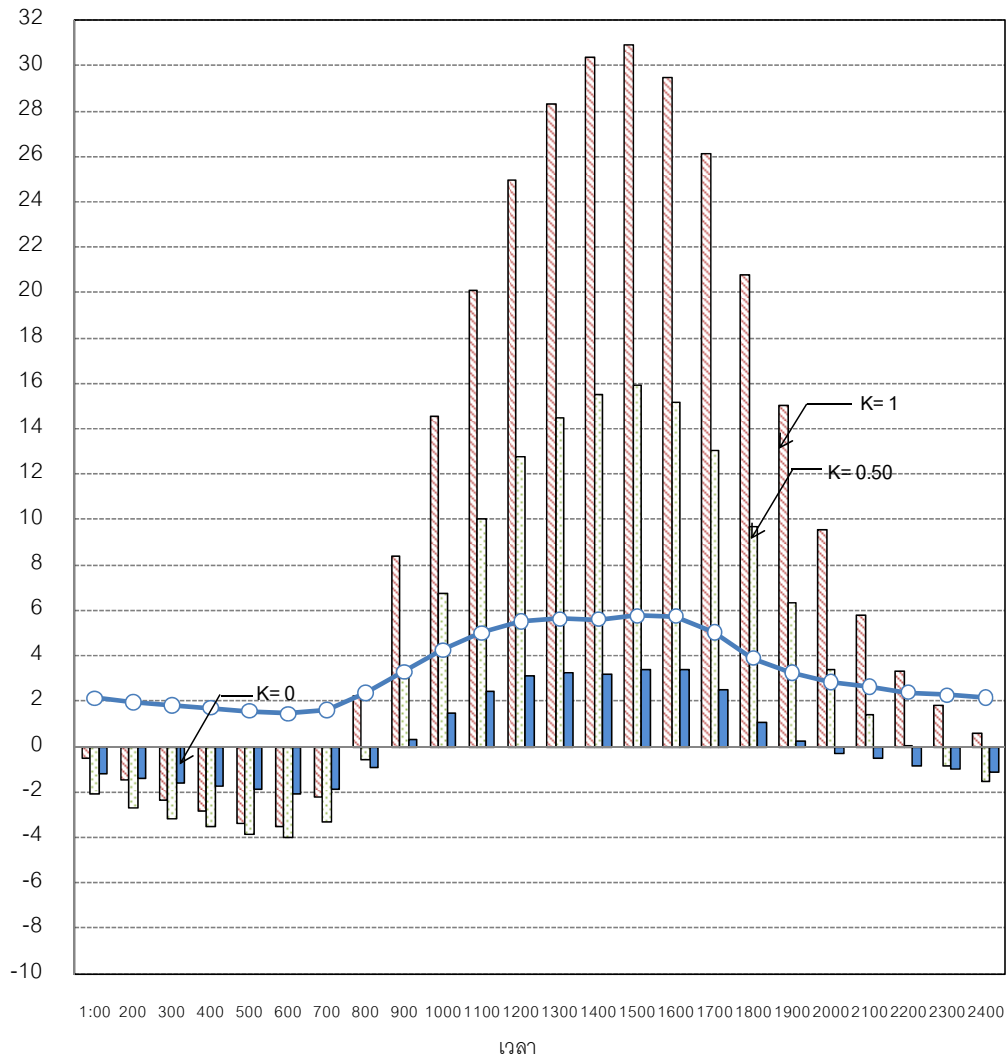
T_o คือ อุณหภูมิอากาศออกแบบภายนอก °F

f คือ การระบายอากาศภายในหลังคา °F

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านหลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม. เมื่อเปรียบเทียบ
จากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



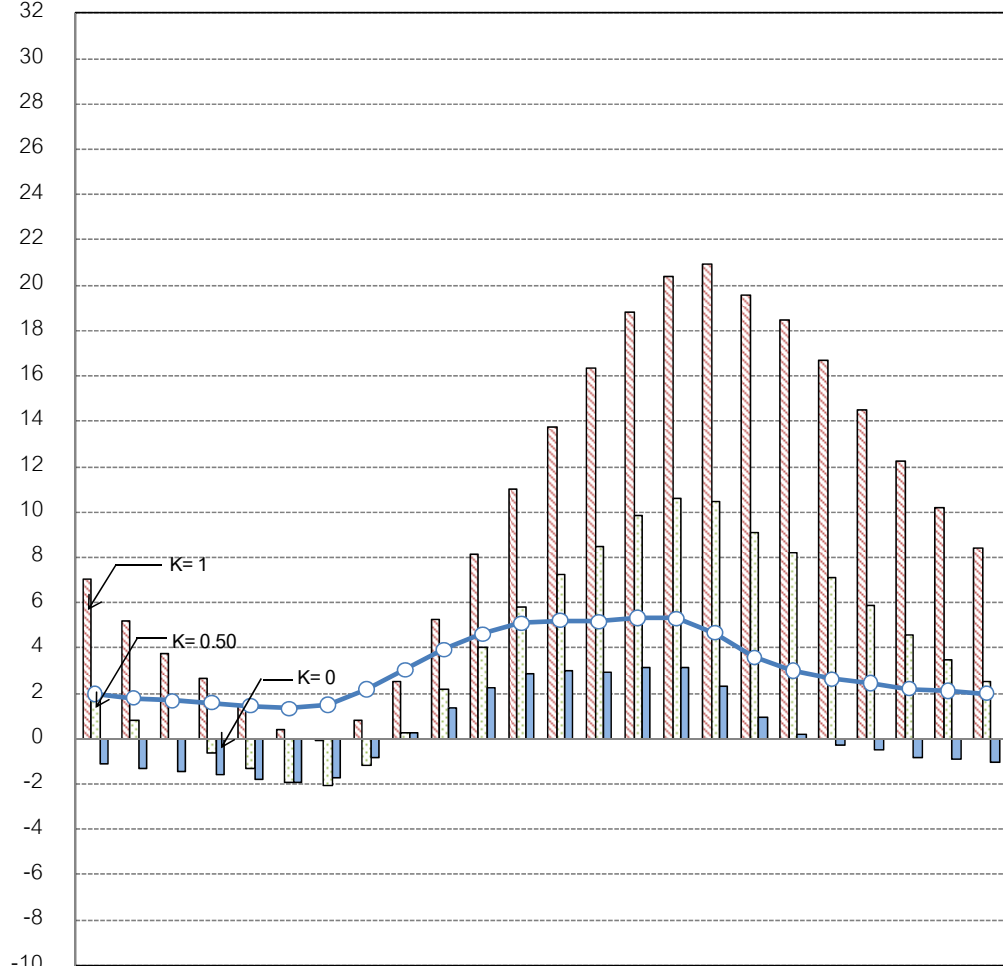
แผนภูมิที่ 4-38 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า U-Value = 0.353 Btu/hr.ft²⁰F
(No.1) ค่าความชื้นของสวิตช์มีค่า (K) = 1, 0.50, 0

แผนภูมิที่ 4-38 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร
 $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกสวิตช์มีผลต่อวัสดุของหลังคาแผ่นโลหะมีฝ้าเพดาน 12
มม. พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาสีอ่อนกับความแตกต่างอุณหภูมิ
อากาศ มีค่าภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมาก

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. เมื่อเปรียบเทียบจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1)
 U*A*CLTD(K=0.50)
 U*A*CLTD(K=0)
 U*A*Delta T

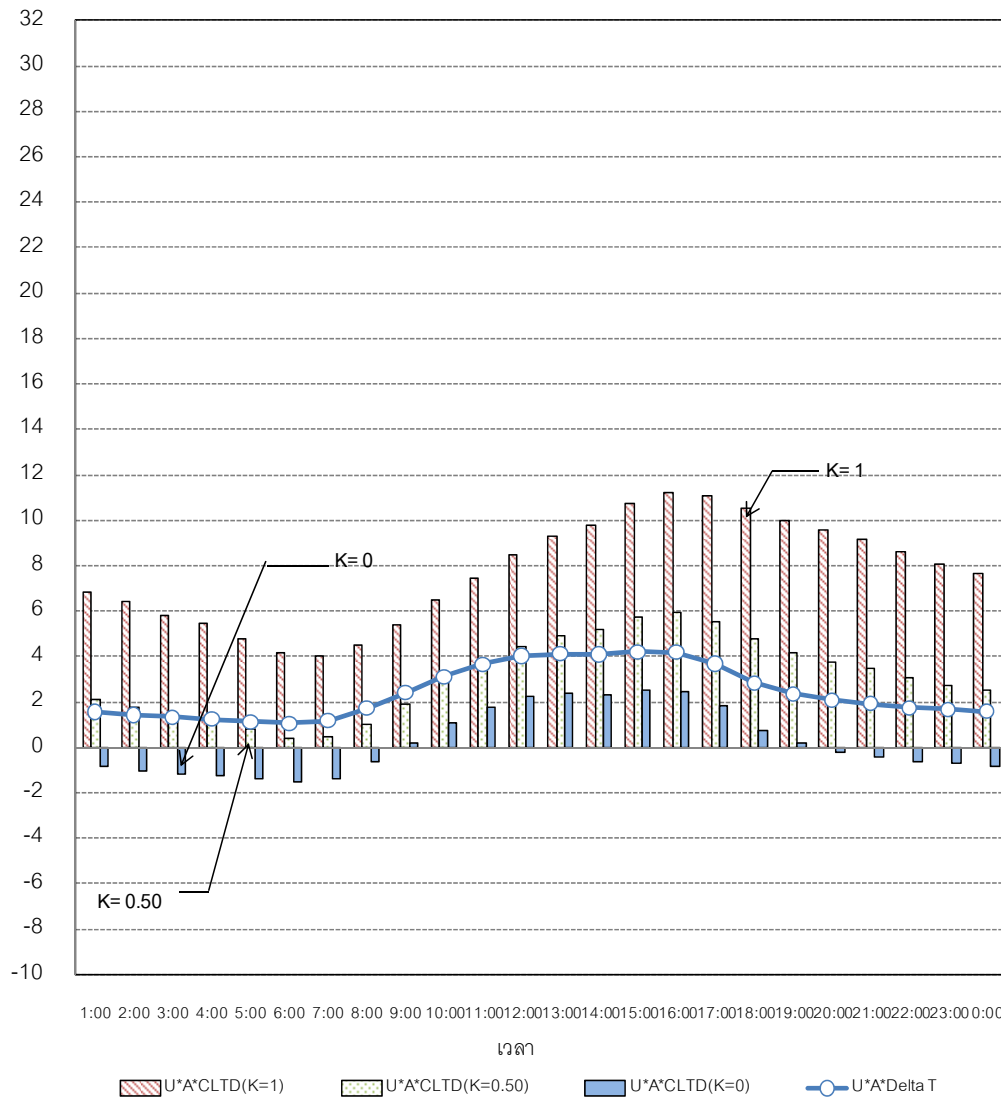
แผนภูมิที่ 4-39 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า U-Value = 0.3264 Btu/hr.ft²°F (No.5) ค่าความเข้มของสวิตช์มีค่า (K) = 1, 0.50, 0

แผนภูมิที่ 4-39 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกสวิตช์มีผลต่อวัสดุของหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาสี่อ่อกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศ มีค่าภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมาก

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร มีฝ้า
เพดาน 12 มม. เมื่อเปรียบเทียบจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



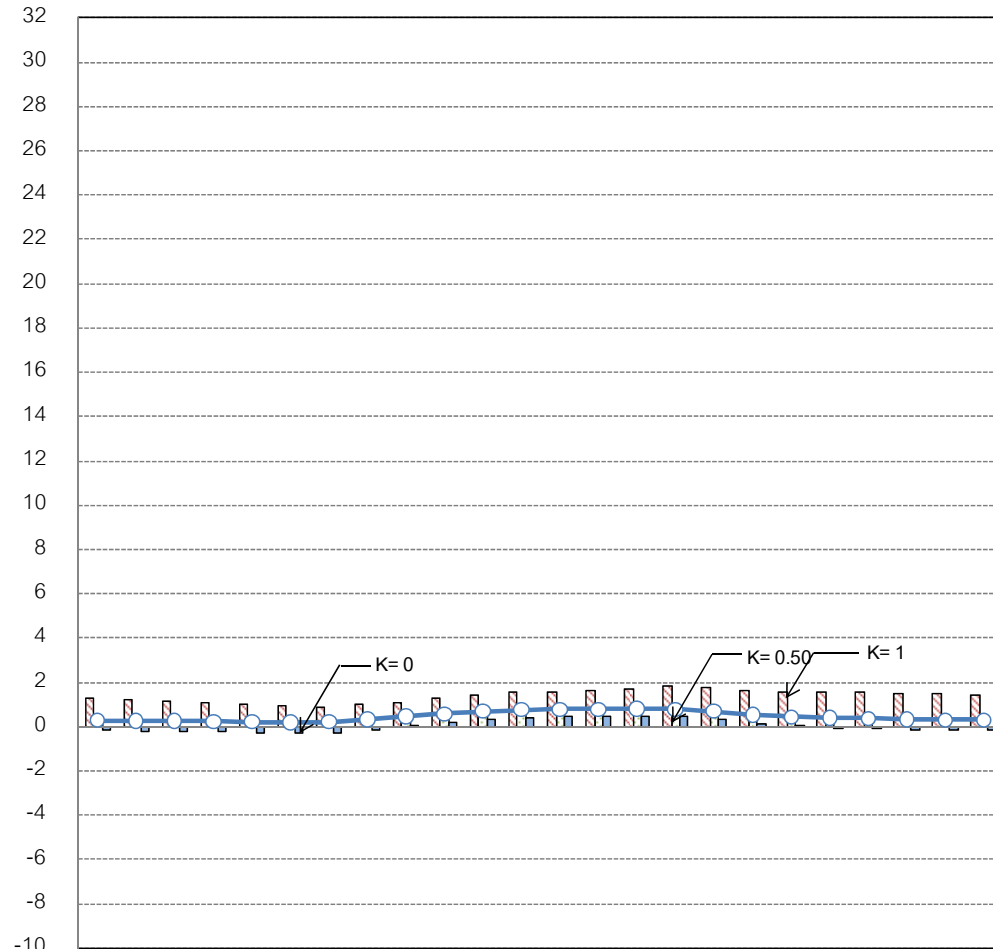
แผนภูมิที่ 4-40 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร ค่า U-Value = 0.258 Btu/hr.ft²F
(No.9) ค่าความชื้นของวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0

แผนภูมิที่ 4-40 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร
 $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าต่างกันมาก การเลือกวัสดุมีผลต่อวัสดุของหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้า
เพดาน 12 มม. พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาที่อ่อนกับ
แตกต่างอุณหภูมิอากาศ มีค่าภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมาก

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว เปรียบเทียบจากสูตร $Q=U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q=U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1) U*A*CLTD(K=0.50) U*A*CLTD(K=0) U*A*Delta T

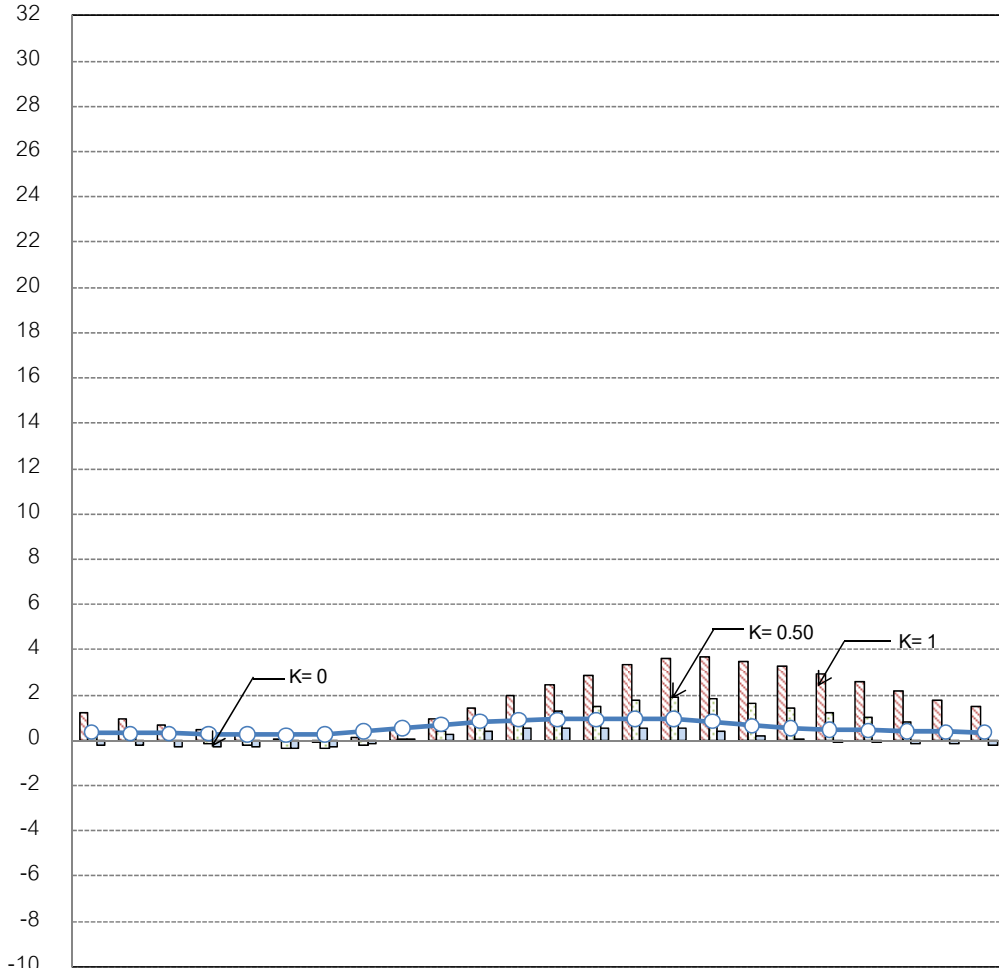
แผนภูมิที่ 4-41 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.15 เมตร มีฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า U-Value = 0.049 Btu/hr.ft²°F (No.11) ค่าความเข้มของสวิตช์มีค่า (K) = 1, 0.50, 0

แผนภูมิที่ 4-41 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจาก $Q=U \cdot A \cdot \Delta T$ และ $Q=U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกันมาก การเลือกสวิตช์มีผลน้อยมากต่อวัสดุหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.15 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับค่าภาระการทำความเย็นของความแตกต่างอุณหภูมิอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. จนวน
 โยแก้ว 3 นิ้วเมื่อเปรียบเทียบจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1)
 U*A*CLTD(K=0.50)
 U*A*CLTD(K=0)
 U*A*Delta T

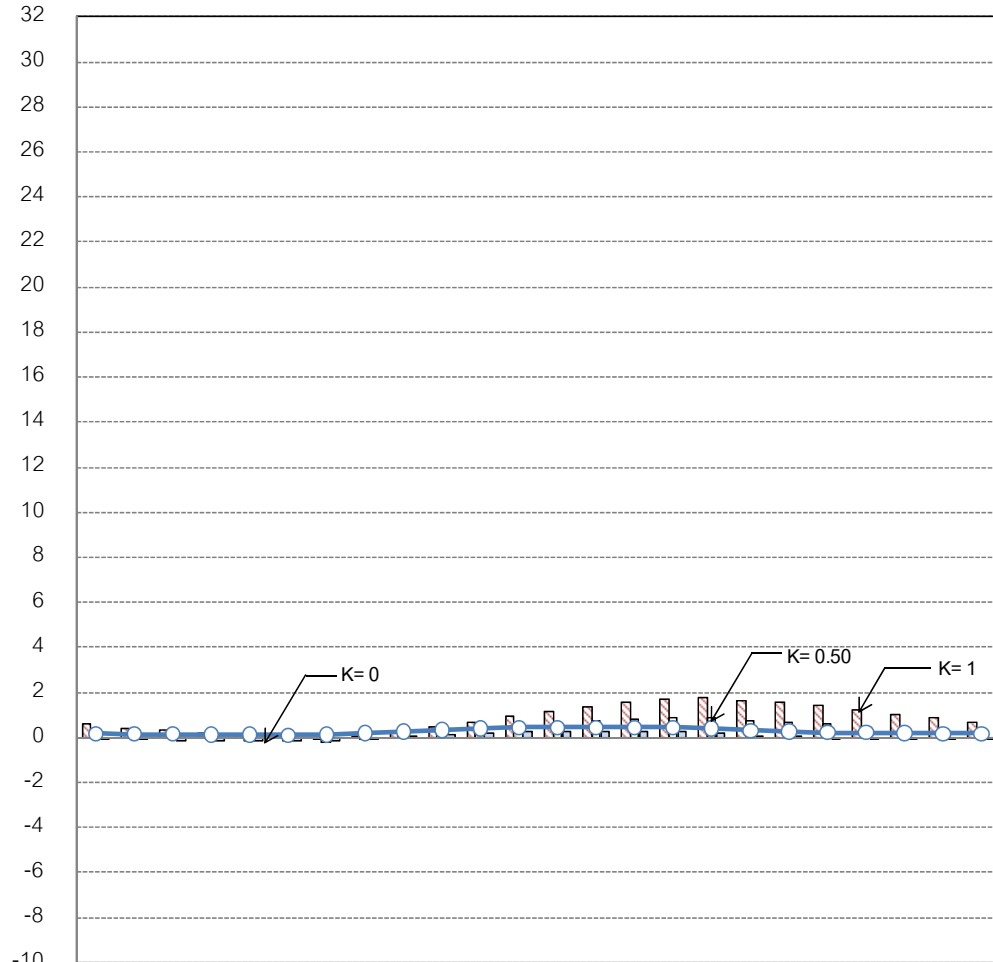
แผนภูมิที่ 4-42 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต จนวนโยแก้ว 3 นิ้ว ค่า U-Value = 0.058 Btu/hr.ft²F (No.5) ค่าความเข้มของสวิตช์มีค่า (K) = 1, 0.50, 0

แผนภูมิที่ 4-42 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจาก $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และ $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกันมาก การเลือกสวิตช์มีผลน้อยมากต่อวัสดุหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. จนวนโยแก้ว 3 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับค่าภาระการทำความเย็นของความแตกต่างอุณหภูมิอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. หนา
 ใยแก้ว 9 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความร้อน

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

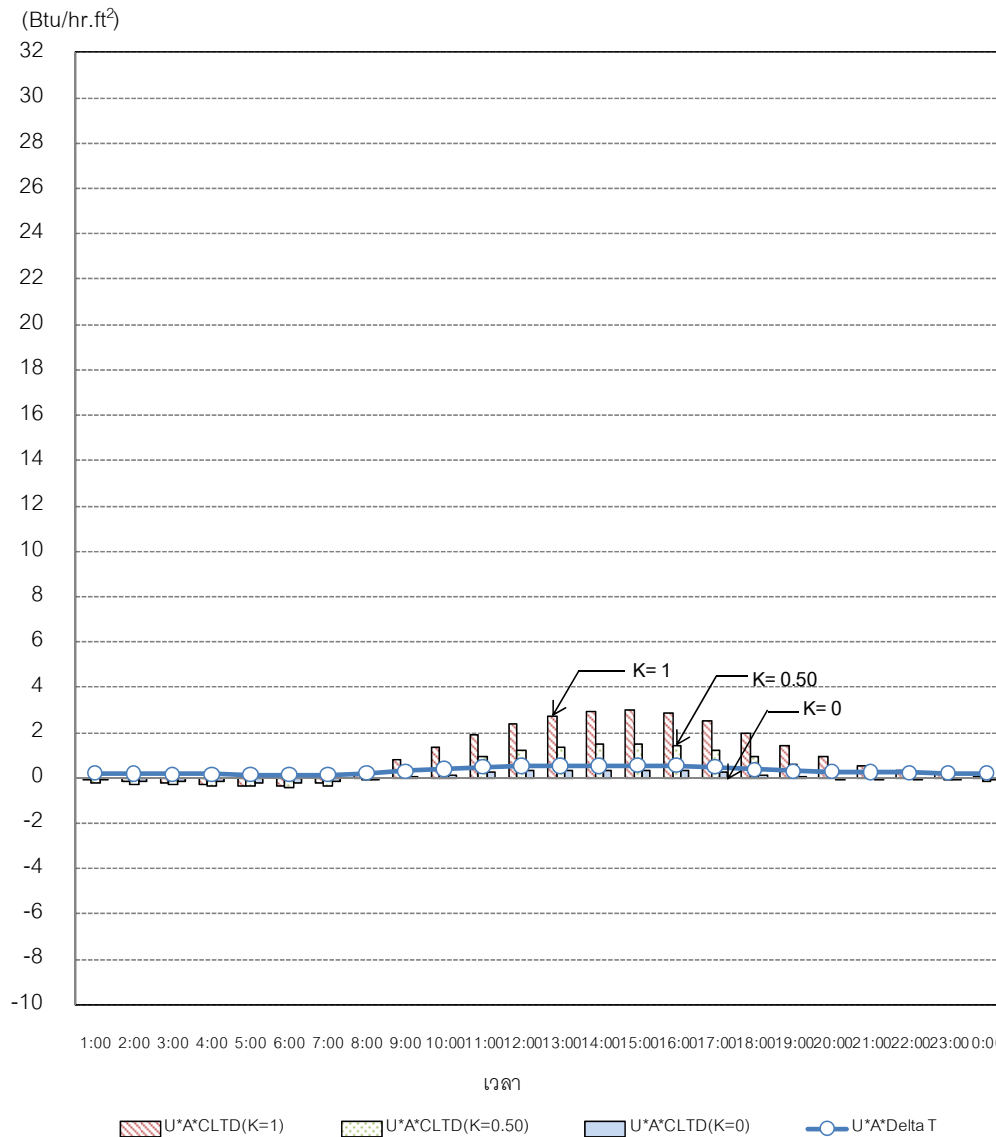
U*A*CLTD(K=1)
 U*A*CLTD(K=0.50)
 U*A*CLTD(K=0)
 U*A*Delta T

แผนภูมิที่ 4-43 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
 ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต หนาใยแก้ว 9 นิ้ว ค่า U-Value = 0.0277
 Btu/hr.ft²F (No.5) ค่าความเข้มของสวิตช์มีค่า (K) = 1, 0.50, 0

แผนภูมิที่ 4-43 พบว่าค่าภาระการทำความร้อนจาก $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และ $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มี
 ค่าใกล้เคียงกันมาก การเลือกสวิตช์มีผลน้อยมากต่อวัสดุหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12
 มม. หนาใยแก้ว 9 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความร้อนของผนังสีอ่อนกับค่าภาระการทำ
 ความร้อนของความแตกต่างอุณหภูมิอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านหลังคาแอสฟัลท์ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบจากสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น



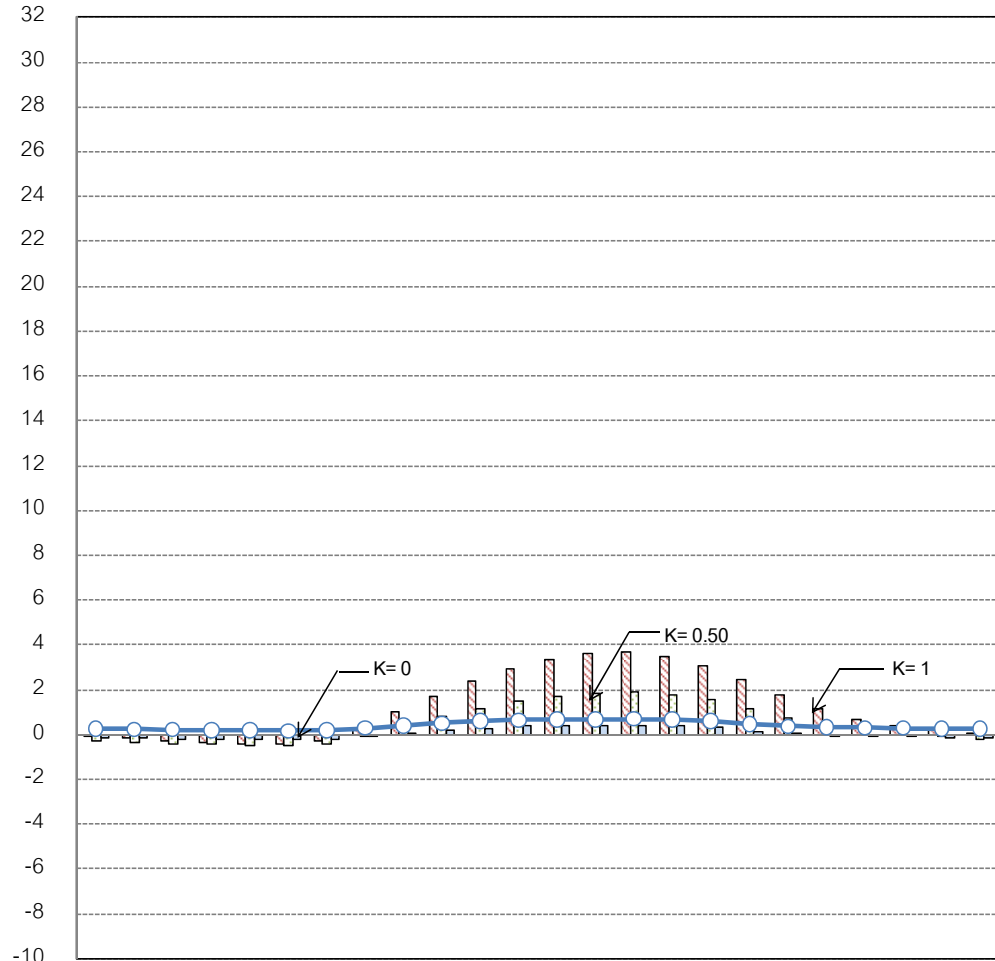
แผนภูมิที่ 4-44 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาแอสฟัลท์ ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.034 Btu/hr.ft²F (No.1) ค่าความชื้นของสวิตช์คูมีค่า (K) = 1, 0.50, 0

แผนภูมิที่ 4-44 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจาก $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และ $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกันมาก การเลือกสวิตช์คูมีผลน้อยมากต่อวัสดุหลังคาแอสฟัลท์ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับค่าภาระการทำความเย็นของความแตกต่างอุณหภูมิอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนผ่านหลังคา Sandwich Panel 6 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบจาก
สูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

U*A*CLTD(K=1)
 U*A*CLTD(K=0.50)
 U*A*CLTD(K=0)
 U*A*Delta T

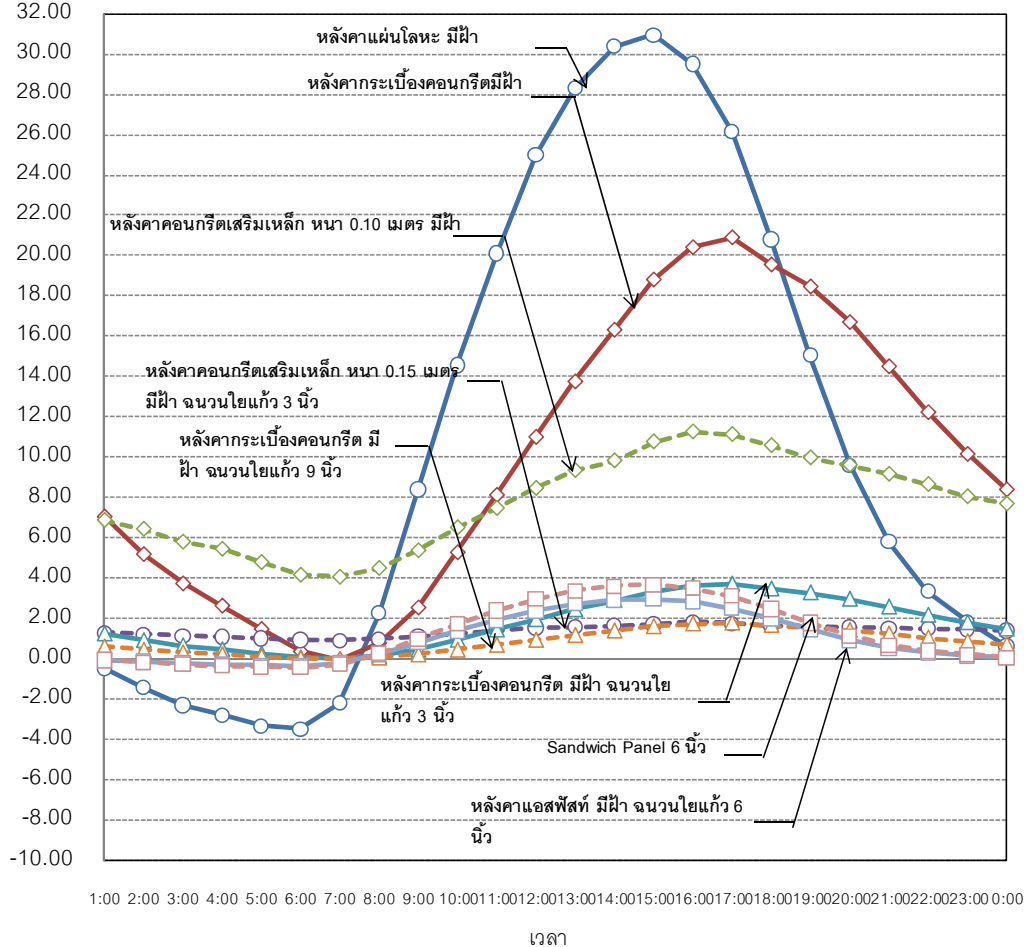
แผนภูมิที่ 4-45 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
ค่า ΔT และค่า CLTD ของ Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.042 Btu/hr.ft²°F (No.1) ค่าความเข้ม
ของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0

แผนภูมิที่ 4-45 พบว่าค่าภาระการทำความเย็นจาก $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และ $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มี
ค่าใกล้เคียงกันมาก การเลือกสีวัสดุมีผลน้อยมากต่อวัสดุหลังคา Sandwich Panel 6 นิ้ว เมื่อ
เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผนังสีอ่อนกับค่าภาระการทำความเย็นของความ
แตกต่างอุณหภูมิอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน

การเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุหลังคาชนิดต่างๆเมื่อค่าความเข้มของสีผิววัสดุมีค่าเท่ากันคือค่า $K = 1$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



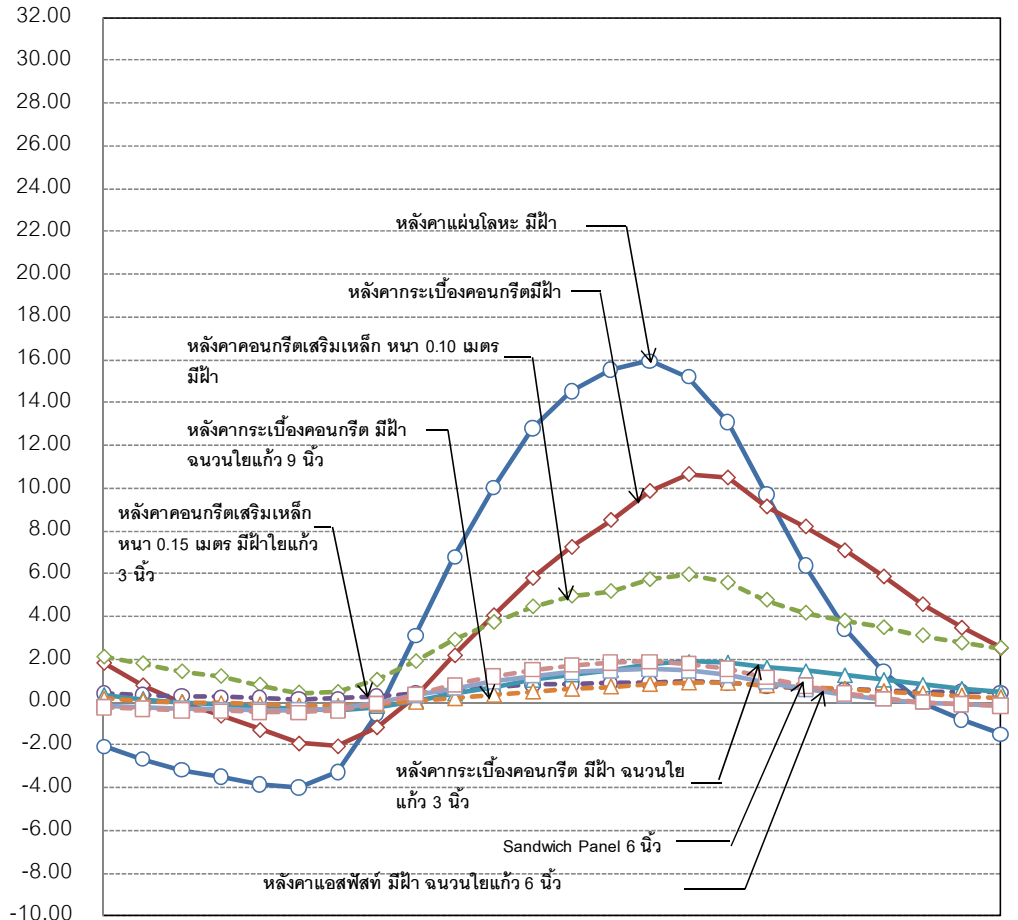
แผนภูมิที่ 4-46 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า CLTD ของหลังคาต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า = 1

แผนภูมิที่ 4-46 เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นจากหลังคาสีเข้ม พบว่าหลังคาแผ่นโลหะมีฝ้าเพดาน มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด ค่าช่วงสูงสุดประมาณ 31 Btu/hr.ft² โดยหลังคาที่มีระบบฉนวนกันความร้อนจะมีค่าภาระการทำความเย็นน้อยกว่าหลังคาที่ไม่มีระบบฉนวนกันความร้อน

การเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุหลังคาชนิดต่างๆเมื่อค่าความชื้นของ
 สีสีผิววัสดุมีค่าเท่ากันคือค่า $K = 0.5$

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

เวลา

- หลังคาแผ่นโลหะมีฝ้า
- ◇ หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตรมีฝ้า
- ▲ หลังคากระเบื้องคอนกรีตมีฝ้าจนวนใยแก้ว 3 นิ้ว
- หลังคาแอสฟัลท์มีฝ้าจนวนใยแก้ว 6 นิ้ว
- ◇ หลังคากระเบื้องคอนกรีตมีฝ้า
- หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.15 เมตรมีฝ้าจนวนใยแก้ว 3 นิ้ว
- ▲ หลังคากระเบื้องคอนกรีตมีฝ้าจนวนใยแก้ว 9 นิ้ว
- Sandwich Panel 6 นิ้ว

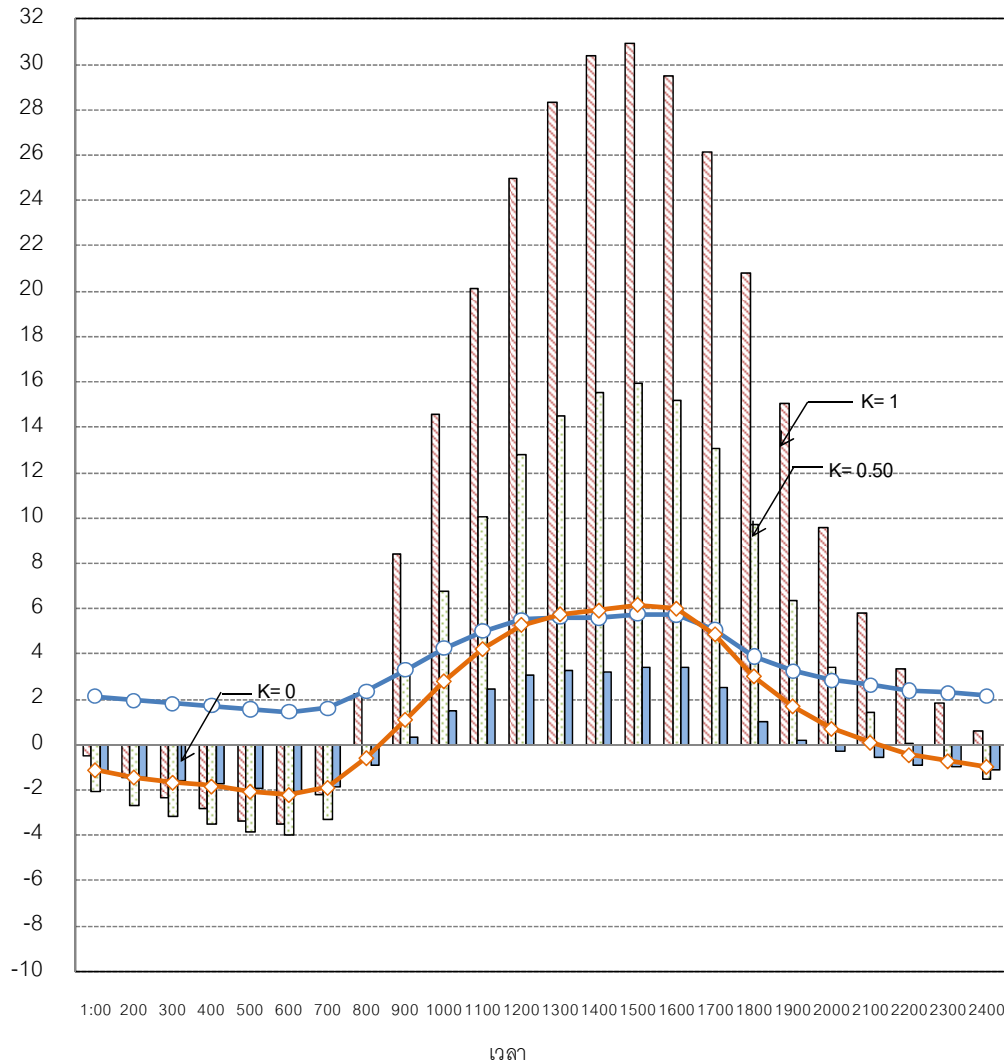
แผนภูมิที่ 4-47 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
 ค่า CLTD ของหลังคาต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความชื้นของสีวัสดุมีค่า = 0.5

แผนภูมิที่ 4-47 เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นจากหลังคาสีอ่อน พบว่าหลังคาแผ่น
 โลหะมีฝ้าเพดาน มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด ค่าช่วงสูงสุดประมาณ 16 Btu/hr.ft² โดย
 หลังคาที่มีระบบฉนวนกันความร้อนจะมีค่าภาระการทำความเย็นน้อยกว่าหลังคาที่ไม่มีระบบ
 ฉนวนกันความร้อน

การหาค่าความเข้มสีของหลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



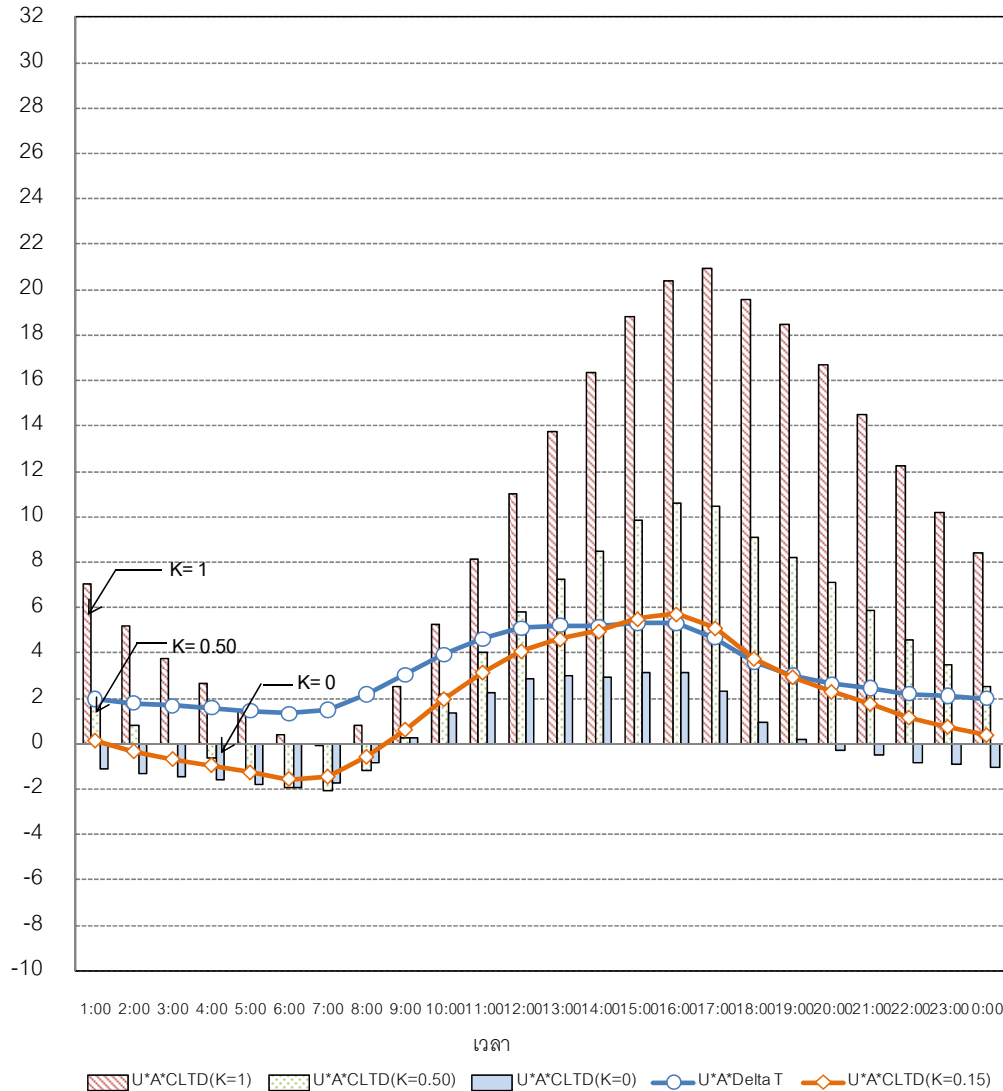
แผนภูมิที่ 4-48 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า U-Value = 0.353 Btu/hr.ft²F (No.1) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 และ 0.1

แผนภูมิที่ 4-48 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะทำให้ได้ค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าหลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า K=0.1

การหาค่าความชื้นของหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



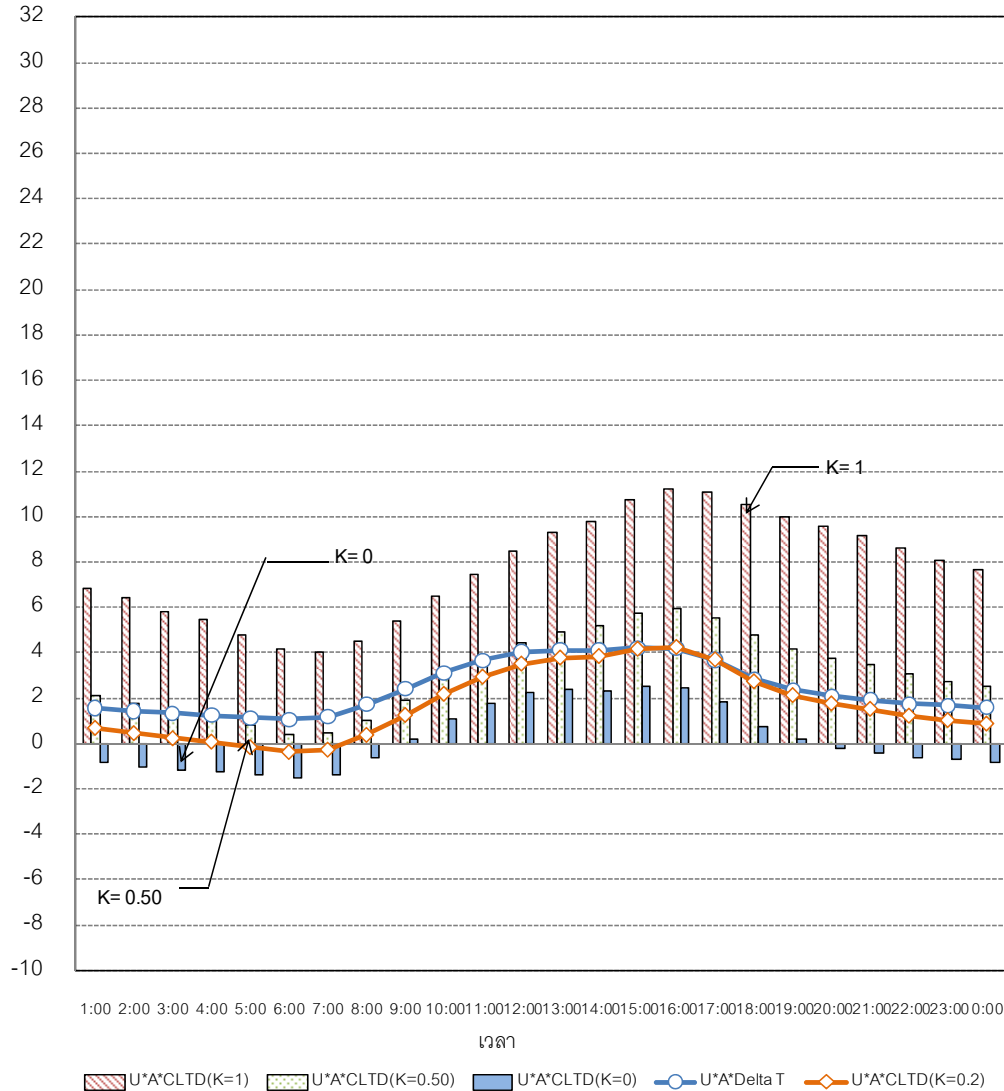
แผนภูมิที่ 4-49 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า U-Value = 0.3264 Btu/hr.ft²F (No.5) ค่าความชื้นของวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 และ 0.15

แผนภูมิที่ 4-49 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าหลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. ค่า K=0.15

การหาค่าความเข้มสีของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร ที่ทำให้ค่าภาระการ
 ทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

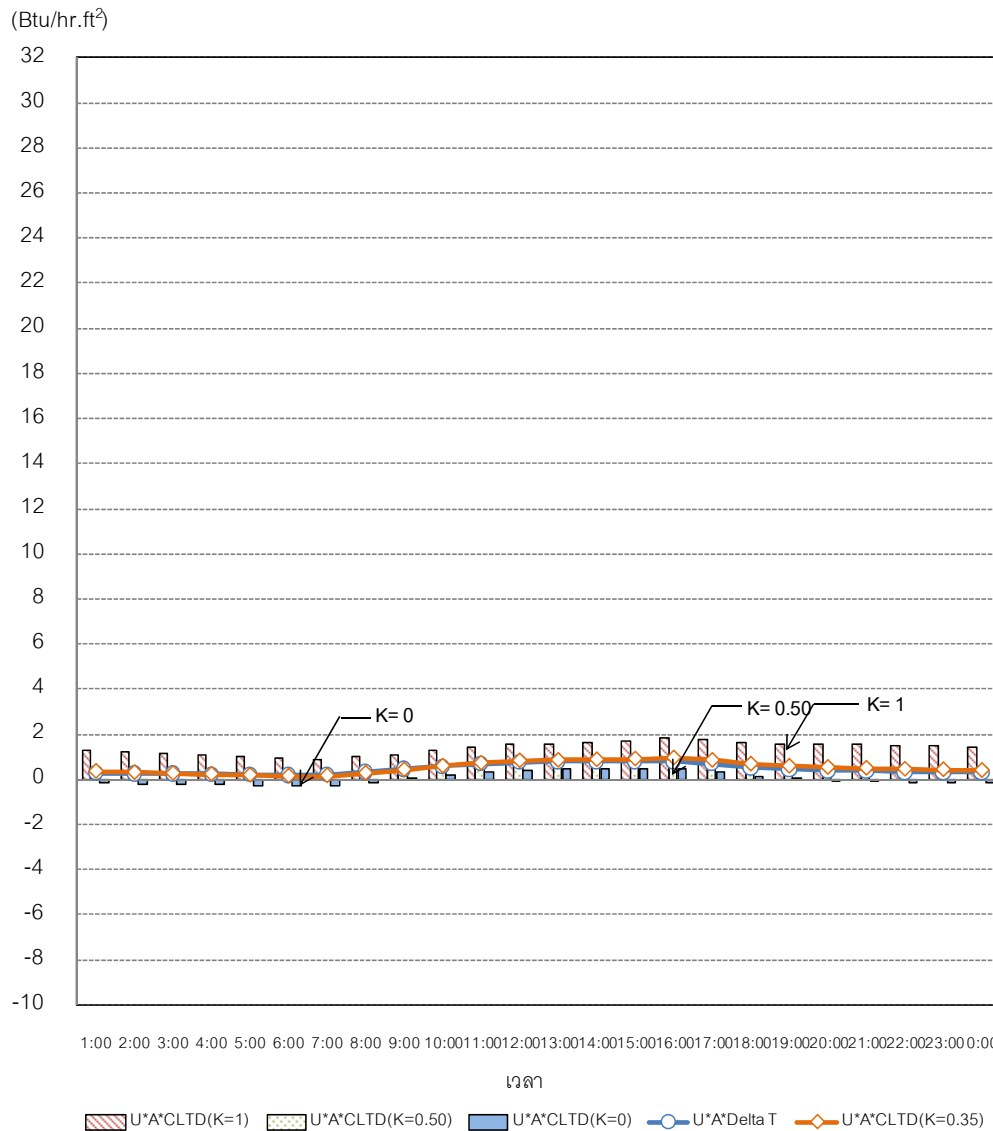
(Btu/hr.ft²)



แผนภูมิที่ 4-50 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
 ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร ค่า U-Value = 0.258 Btu/hr.ft²F
 (No.9) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 และ 0.20

แผนภูมิที่ 4-50 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะทำให้ได้ค่าภาระการทำความเย็น
 ใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของ
 สภาพแวดล้อม พบว่าหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร ค่า K=0.20

การหาค่าความชื้นสีของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.15 เมตร มีฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ที่ทำให้ค่าการระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน



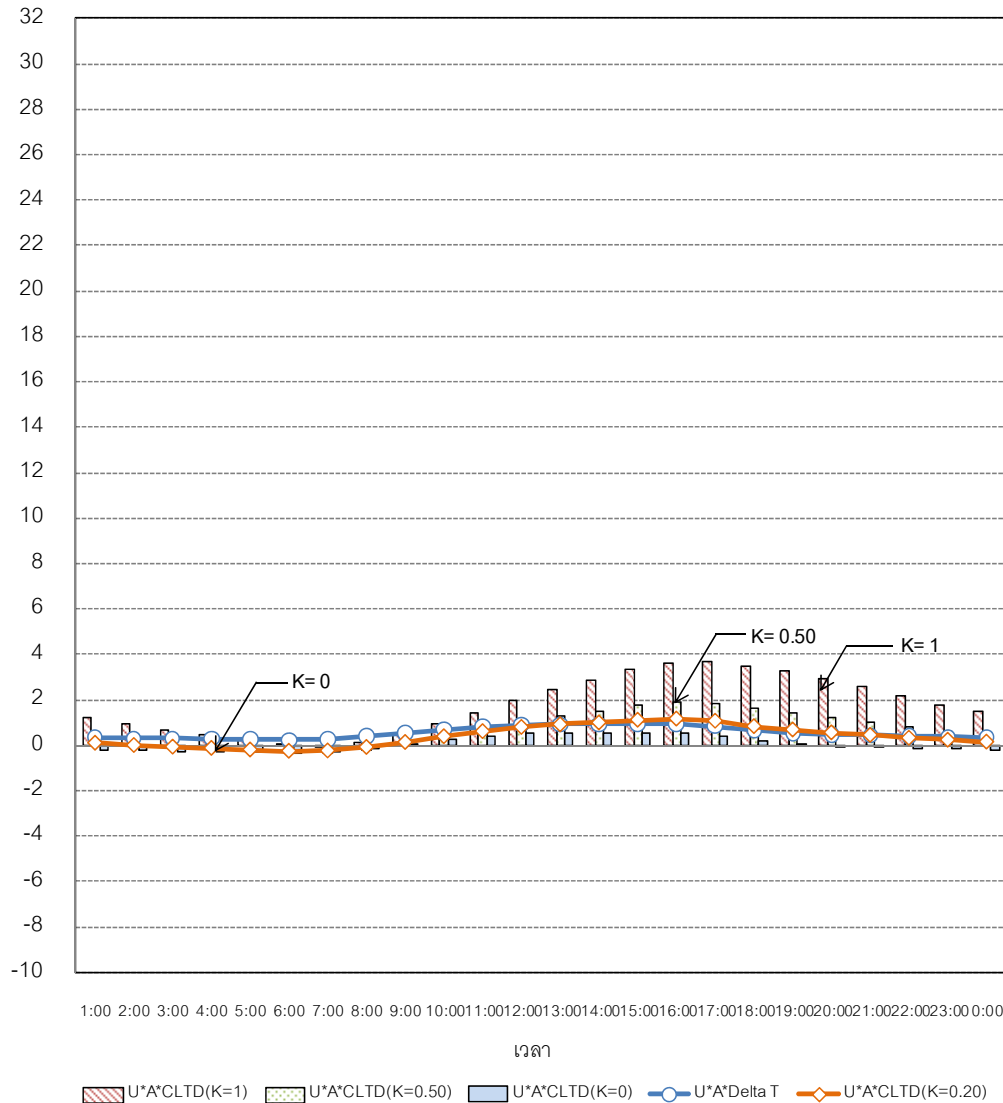
แผนภูมิที่ 4-51 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณาค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.15 เมตร มีฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า U-Value = 0.049 Btu/hr.ft²°F (No.11) ค่าความชื้นของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 และ 0.35

แผนภูมิที่ 4-51 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าการระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.15 เมตร มีฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า K=0.35

การหาค่าความเข้มสีของหลังคากระเบื้องคอนกรีต ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ที่ทำให้ค่าภาระ
การทำความร้อนของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความร้อน

(Btu/hr.ft²)



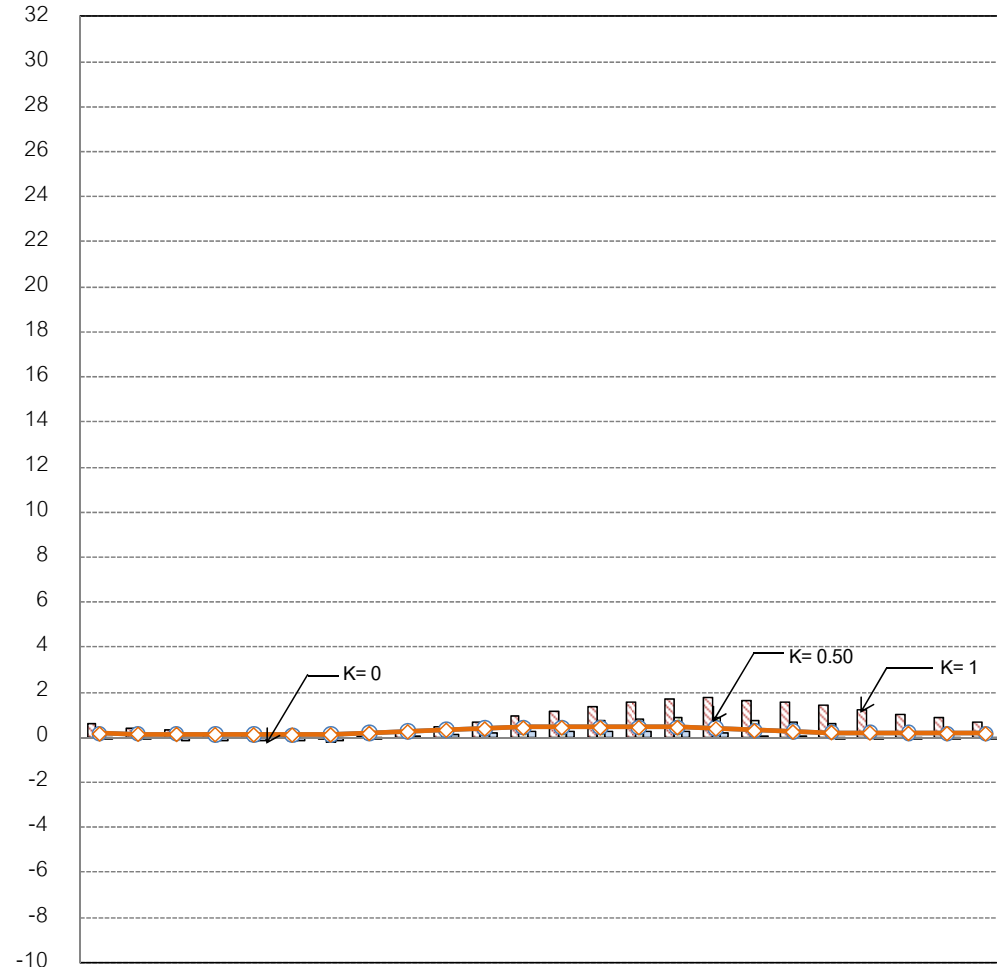
แผนภูมิที่ 4-52 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า U-Value = 0.058
Btu/hr.ft²°F (No.5) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 และ 0.20

แผนภูมิที่ 4-52 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะทำให้ได้ค่าภาระการทำความร้อน
ใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของ
สภาพแวดล้อม พบว่าหลังคากระเบื้องคอนกรีต ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ค่า K=0.20

การหาค่าความเข้มสีของหลังคากระเบื้องคอนกรีต ฉนวนใยแก้ว 9 นิ้ว ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 0:00

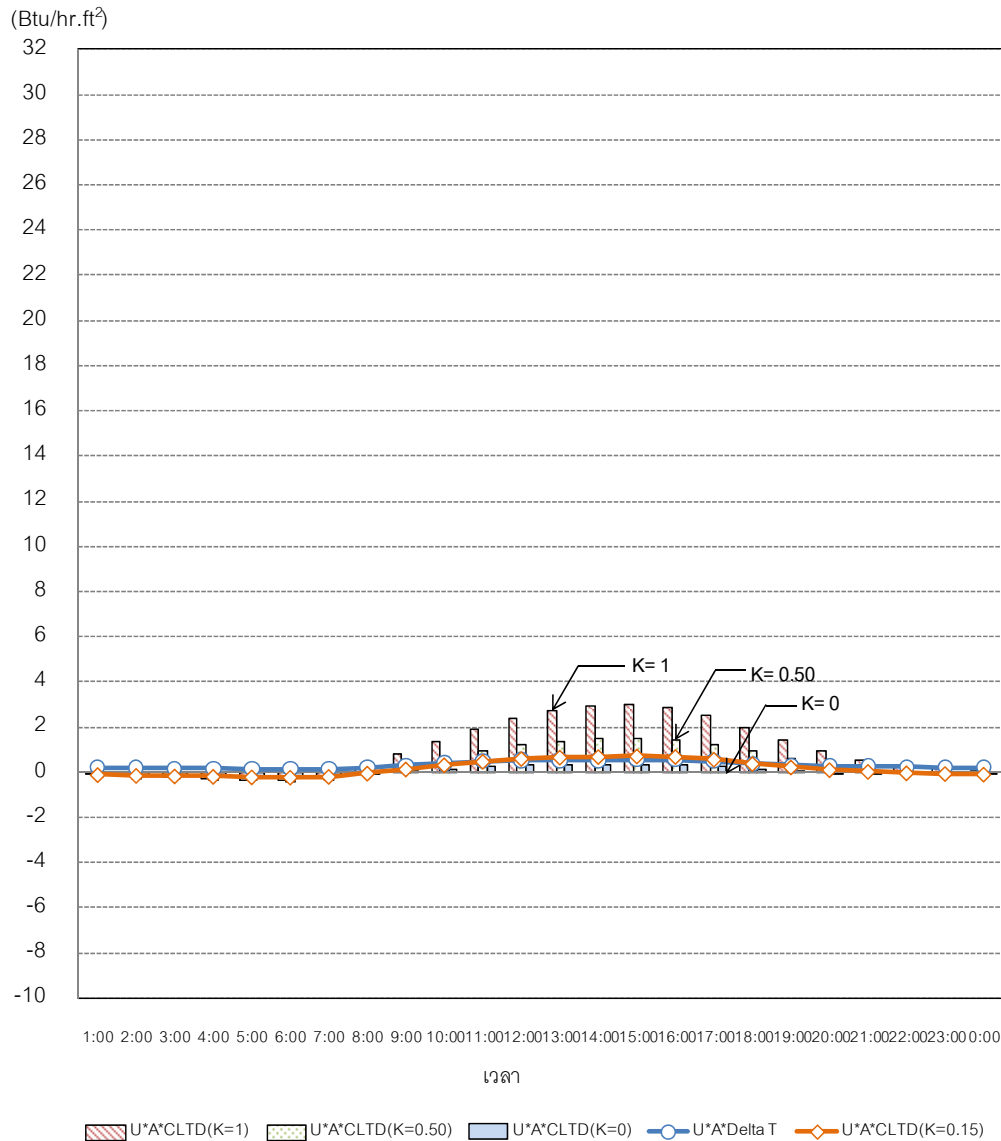
เวลา

U*A*CLTD(K=1) U*A*CLTD(K=0.50) U*A*CLTD(K=0) U*A*Delta T U*A*CLTD(K=0.30)

แผนภูมิที่ 4-53 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคากระเบื้องคอนกรีต ฉนวนใยแก้ว 9 นิ้ว ค่า U-Value = 0.0277 Btu/hr.ft²F (No.5) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 และ 0.20

แผนภูมิที่ 4-53 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะทำให้ได้ค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของสภาพแวดล้อม พบว่าหลังคากระเบื้องคอนกรีต ฉนวนใยแก้ว 9 นิ้ว ค่า K=0.20

การหาค่าความเข้มสีของหลังคาแอสฟัลท์ ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว ที่ทำให้ค่าภาระการทำ
 ความเย็นของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน
 ค่าภาระการทำความเย็น



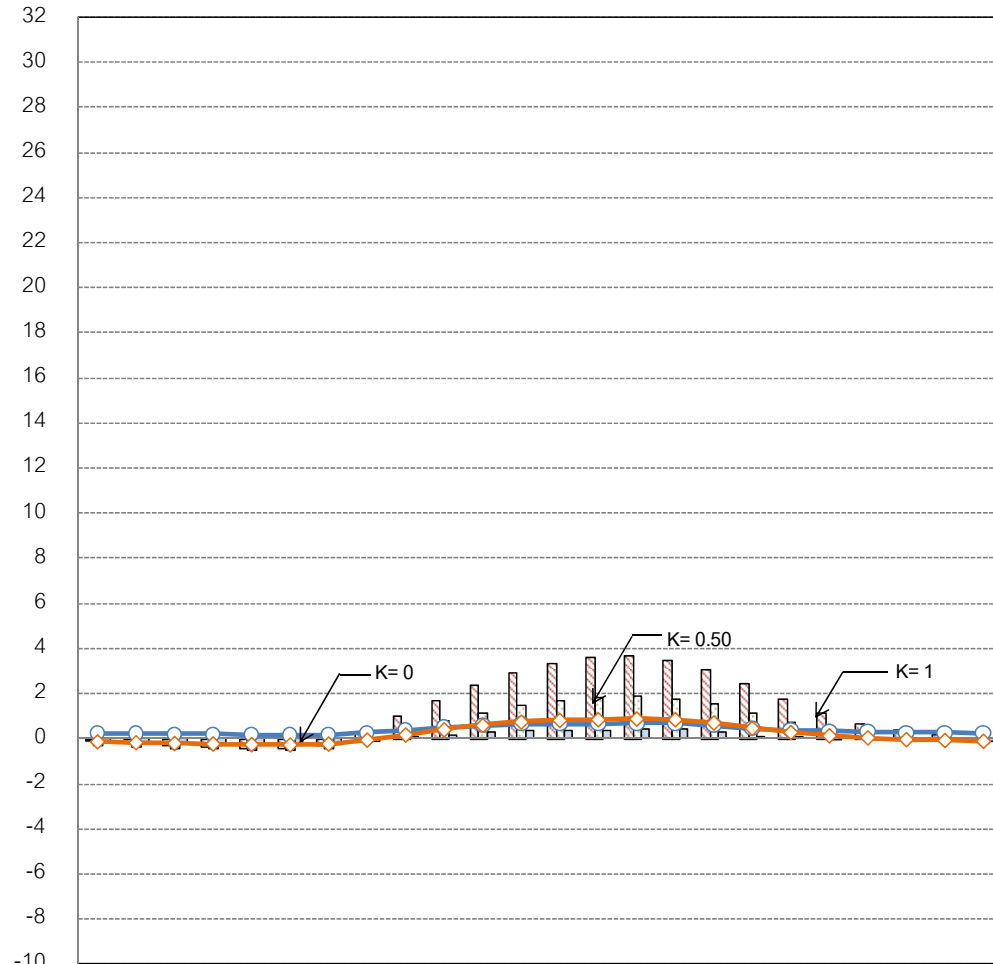
แผนภูมิที่ 4-54 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
 ค่า ΔT และค่า CLTD ของหลังคาแอสฟัลท์ ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.034 Btu/hr.ft²F
 (No.1) ค่าความเข้มของสีวัสดุมีค่า (K) = 1, 0.50, 0 และ 0.15

แผนภูมิที่ 4-54 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าภาระการทำความเย็น
 ใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของ
 สภาพแวดล้อม พบว่าหลังคาแอสฟัลท์ ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว ค่า K=0.15

การหาค่าความชื้นสี่ของหลังคา Sandwich Panel 6 นิ้ว ที่ทำให้ค่าภาระการทำความเย็น
ของสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ และสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าภาระการทำความเย็น

(Btu/hr.ft²)



1:00 2:00 3:00 4:00 5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 00:00

เวลา

▨ U*A*CLTD(K=1) ▤ U*A*CLTD(K=0.50) ▩ U*A*CLTD(K=0) ● U*A*Delta T ◆ U*A*CLTD(K=0.15)

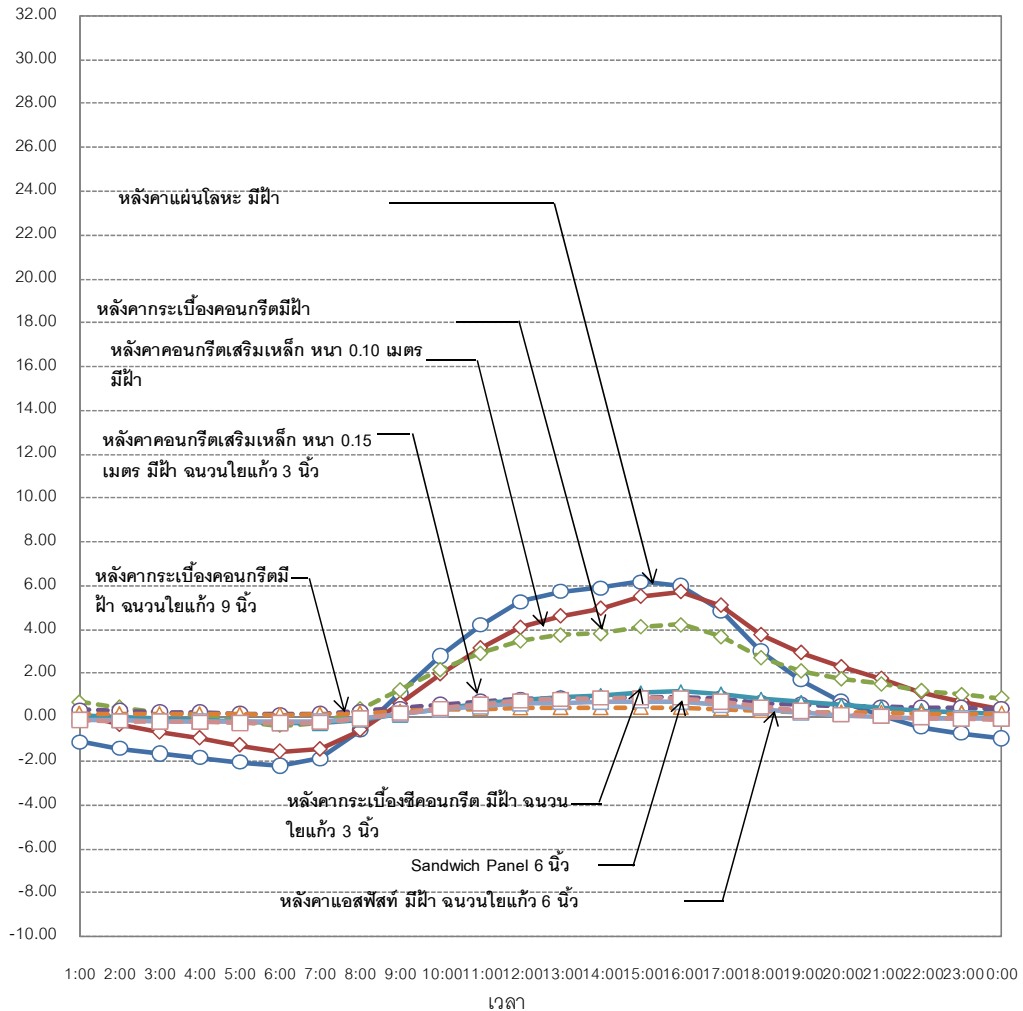
แผนภูมิที่ 4-55 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายนโดยพิจารณา
ค่า ΔT และค่า CLTD ของ Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า U-Value = 0.042 Btu/hr.ft²°F (No.1) ค่าความ
ชื้นของสี่วัสดุมีค่า (K)= 1, 0.50, 0 และ 0.15

แผนภูมิที่ 4-55 หาค่า K ในสูตร $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ ที่จะให้ได้ค่าภาระการทำความเย็น
ใกล้เคียงกับสูตร $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ ในกรณีตัดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และการกระจายรังสีของ
สภาพแวดล้อม พบว่าหลังคา Sandwich Panel 6 นิ้ว ค่า K=0.15

การเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุต่างๆเมื่อปรับค่าความเข้มของสีย้อม
เพื่อให้ค่าภาระการทำความเย็นจาก CLTD ใกล้เคียงกับ ค่าจาก Δt

ค่าภาระการทำความเย็น

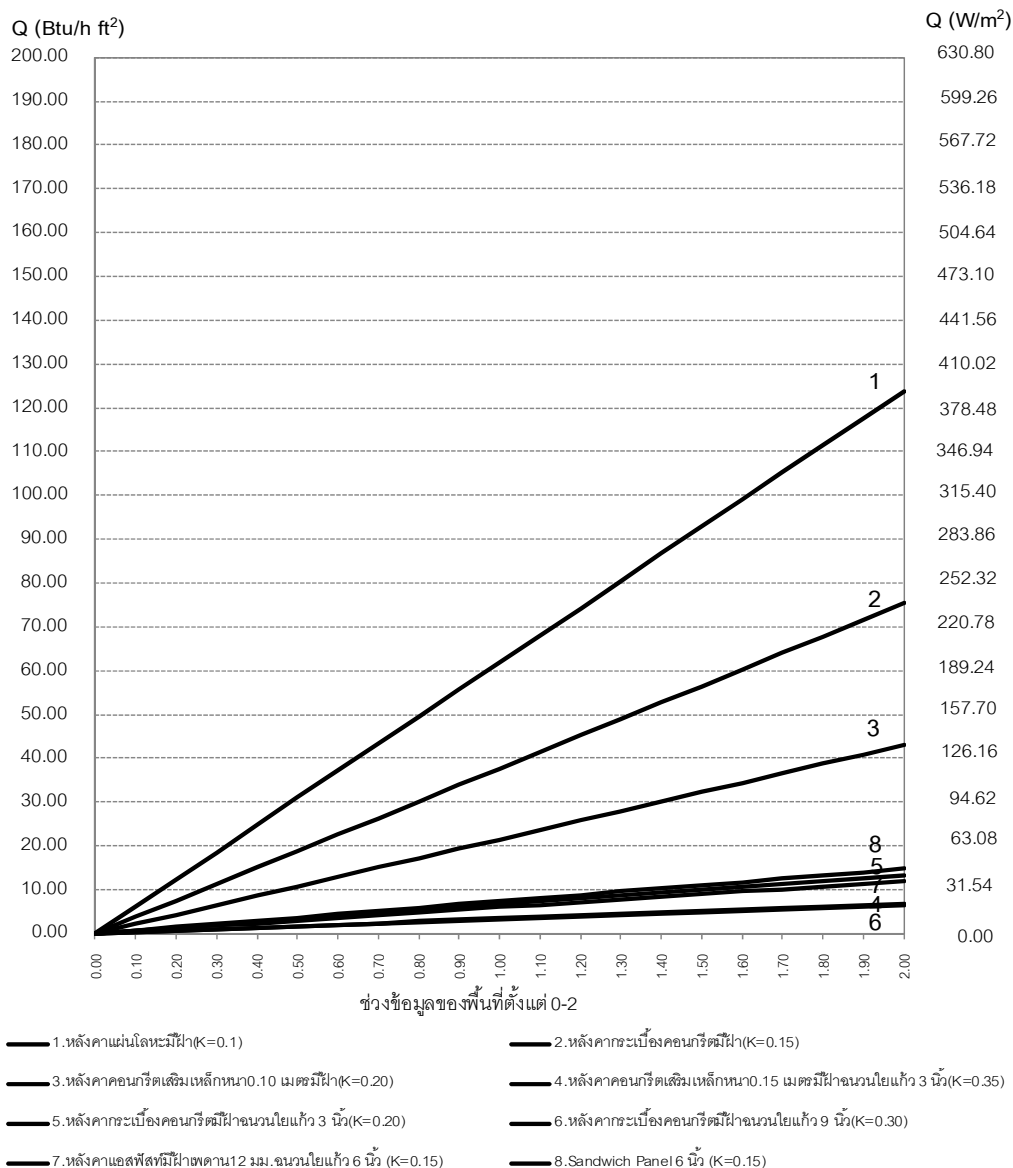
(Btu/hr.ft²)



- หลังคาแผ่นโลหะมีฝ้า(K=0.1)
- ◇— หลังคากระเบื้องคอนกรีตมีฝ้า(K=0.15)
- ◇— หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา0.10 เมตรมีฝ้า(K=0.20)
- หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา0.15 เมตรมีฝ้าจนวนใยแก้ว 3 นิ้ว(K=0.35)
- △— หลังคากระเบื้องคอนกรีตมีฝ้าจนวนใยแก้ว 3 นิ้ว(K=0.20)
- △— หลังคากระเบื้องคอนกรีตมีฝ้าจนวนใยแก้ว 9 นิ้ว(K=0.30)
- หลังคาแอสฟัลท์มีฝ้าจนวนใยแก้ว 6 นิ้ว(K=0.15)
- Sandwich Panel 6 นิ้ว(K=0.15)

แผนภูมิที่ 4-56 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงเดือนเมษายน โดยพิจารณา
ค่า CLTD ของหลังคาต่างๆที่ศึกษา เมื่อค่าความเข้มของสีย้อมมีค่าใกล้เคียงกับ Δt

แผนภูมิที่ 4-56 เปรียบเทียบค่าภาระความเย็นที่ทำการปรับค่าความเข้มสีที่ใกล้เคียงกับ
การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากอุณหภูมิอากาศ พบว่าหลังคาแผ่นโลหะมีฝ้าเพดาน มีค่า
ภาระการทำความเย็นสูงสุด ค่าช่วงสูงสุดประมาณ 6 Btu/hr.ft² แตกต่างกับค่าภาระการทำความ
เย็นเมื่อหลังคาเป็นสีเข้มถึง 5.2 เท่า



แผนภูมิที่ 4-57 แสดงค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ได้จากค่า $U \cdot A$ ของหลังคาอาคารแต่ละชนิดที่มีการปรับค่า CLTD ให้ใกล้เคียง Δt โดยค่า A มีค่าตั้งแต่ 0-2 เพื่อหาช่วงข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุหลังคาเพื่อนำไปเป็นสร้างแบบประเมินอาคาร

แผนภูมิที่ 4-57 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุหลังคาต่างๆ (ค่าความชื้นสี่ $K=1$) คุณกับช่วงข้อมูลพื้นที่ตั้งแต่ 0-2 จะได้ค่าภาระการทำความเย็นในแกน Y วิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของวัสดุจากความสัมพันธ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุและสี่ของวัสดุ พบว่าหลังคาแผ่นโพลีเอทิลีนหุ้มมีฝ้าเพดานมีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดประมาณ 125 Btu/hft² ค่าภาระการทำความเย็นหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีฝ้า ฉนวนใยแก้ว 9 นิ้วประมาณ 8 Btu/hft² โดยจะเป็นเกณฑ์ในการสร้างแบบประเมินต่อไป

4.5 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของกระจกสำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกระจก สามารถคำนวณได้โดยแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยคำนวณค่าภาระการทำความเย็นได้ดังสมการดังนี้

จากสมการค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

$$Q = U \cdot A \cdot CLTD$$

จากสมการค่าการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก

$$Q = A \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF$$

ขั้นตอนที่ 1 ค่าภาระการทำความเย็นจากกระจกจากการนำความร้อน

กำหนดขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก โดยใช้ข้อมูลกระจกที่ใช้ในงานในปัจจุบัน เพื่อหาช่วงข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก ในการนำไปวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอย

จากตารางที่ 4-7 ทำการหาช่วงข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก พบว่ามีช่วงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมอยู่ระหว่าง 0.30-1.05 Btu/hft²°F และจากอาคารตัวอย่าง 16 หลัง ที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ทำการวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่ของช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยอาคารมาพิจารณา พบว่ามีช่วงข้อมูลอยู่ระหว่าง 0-2 จากแบบอาคารทั้งหมด

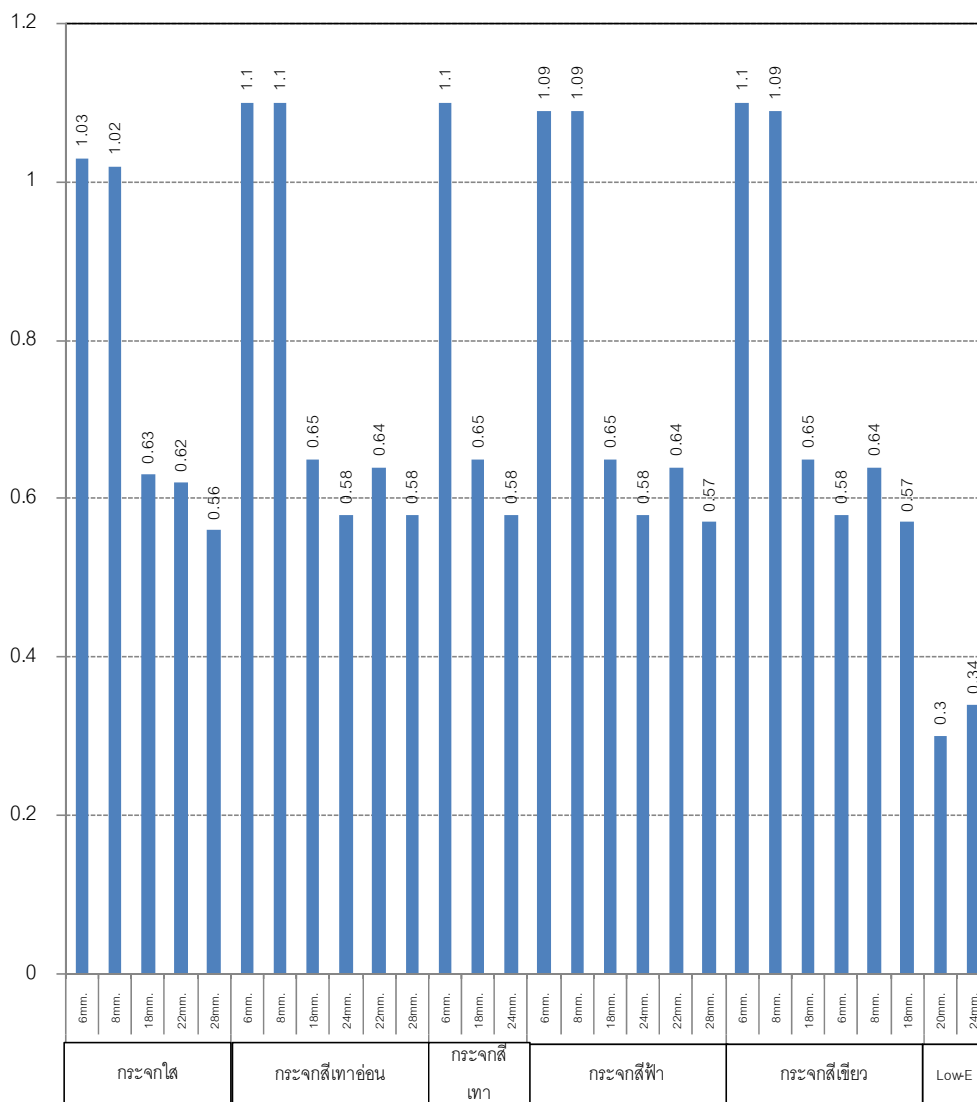
การคำนวณโดยสูตร CLTD จะใช้ค่าจากสูตรที่มีค่าสูงสุดของวัน คือ ชั่วโมงที่ 15 มีค่า CLTD สูงสุดคือ 14°F สำหรับการนำมาคำนวณในสูตรเพื่อหาค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด

จากนั้นทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของกระจกด้วยสูตร CLTD โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ความถ่ายเทความร้อนคูณกับอัตราส่วนพื้นที่ที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอยเพื่อหาเกณฑ์ในการสร้างระดับคะแนนในการประเมินการใช้กระจกในอาคาร

ตารางที่ 4-7 แสดงชนิดและคุณสมบัติของกระจก

ชนิดกระจก	ความหนา กระจก (มม.)	ช่องว่างอากาศ (มม.)	ความหนา กระจกแผ่น ใน (มม.)	ความหนา รวม (มม.)	ค่า U (Btu/ft ² °F)	ค่า SC
กระจกใส	6			6	1.03	0.96
	8			8	1.02	0.92
	6	6	6	18	0.63	0.81
	8	6	8	22	0.62	0.79
	8	12	8	28	0.56	0.79
กระจกสีเทาอ่อน	6			6	1.1	0.64
	8			8	1.1	0.57
	6	6	6	18	0.65	0.53
	6	12	6	24	0.58	0.52
	8	6	8	22	0.64	0.45
	8	12	8	28	0.58	0.44
กระจกสีเทาเข้ม	6			6	1.1	0.63
	6	6	6	18	0.65	0.46
	6	12	6	24	0.58	0.45
กระจกสีฟ้า	6			6	1.09	0.68
	8			8	1.09	0.61
	6	6	6	18	0.65	0.55
	6	12	6	24	0.58	0.54
	8	6	8	22	0.64	0.47
	8	12	8	28	0.57	0.46
กระจกสีเขียว	6			6	1.1	0.65
	8			8	1.09	0.59
	6	6	6	18	0.65	0.52
	6	12	6	24	0.58	0.51
	8	6	8	22	0.64	0.46
	8	12	8	28	0.57	0.45
กระจกใส Low-E	3	14	3	20	0.3	0.69
	6	12	6	24	0.34	0.65
กระจกใสสีบรอนซ์ Low-E	6	12	6	24	0.36	0.43
กระจกสีเขียว Low-E	6	12	6	24	0.36	0.44
กระจกสีเทาอ่อน Low-E	6	12	6	24	0.35	0.42
	6	12	6	24	0.35	0.33

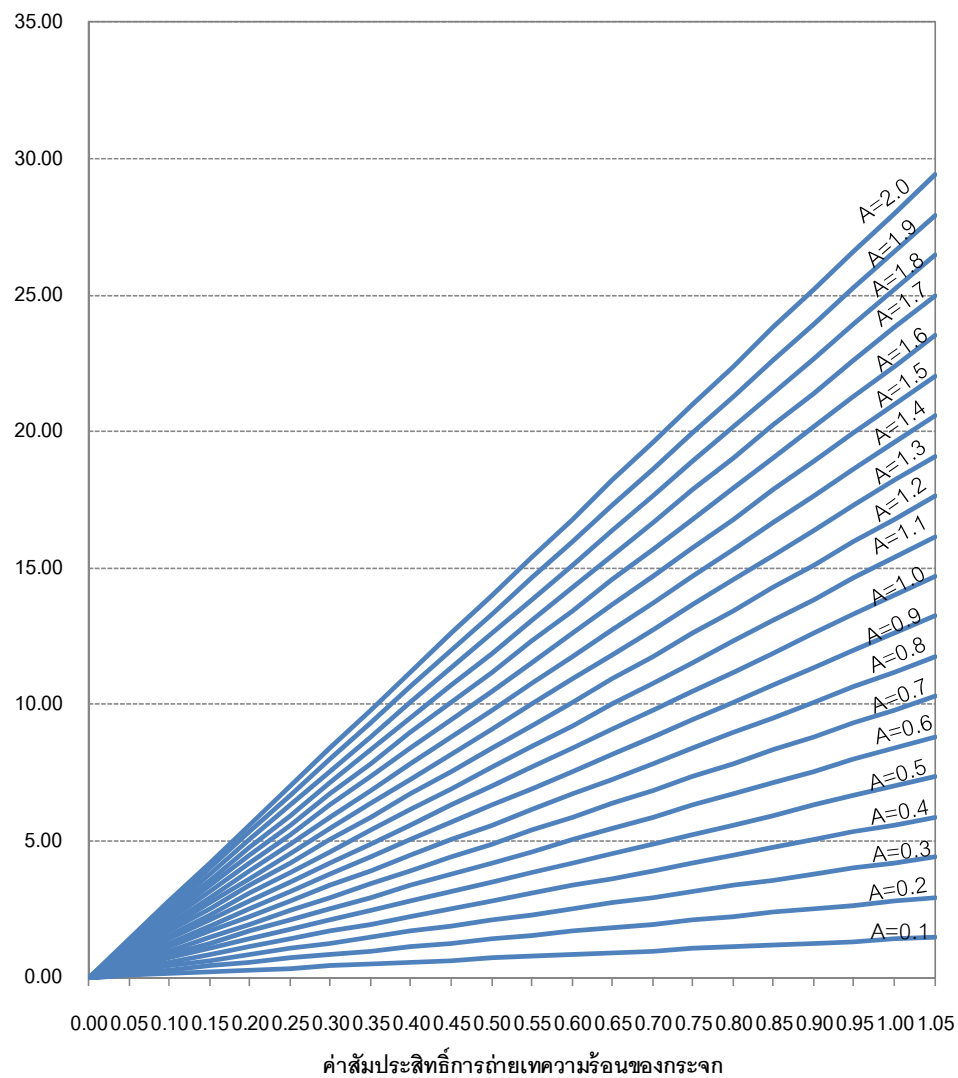
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
U(Btu/hft²°F)



แผนภูมิที่ 4-58 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกชนิดต่างๆ

จากแผนภูมิที่ 4-58 พบว่ากระจกที่ใช้ในการศึกษามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกอยู่ระหว่าง 0.3-1.1 Btu/hft²°F ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนยิ่งน้อย ยิ่งดี จะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างดี

ค่าภาระการทำความเย็น

Q (Btu/h ft²)

แผนภูมิที่ 4-59 แสดงค่าภาระการทำความเย็นของกระจกจากการนำความร้อน

แผนภูมิที่ 4-59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (U) กับสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้อาคาร แกน X คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (U) ค่าแกน Y คือค่าภาระการทำความเย็นของกระจก

ค่าภาระการทำความเย็นจากกระจกจากการแผ่รังสีความร้อน

จากตารางที่ 4-7 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกมีค่าระหว่าง 0.14-1.00 โดยใช้สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 0-2 จากรายละเอียดของอาคารตัวอย่าง 16 หลัง ทำเป็นแผนภูมิเส้นตรงตามแผนภูมิที่ 4-61 โดยแกน X จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกมีค่าระหว่าง 0.14-1.00 และสร้างความสัมพันธ์กับช่วงข้อมูลพื้นที่ จะได้แกน Y เป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกกับพื้นที่ จากนั้นคำนวณค่า CLF (Cooling Load Factor) เลือกจากชั่วโมงที่มีค่าสูงสุด ใช้ค่า SHGF (Solar Heat Gain Factor) ละติจูดที่ 16 องศาเหนือในการคำนวณ

ค่า CLF (Cooling Load Factor) ที่ใช้ในการคำนวณเลือกใช้ข้อมูลชั่วโมงที่ของชั่วโมงที่ 17.00 น. ของทุกทิศทาง ในการคำนวณ

CLF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	0.75	0.23	0.23	0.29	0.41	0.59	0.56	0.51

ค่า SHGF (Solar Heat Gain Factor) ใช้เดือนกุมภาพันธ์ในการคำนวณเนื่องจากมีผลรวมทั้ง 8 ทิศ สูงสุด

SHGF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Feb	33	96	231	233	154	233	231	96

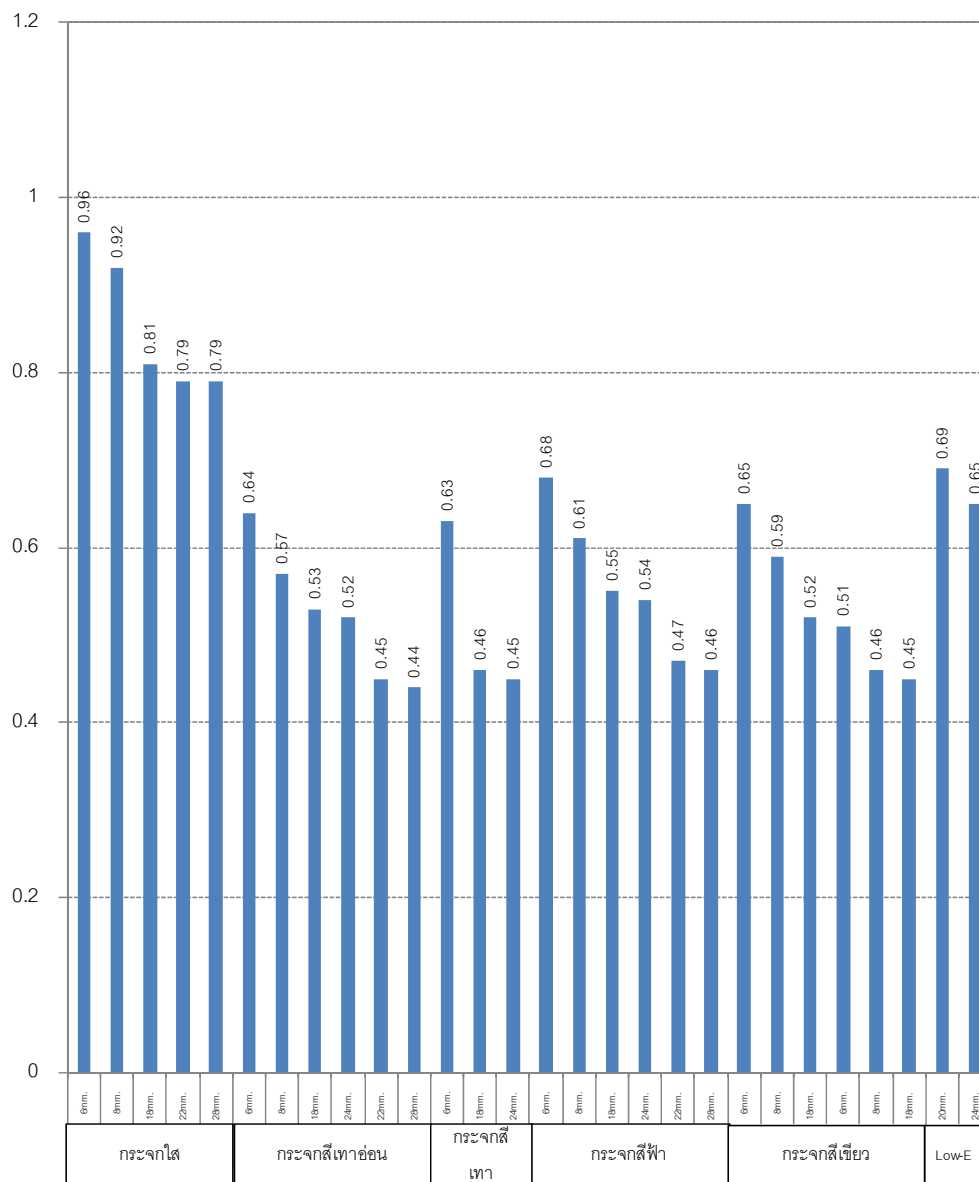
ค่าผลคูณของ CLF กับ SHGF ที่จะใช้เป็นค่าในการคำนวณภาระการทำความเย็น

CLF*SHGF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	24.75	22.08	53.13	67.57	63.14	137.5	129.4	48.96

จากนั้นนำค่า CLF คูณกับค่า SHGF ของแต่ละทิศเพื่อได้ค่าในแต่ละทิศมาเพื่อสร้างแผนภูมิที่ 4-62 โดยนำค่าที่ได้จากผลคูณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกกับพื้นที่มาคูณกับค่า CLF คูณกับค่า SHGF จะได้ค่าภาระการทำความเย็นจากการแผ่รังสีของกระจกที่แสดงในแกน Y ของกระจกในแต่ละทิศ ทั้ง 8 ทิศ โดยกระจกทิศตะวันตกเฉียงใต้มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

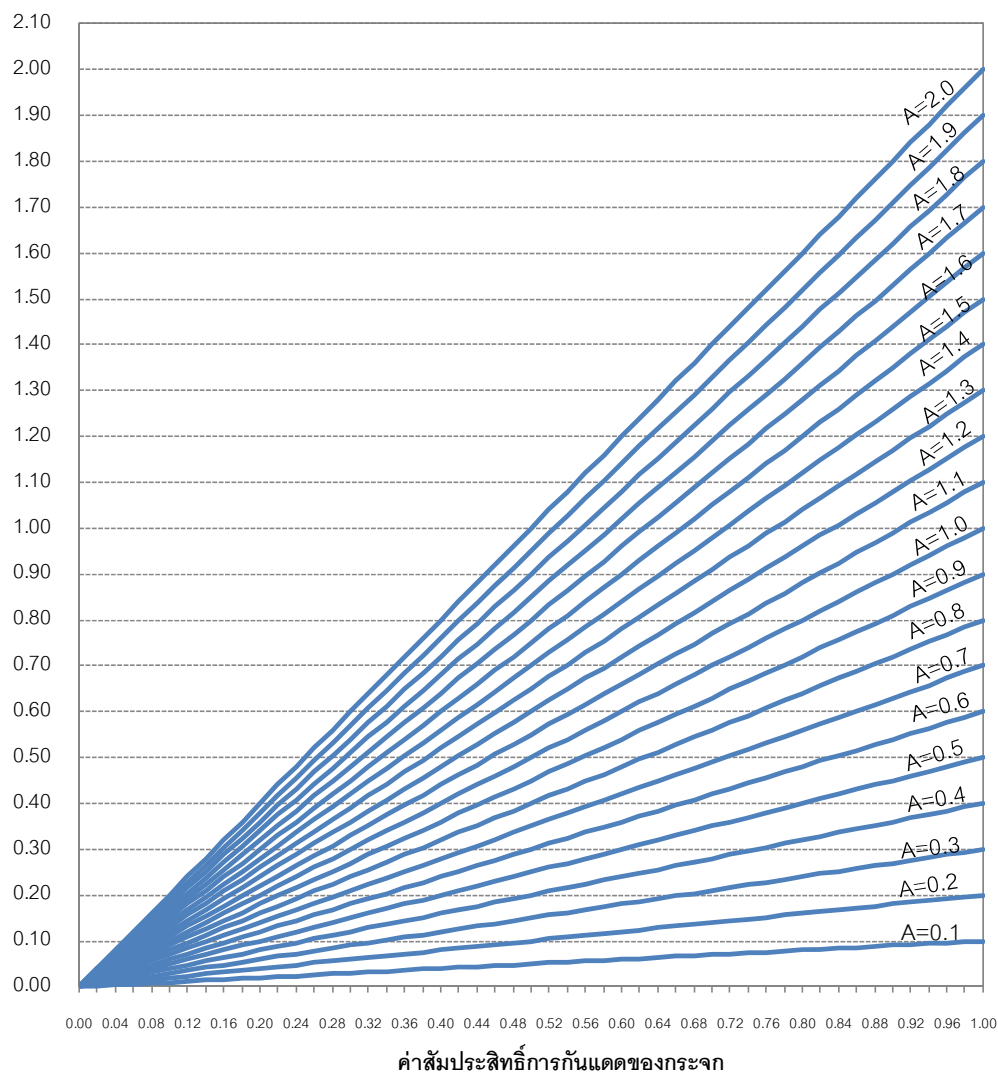
SC



แผนภูมิที่ 4-60 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด

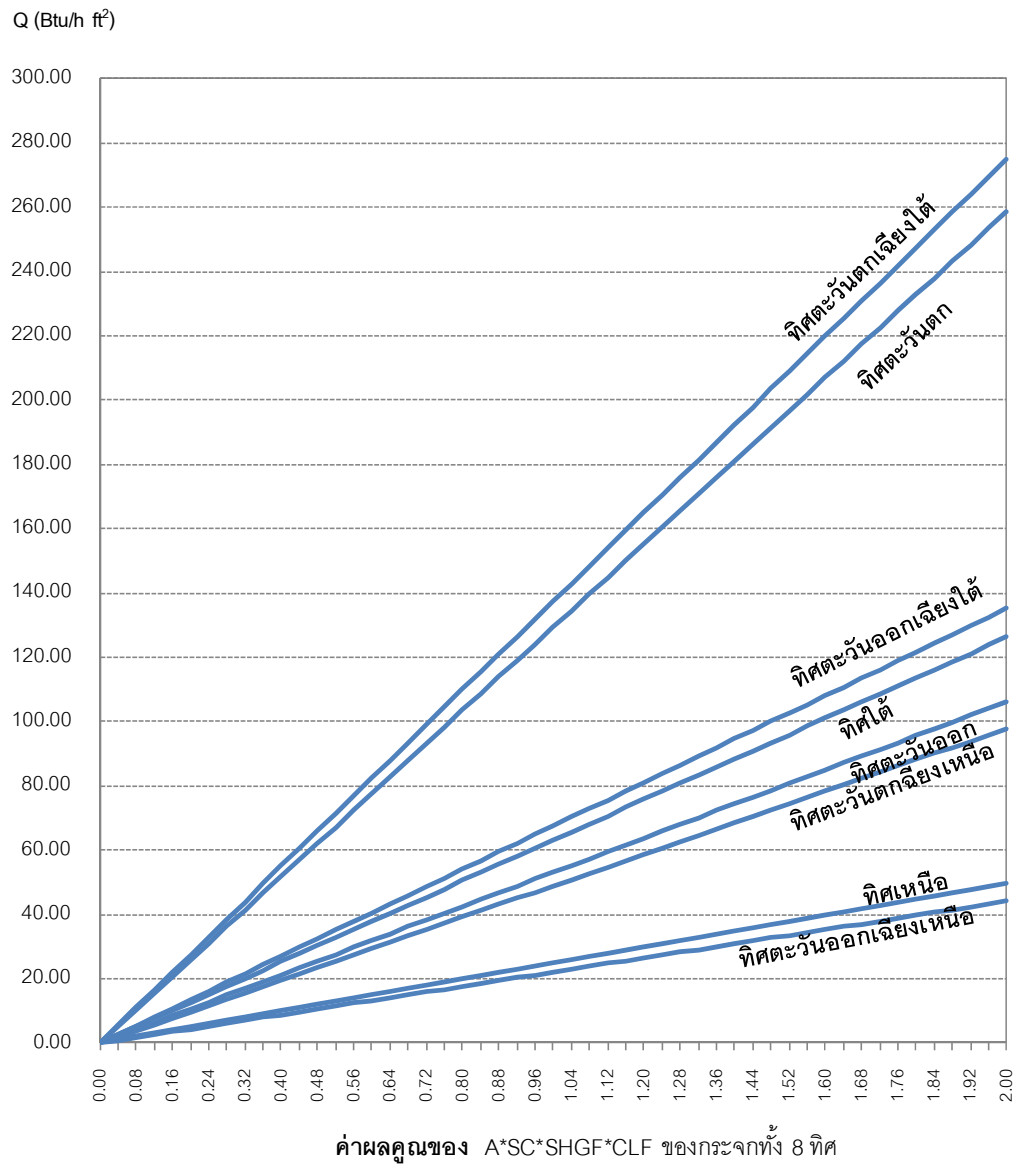
จากแผนภูมิที่ 4-60 พบว่ากระจกที่ใช้ในการศึกษามีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient: SC) อยู่ระหว่าง 0.44-0.96 ค่า SC ที่มีค่าน้อยจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามาในตัวอาคารได้

ค่า SC*A



แผนภูมิที่ 4-61 แสดงค่าผลคูณของค่า SC กับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอย

แผนภูมิที่ 4-61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การกันแดดของกระจก (SC) กับสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร โดยแกน X จะแสดงค่าสัมประสิทธิ์การกันแดดของกระจก (SC) และแกน Y เป็นผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การกันแดดของกระจก (SC) กับสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร



แผนภูมิที่ 4-62 แสดงค่าภาระการทำความเย็นจากการแผ่รังสีของกระจกในแต่ละทิศ

แผนภูมิที่ 4-62 แสดงค่าภาระการทำความเย็นของกระจกจากการแผ่รังสีของกระจก โดยค่าแกน X คือผลที่ได้จากสมการ $A*SC*SHGF*CLF$ ของทั้ง 8 ทิศ ค่าแกน Y คือช่วงข้อมูลของค่าภาระการทำความเย็นของช่องเปิดทั้ง 8 ทิศ

4.6 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดสำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร

คำนวณค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ คือการหาค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิด คำนวณได้จากการนำเปอร์เซ็นต์การรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดชนิดต่างๆ มาคูณความเร็วลมเฉลี่ยของเดือน และนำค่ามาคูณกับค่าความแตกต่างของเอนทัลปีของเดือนนั้นๆ เพื่อหาค่าภาระการทำความเย็นของการรั่วซึมของช่องเปิดในแต่ละเดือน จากนั้นนำมาสร้างแผนภูมิเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของช่องเปิดแต่ละชนิด

สมการการรั่วซึม

$$Q = 4.5 \cdot \text{cfm} \cdot \Delta h$$

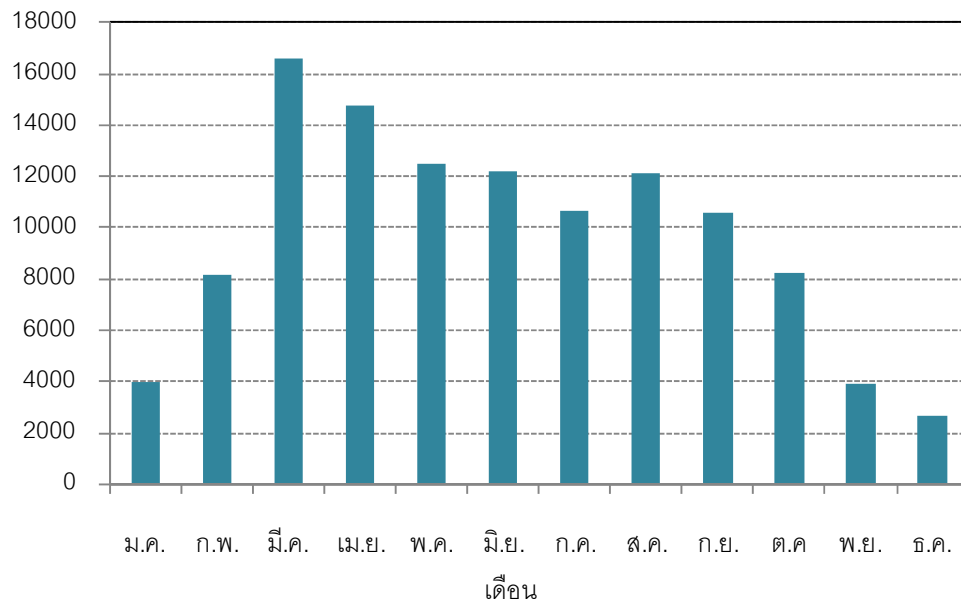
กำหนดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดแต่ละชนิดของอาคาร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าการรั่วซึมอากาศของช่องเปิดแต่ละชนิดดังนี้ (ศศิน วิบูลย์นทีตยกิจ, 2543)

- ช่องเปิดบานเกล็ดมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของความเร็วลมภายนอก
- ช่องเปิดบานเปิดมีค่าประมาณร้อยละ 50 ของความเร็วลมภายนอก
- ช่องเปิดบานเลื่อนมีค่าประมาณร้อยละ 8.73 ของความเร็วลมภายนอก
- ช่องเปิดบานติดตายมีค่าประมาณร้อยละ 3.4 ของความเร็วลมภายนอก

ตารางที่ 4-8 แสดงภาระการทำความเย็นที่ต้องใช้ในการปรับอุณหภูมิและความชื้นให้กับอากาศที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิด

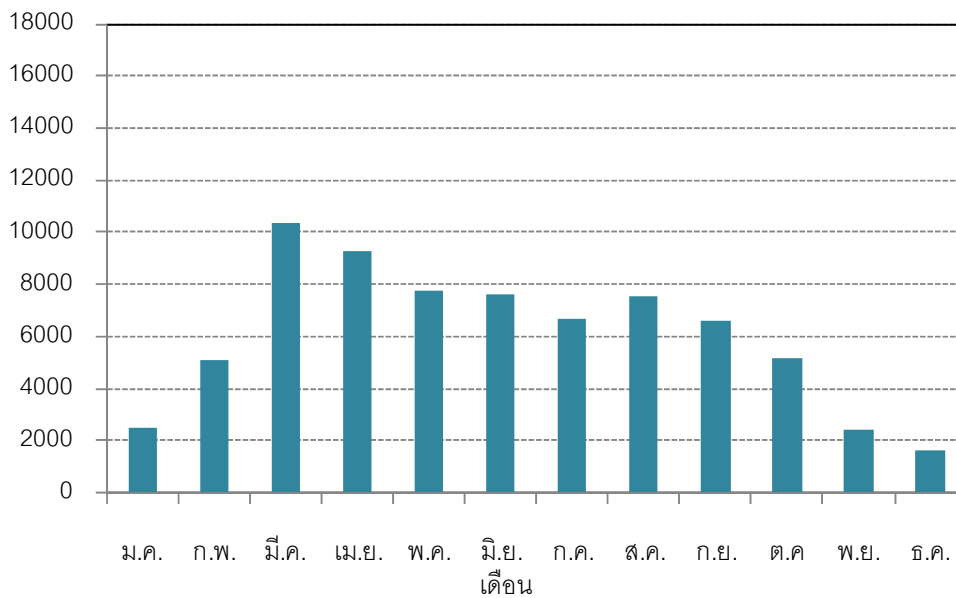
เดือน	Enthalpy	บานเกล็ด		บานเปิด		บานเลื่อน		บานติดตาย	
		CFM	Q(Btu/hft ²)	CFM	Q(Btu/hft ²)	CFM	Q(Btu/hft ²)	CFM	Q(Btu/hft ²)
มกราคม	6.30	140.14	3974.31	87.59	2483.94	15.29	433.70	5.96	168.91
กุมภาพันธ์	8.90	203.74	8159.90	127.34	5099.94	22.23	890.45	8.66	346.80
มีนาคม	13.26	278.33	16608.92	173.95	10380.58	30.37	1812.45	11.83	705.88
เมษายน	13.63	241.02	14787.25	150.64	9242.03	26.30	1613.66	10.24	628.46
พฤษภาคม	13.37	207.00	12456.12	129.38	7785.08	22.59	1359.27	8.80	529.39
มิถุนายน	14.02	192.97	12173.79	120.61	7608.62	21.06	1328.47	8.20	517.39
กรกฎาคม	12.31	192.08	10637.88	120.05	6648.68	20.96	1160.86	8.16	452.11
สิงหาคม	12.02	223.55	12095.01	139.72	7559.38	24.40	1319.87	9.50	514.04
กันยายน	12.48	188.25	10572.80	117.65	6608.00	20.54	1153.76	8.00	449.34
ตุลาคม	10.67	170.96	8210.89	106.85	5131.81	18.66	896.01	7.27	348.96
พฤศจิกายน	5.97	145.60	3911.59	91.00	2444.74	15.89	426.85	6.19	166.24
ธันวาคม	7.94	74.48	2660.89	46.55	1663.05	8.13	290.37	3.17	113.09
Max		278.33	16608.92	173.95	10380.58	30.37	1812.45	11.83	705.88

ค่าภาระการทำความเย็น
Btu/hr.ft²



แผนภูมิที่ 4-63 แสดงการสูญเสียภาระการทำความเย็น 1 ชั่วโมงที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดบานเกล็ดขนาด 1 ตารางฟุตขณะปิดอยู่

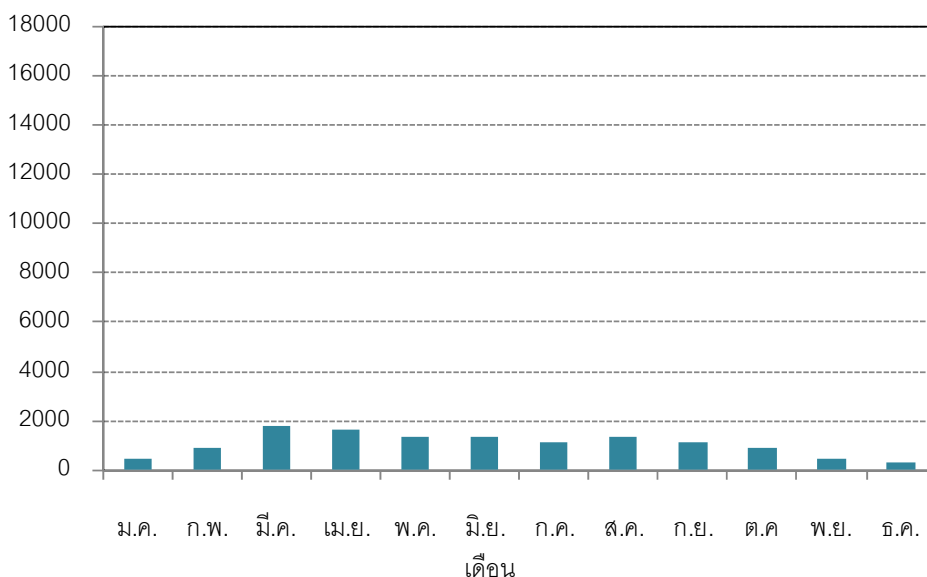
ค่าภาระการทำความเย็น
Btu/hr.ft²



แผนภูมิที่ 4-64 แสดงการสูญเสียภาระการทำความเย็น 1 ชั่วโมงที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางฟุตขณะปิดอยู่

ค่าภาระการทำความเย็น

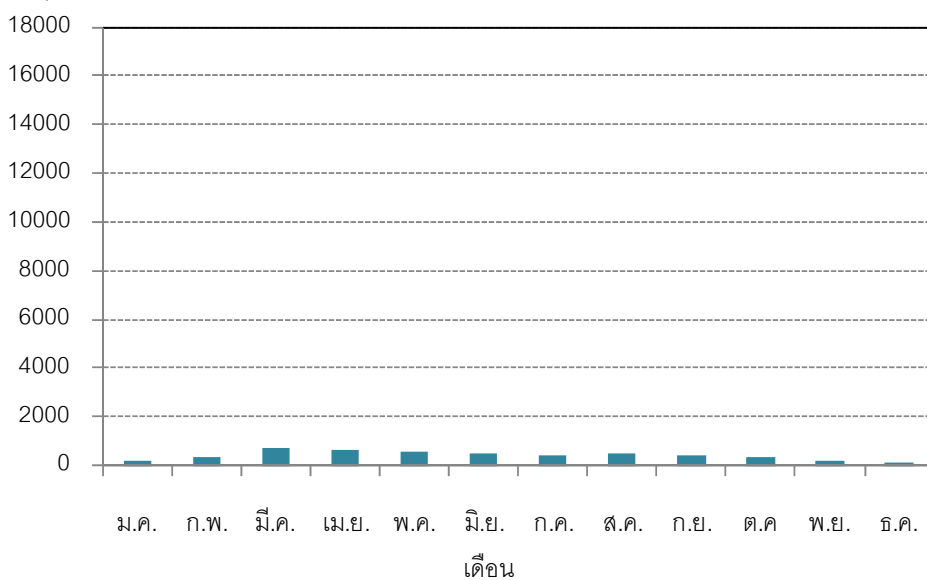
Btu/hr.ft²



แผนภูมิที่ 4-65 แสดงการสูญเสียภาระการทำความเย็น 1 วันที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางฟุตขณะปิดอยู่

ค่าภาระการทำความเย็น

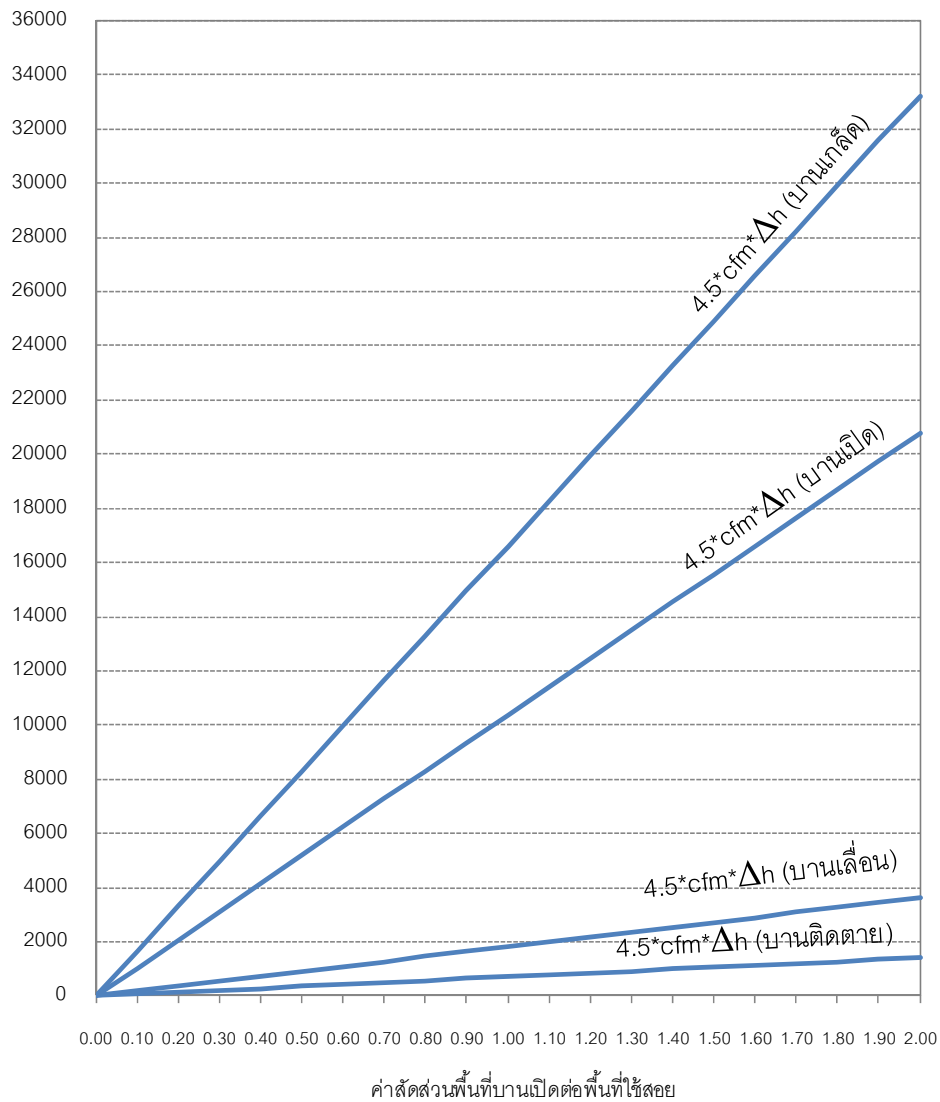
Btu/hr.ft²



แผนภูมิที่ 4-66 แสดงการสูญเสียภาระการทำความเย็น 1 วันที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดบานติดตายขนาด 1 ตารางฟุตขณะปิดอยู่

แผนภูมิที่ 4-63 ถึงแผนภูมิที่ 4-66 แสดงค่าภาระการทำความเย็นรายเดือนของช่องเปิด 4 ประเภทได้แก่ บานเกล็ด บานเปิด บานเลื่อน และบานติดตาย โดยพบว่าบานเกล็ดมีอัตรารั่วซึมสูงสุดทำให้เกิดค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดเมื่อเทียบกับช่องเปิดอื่นๆ

ค่าภาระการทำความเย็น
Q (Btu/h ft²)



แผนภูมิที่ 4-67 แสดงค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดแต่ละชนิดกับอัตราส่วนพื้นที่บานเปิดต่อพื้นที่ใช้สอย

แผนภูมิที่ 4-67 แสดงค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมอากาศของช่องเปิด 4 ประเภทได้แก่ บานเกล็ด บานเปิด บานเลื่อน และบานติดตาย โดยค่าแกน X คือค่าสัดส่วนพื้นที่บานเปิดต่อพื้นที่ใช้สอย ค่าแกน Y คือช่วงข้อมูลของค่าภาระการทำความเย็นของช่องเปิดทั้ง 4 แบบ จะพบว่าบานติดตายมีค่าภาระการทำความเย็นต่ำสุดเมื่อเทียบกับช่องเปิดที่ทำการศึกษา

4.7 การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของหลอดไฟฟ้าสำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร

การวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในการสร้างเกณฑ์การใช้หลอดไฟภายในอาคาร โดยใช้วิธีการคำนวณ CLTD จากสมการ $q_{lgt} = L_{wsf} * A * 3.143 * CLF_{lgt}$ โดยกำหนดค่า L_{wsf} ตามตารางที่ 4-9 เพื่อจะใช้เป็นค่าสร้างความสัมพันธ์กับ CLF_{lgt} เมื่อกำหนดให้ $A=1$

การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลอดไฟจากค่า CLF_{lgt} จากตารางที่ 4-10 กำหนดลักษณะทางกายภาพของห้องจากการตกแต่งภายใน มีค่าอยู่ที่ 0.45 0.55 0.65 และมากกว่า 0.75 การตกแต่งพื้นผิว การใช้วัสดุภายในห้องจะพิจารณาควกับโครงสร้างพื้นอาคาร โดยแบ่งลักษณะโครงสร้างเป็น 4 แบบ คือ A-D ตามตารางที่ 4-11 จากนั้นจะวิเคราะห์กับชั่วโมงการเปิดหลอดไฟ โดยแบ่งการคำนวณออกเป็นชั่วโมงการใช้หลอดไฟ 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง 16 ชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ 4-9 แสดงค่า Lighting Power Densities (L_{wsf})

Building Type	Watts/Gross Square Foot (watts/ft ²)
Office	1.7 -2.2
Store spaces	2.5-3.0
Shopping mall concourse	1.0-1.5
Fast food restaurant	1.3-2.0
Health/hospital	2.3-2.6
Warehouse/storage	1.0-1.5
Library	2.2-2.6
Public assembly	1.5-2.0

(Bobenhausen, 1994)

ตารางที่ 4-10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การออกแบบโดยคำนึงถึงการตกแต่งภายในจากดวงโคมและการระบายอากาศ

a	Furnishing	Air Supply and Return	Type of light Fixture
0.45	Heavyweight, simple furnishings, no carpet	Low rate; supply and return below ceiling	Recessed, not vented
0.55	Ordinary furniture, no carpet	Medium to high ventilation rate; supply and return below ceiling or through ceiling grille and space	Recessed, not vented
0.65	Ordinary furniture, with or without carpet	fan coil or induction type air-conditioning terminal unit; supply through ceiling or wall diffuser; return around light fixtures and through ceiling space	Vented
0.75 or greater	Any type of furniture	Ducted return through light fixtures	Vented or free-hanging in air stream with ducted returns

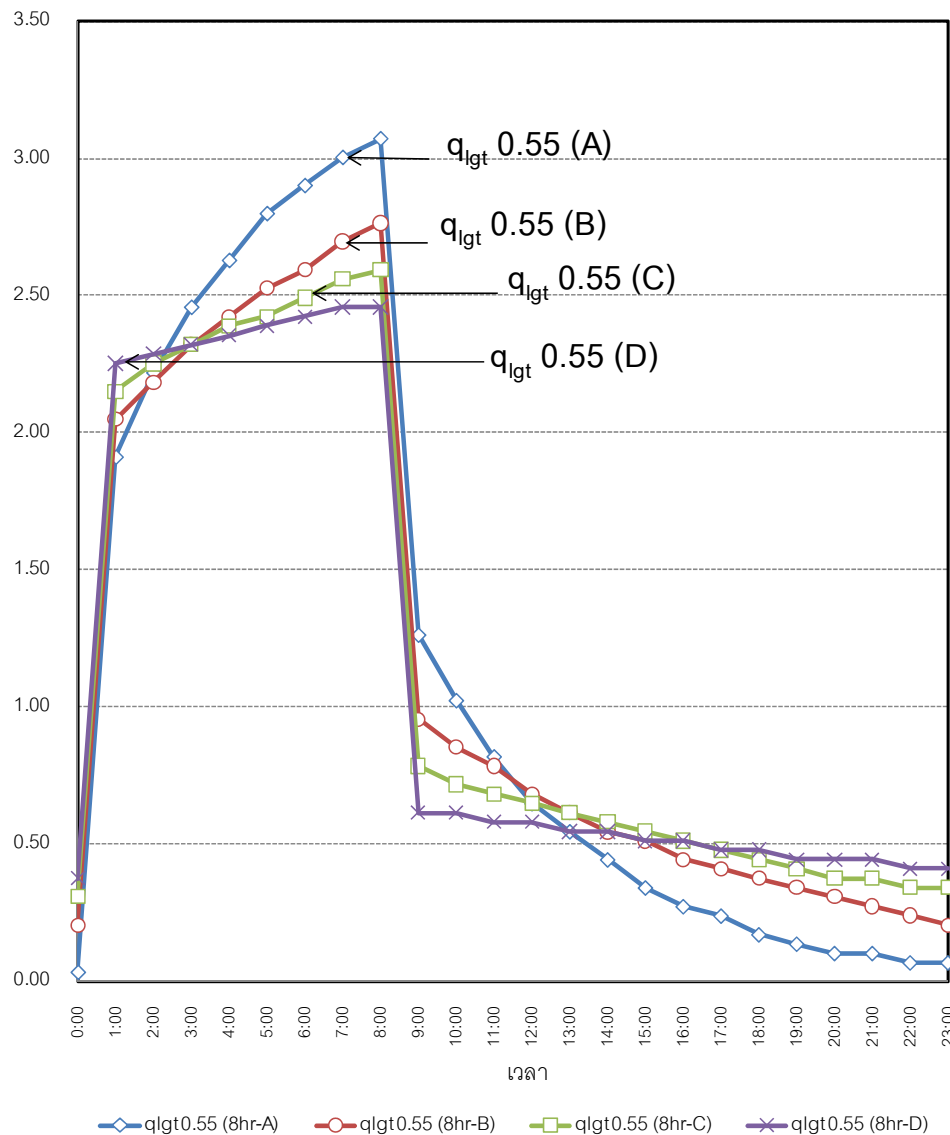
(Stein et al., 1986)

ตารางที่4-11 แสดงการแบ่งค่าในการคำนวณสำหรับโครงสร้างพื้นที่ต่างกันและปริมาณการไหลเวียนอากาศ

a Room Air Circulation and Type of Supply and Return	Floor Construction and Floor Weight in Pounds per Square Foot or Floor Area				
	2-in Wooden Floor 10lb/ft ² 50.8, 48.8	3-in Concrete Floor 40lb/ft ² 76.2, 195.3	6-in Concrete Floor 75lb/ft ² 152.4, 366.2	8-in Concrete Floor 120lb/ft ² 203.2, 585.8	12-in Concrete Floor 160lb/ft ² 304.8, 781.1
Low ventilation rate-minimum required to handle cooling load Supply through floor, wall or ceiling diffuser. Ceiling space not vented	B	B	C	D	D
Medium ventilation rate, Supply through floor, wall or ceiling diffuser. Ceiling space not vented.	A	B	C	D	D
High room air circulation induced by primary air of induction unit or by fan coil unit. Return through ceiling space	A	B	C	C	D
Very high room air circulation used to minimize room temperature gradients Return through ceiling space	A	A	B	C	D

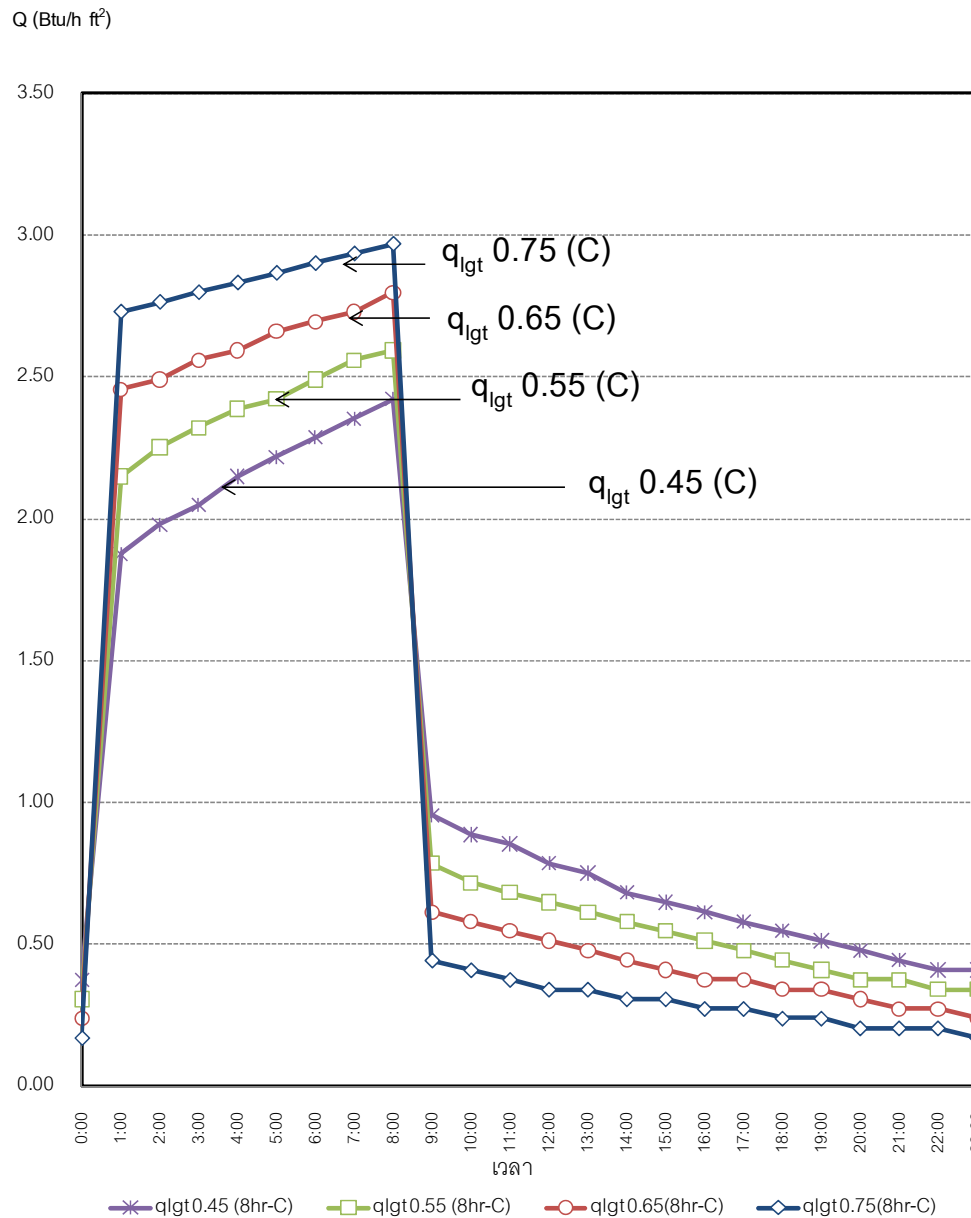
(Stein et al., 1986)

ค่าภาระการทำความเย็น
Q (Btu/h ft²)



แผนภูมิที่ 4-68 ค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบจากความแตกต่างของโครงสร้างพื้นแบบ A - D เมื่อ (a=0.55) 8 ชั่วโมง

จากแผนภูมิ 4-68 พบว่าเมื่อกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การออกแบบโดยคำนึงถึงการตกแต่งภายในจากดวงโคมและการระบายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.55 ในการคำนวณทุกกรณี พบว่าโครงสร้างพื้นไม้ 2 นิ้ว จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าภาระความเย็นสูงสุดเมื่อเทียบกับโครงสร้างพื้นชนิดอื่น หลังจากการเปิดหลอดไฟ 8 ชั่วโมง พบว่าโครงสร้างไม้จะมีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด และจะมีอัตราการลดลงของค่าภาระการทำความเย็นลงไปจนชั่วโมงที่ 5 ของการปิดหลอดไฟ ค่าภาระการทำความเย็นของโครงสร้างไม้จะน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด



แผนภูมิที่ 4-69 ค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบจากความแตกต่างของค่า Coefficient เมื่อพื้นโครงสร้างแบบ C (8 ชั่วโมง)

จากแผนภูมิ 4-69 ทำการศึกษาโครงสร้างแบบ C ที่มีการใช้ในการก่อสร้างอาคารทั่วไป โดยกำหนดใช้ค่าโครงสร้าง C ในการคำนวณทุกกรณี โดยทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การออกแบบโดยคำนึงถึงการตกแต่งภายในจากดวงโคมและการระบายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.45 0.55 0.65 และ 0.75 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การออกแบบที่เกิดจากการตกแต่งภายในที่ค่า 0.75 มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดเมื่อเปิดใช้งานตั้งแต่ชั่วโมงแรกถึงชั่วโมงที่ 8 และเมื่อปิดการใช้งาน หลอดไฟ จะมีค่าภาระการทำความเย็นต่ำสุดตั้งแต่ชั่วโมงแรกที่ปิดการใช้งาน

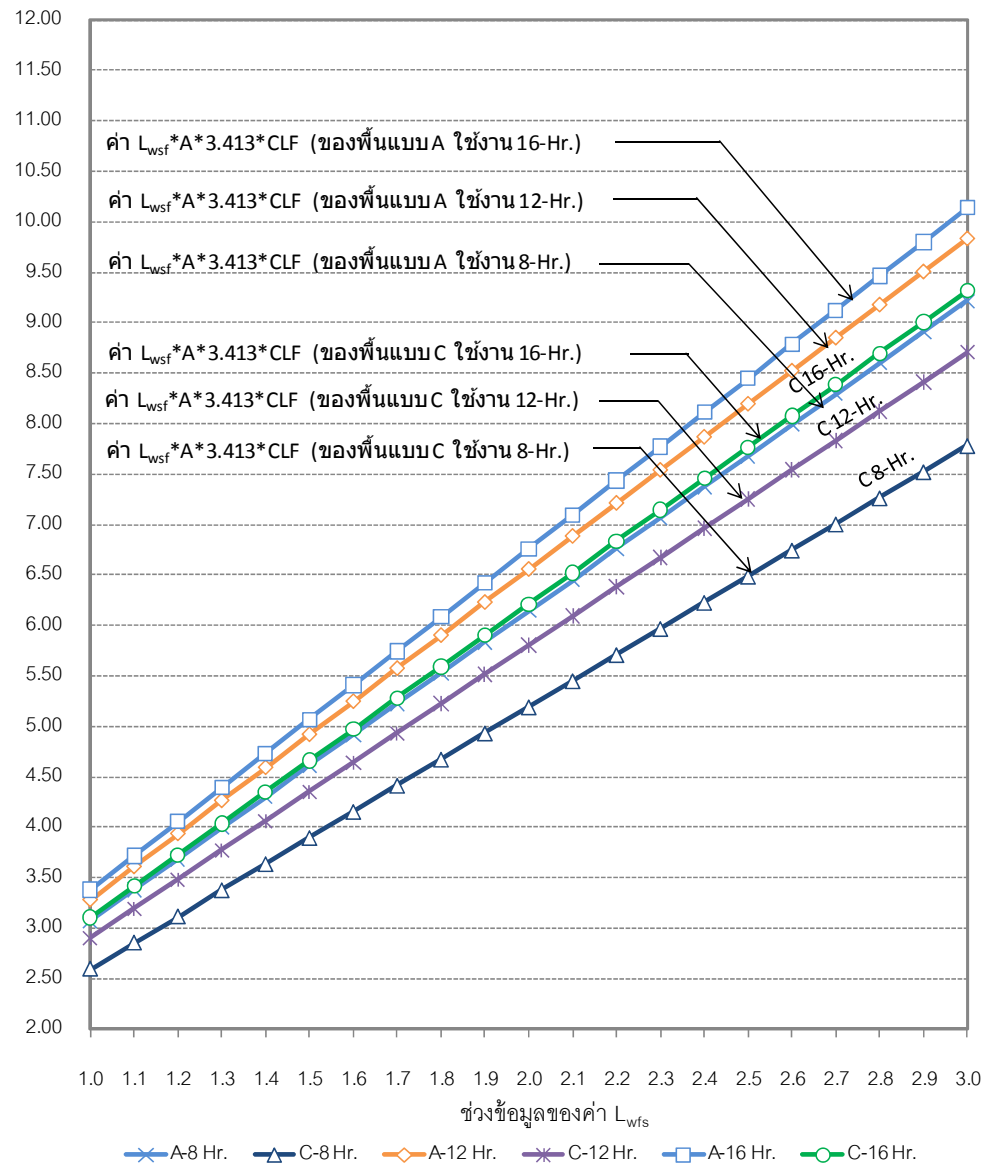
จากนั้นวิเคราะห์คำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากสูตร CLF โดยกำหนดให้ $A=1 \text{ ft}^2$ โดยทำการคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์การตกแต่ง เท่ากับ 0.55 คำนวณ แยกตามโครงสร้างทั้ง 4 ชนิด ในชั่วโมงการเปิดหลอดไฟ 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง จะได้ค่าภาระการทำความเย็นของแต่ละชั่วโมง จากนั้นทำการเลือกค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดมาคูณกับค่า L_{wfs} ที่กำหนด ช่วงข้อมูลที่ 1-3 เพื่อ หาค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด โดยการนำค่าที่ได้ในขั้นตอนแรกมาคูณค่า L_{wfs} ในช่วงข้อมูล 1-3 สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4-12 ที่แสดงค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของพื้นที่แต่ละแบบในชั่วโมงการเปิดหลอดไฟ 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง คุณค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างต่อพื้นที่ เพื่อนำค่าที่ได้มากำหนดขอบเขตการประเมินการใช้หลอดไฟในอาคาร

จากนั้นทำการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นสูงสุดจากโครงสร้างที่ใช้งานโดยทั่วไปในแต่ละชั่วโมงการใช้งานที่ชั่วโมงการใช้งาน 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง เมื่อได้แผนภูมิเชิงเส้นตามแผนภูมิที่ 4-70 แบ่งช่วงข้อมูลเป็น 5 ส่วนเท่ากัน เพื่อให้ได้เกณฑ์ในการประเมิน

ตารางที่ 4-12 แสดงค่าจากการคำนวณภาระการทำความเย็นจากค่า L_{wfs} ตั้งแต่ 1.0-3.0

Hours	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
A-8 Hr.	3.07	3.38	3.69	3.99	4.30	4.61	4.91	5.22	5.53	5.84	6.14	6.45	6.76	7.06	7.37	7.68	7.99	8.29	8.60	8.91	9.22
B-8 Hr.	2.76	3.04	3.32	3.59	3.87	4.15	4.42	4.70	4.98	5.25	5.53	5.81	6.08	6.36	6.63	6.91	7.19	7.46	7.74	8.02	8.29
C-8 Hr.	2.59	2.85	3.11	3.37	3.63	3.89	4.15	4.41	4.67	4.93	5.19	5.45	5.71	5.97	6.23	6.48	6.74	7.00	7.26	7.52	7.78
D-8 Hr.	2.46	2.70	2.95	3.19	3.44	3.69	3.93	4.18	4.42	4.67	4.91	5.16	5.41	5.65	5.90	6.14	6.39	6.63	6.88	7.13	7.37
A-12 Hr.	3.28	3.60	3.93	4.26	4.59	4.91	5.24	5.57	5.90	6.23	6.55	6.88	7.21	7.54	7.86	8.19	8.52	8.85	9.17	9.50	9.83
B-12 Hr.	3.04	3.34	3.65	3.95	4.25	4.56	4.86	5.16	5.47	5.77	6.08	6.38	6.68	6.99	7.29	7.59	7.90	8.20	8.51	8.81	9.11
C-12 Hr.	2.90	3.19	3.48	3.77	4.06	4.35	4.64	4.93	5.22	5.51	5.80	6.09	6.38	6.67	6.96	7.25	7.54	7.83	8.12	8.41	8.70
D-12 Hr.	2.73	3.00	3.28	3.55	3.82	4.10	4.37	4.64	4.91	5.19	5.46	5.73	6.01	6.28	6.55	6.83	7.10	7.37	7.65	7.92	8.19
A-16 Hr.	3.38	3.72	4.05	4.39	4.73	5.07	5.41	5.74	6.08	6.42	6.76	7.10	7.43	7.77	8.11	8.45	8.79	9.12	9.46	9.80	10.14
B-16 Hr.	3.21	3.53	3.85	4.17	4.49	4.81	5.13	5.45	5.77	6.10	6.42	6.74	7.06	7.38	7.70	8.02	8.34	8.66	8.98	9.30	9.62
C-16 Hr.	3.11	3.42	3.73	4.04	4.35	4.66	4.97	5.28	5.59	5.90	6.21	6.52	6.83	7.14	7.45	7.76	8.08	8.39	8.70	9.01	9.32
D-16 Hr.	2.97	3.27	3.56	3.86	4.16	4.45	4.75	5.05	5.34	5.64	5.94	6.24	6.53	6.83	7.13	7.42	7.72	8.02	8.31	8.61	8.91

ค่าภาระการทำความเย็น
Q (Btu/h ft²)



แผนภูมิที่ 4-70 แสดงค่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่การใช้งานภายในอาคารที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบจากพื้นโครงสร้างที่มีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดกับ และพื้นที่ใช้กันโดยทั่วไป ที่ ชั่วโมงการใช้งาน 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของหลอดไฟฟ้าจากประสิทธิภาพหลอดไฟกับชั่วโมงการใช้งานของหลอดไฟในการออกแบบตกแต่งภายในและโครงสร้างพื้นแต่ละแบบจากตารางการคำนวณ ค่าภาระการทำความเย็นของพื้นแบบ A เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การตกแต่งภายในเท่ากับ 0.55 จะมีค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดประมาณ 11 วัตต์ต่อตารางเมตร

4.8 การวิเคราะห์หาค่าภาระการทำความเย็นของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการสร้างแบบประเมินอาคาร

การวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในการสร้างเกณฑ์การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร โดยใช้วิธีการคำนวณ CLF_{eq} จากสมการ $Q_{eq} = EQ_{wsf} * A * 3.143 * CLF_{eq}$ โดยกำหนดค่า EQ_{wsf} ไว้ตามตารางที่ 4-13 เพื่อจะใช้เป็นค่าสร้างความสัมพันธ์กับ CLF_{eq} เมื่อ $A=1$

การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าจากค่า CLF_{eq} พบว่าตารางที่ 4-14 จะแสดงค่า Cooling Load Factor โดยแบ่งตามชั่วโมงการใช้งาน ตั้งแต่ 2 ชั่วโมง ถึง 18 ชั่วโมง ซึ่งจะใช้ในการคำนวณตามสูตรเพื่อหาค่าภาระการทำความเย็นของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ตารางที่ 4-13แสดงค่า Equipment Heat Gain

Type of work Environment	Watt/ft ²	Btu/h ft ² (max)
General office with only a few typewriters, computers and other electrical items.	0.25-1.0	1-4
Offices where most workers have personal computers.	1.0-3.0	3 - 10
Rooms dedicated to large mainframe computer	15-50	50 - 175
Laboratories	5 -20	15 - 70
Manufacturing plants	5- 45	15 - 150

(Bobenhausen, 1994)

ตารางที่ 4-14 แสดงค่า Cooling Load Factor (CLF_{eq}) ของอุปกรณ์ไฟฟ้า

Total Operational	Hours After Appliances Are on																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0.27	0.4	0.25	0.18	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.28	0.41	0.51	0.59	0.39	0.3	0.24	0.19	0.16	0.14	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
6	0.29	0.42	0.52	0.59	0.65	0.7	0.48	0.37	0.3	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
8	0.31	0.44	0.54	0.61	0.66	0.71	0.75	0.78	0.55	0.43	0.35	0.3	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.1	0.08	0.07	0.06	0.06
10	0.33	0.46	0.55	0.62	0.68	0.72	0.76	0.79	0.81	0.84	0.6	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
12	0.36	0.49	0.58	0.64	0.69	0.74	0.77	0.8	0.82	0.85	0.87	0.88	0.64	0.51	0.42	0.36	0.31	0.26	0.23	0.2	0.18	0.15	0.13	0.12
14	0.4	0.52	0.61	0.67	0.72	0.76	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.67	0.54	0.45	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19	0.16
16	0.45	0.57	0.65	0.7	0.75	0.78	0.81	0.84	0.86	0.87	0.89	0.9	0.92	0.93	0.94	0.94	0.69	0.56	0.46	0.39	0.34	0.29	0.25	0.22
18	0.52	0.63	0.7	0.75	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.71	0.58	0.48	0.41	0.35	0.3

(Stein et al., 1986)

การวิเคราะห์หาค่าภาระการทำความเย็น โดยกำหนด $A = 1 \text{ ft}^2$ และทำการคำนวณตามสูตร เพื่อหาค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดในการนำมาเป็นตัวแทนในการ ไปคูณกับค่า ซึ่งกำหนดช่วงของข้อมูล Equipment Heat Gain (EQ_{wsf}) ที่ $0.25 - 5.0$ เพื่อที่จะหาค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดในการออกแบบในการสร้างแบบประเมิน

ตารางที่ 4-15 แสดงผลของค่าภาระการทำความเย็น ของอุปกรณ์ไฟฟ้า

		Hours After Appliances Are on																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Q _{eq} (2 Hr.)		0.92	1.37	0.85	0.61	0.48	0.38	0.31	0.27	0.24	0.20	0.17	0.14	0.14	0.10	0.10	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03
Q _{eq} (4 Hr.)		0.96	1.40	1.74	2.01	1.33	1.02	0.82	0.65	0.55	0.48	0.41	0.34	0.31	0.27	0.24	0.20	0.17	0.17	0.14	0.14	0.10	0.10	0.07	0.07
Q _{eq} (6 Hr.)		0.99	1.43	1.77	2.01	2.22	2.39	1.64	1.26	1.02	0.85	0.72	0.61	0.55	0.48	0.41	0.38	0.31	0.27	0.24	0.20	0.17	0.17	0.14	0.14
Q _{eq} (8 Hr.)		1.06	1.50	1.84	2.08	2.25	2.42	2.56	2.66	1.88	1.47	1.19	1.02	0.85	0.75	0.65	0.55	0.48	0.44	0.38	0.34	0.27	0.24	0.20	0.20
Q _{eq} (10 Hr.)		1.13	1.57	1.88	2.12	2.32	2.46	2.59	2.70	2.76	2.87	2.05	1.64	1.33	1.13	0.96	0.82	0.72	0.61	0.55	0.48	0.41	0.38	0.31	0.27
Q _{eq} (12 Hr.)		1.23	1.67	1.98	2.18	2.35	2.53	2.63	2.73	2.80	2.90	2.97	3.00	2.18	1.74	1.43	1.23	1.06	0.89	0.78	0.68	0.61	0.51	0.44	0.41
Q _{eq} (14 Hr.)		1.37	1.77	2.08	2.29	2.46	2.59	2.70	2.80	2.87	2.94	3.00	3.04	3.11	3.14	2.29	1.84	1.54	1.30	1.09	0.96	0.82	0.72	0.65	0.55
Q _{eq} (16 Hr.)		1.54	1.95	2.22	2.39	2.56	2.66	2.76	2.87	2.94	2.97	3.04	3.07	3.14	3.17	3.21	3.21	2.35	1.91	1.57	1.33	1.16	0.99	0.85	0.75
Q _{eq} (18 Hr.)		1.77	2.15	2.39	2.56	2.70	2.80	2.87	2.94	3.00	3.04	3.11	3.14	3.17	3.21	3.24	3.24	3.28	3.28	2.42	1.98	1.64	1.40	1.19	1.02

ค่าในตารางที่ 4-15 คือค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณ $EQ_{wsf} * A * 3.143 * CLF_{eq}$ โดยค่า $EQ_{wsf} = 1$ จะได้ค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง จากนั้นนำผลรวมของค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดตามชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าตั้งแต่ 2-18 ชั่วโมง มาคำนวณต่อไปตามตารางที่ 4-16

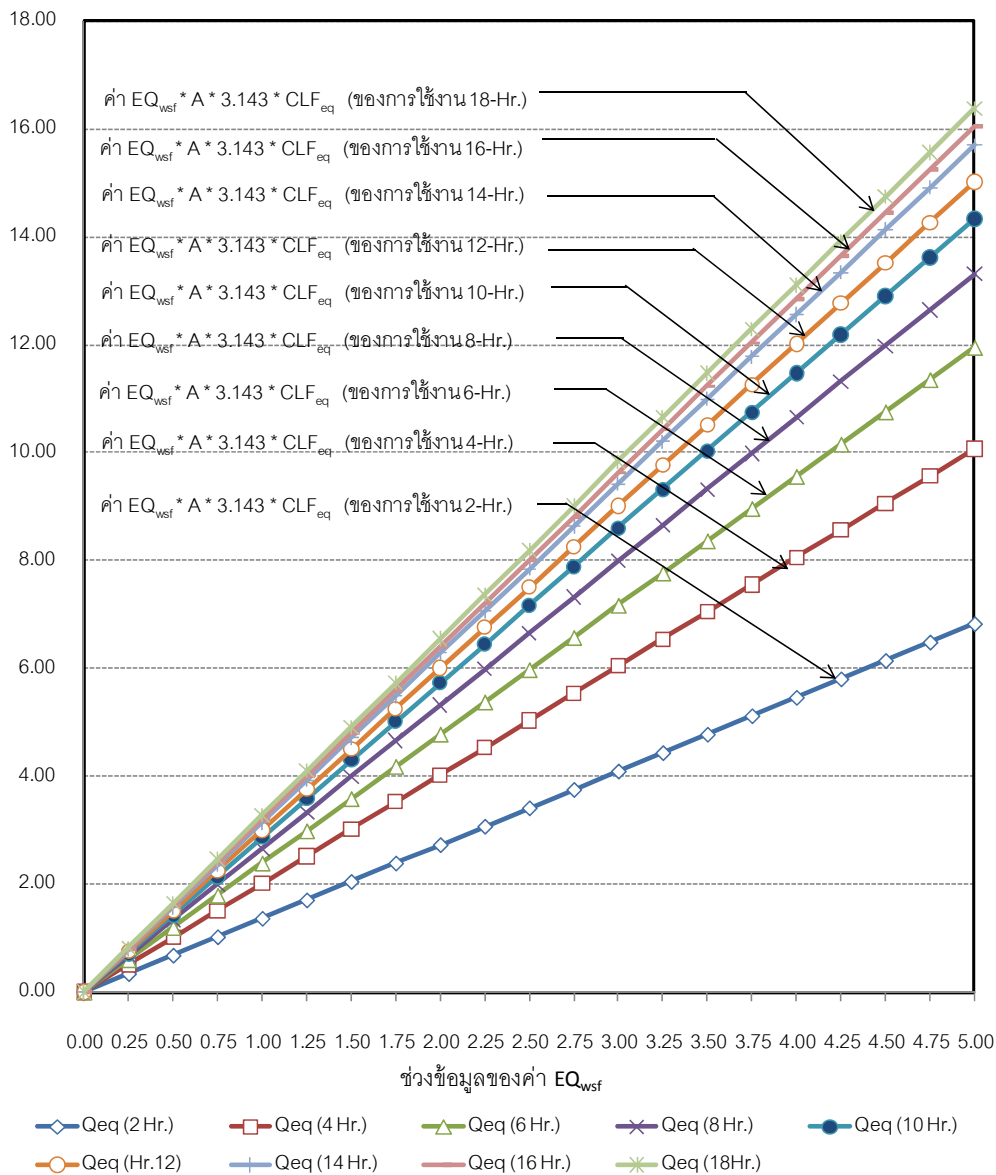
ตารางที่ 4-16 แสดงผลของค่าภาระการทำความเย็นจากสูตรของอุปกรณ์ไฟฟ้า

		Hours After Appliances Are on																				
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00
Q _{eq} (2 Hr.)	1.37	0.00	0.34	0.68	1.02	1.37	1.71	2.05	2.39	2.73	3.07	3.41	3.75	4.10	4.44	4.78	5.12	5.46	5.80	6.14	6.48	6.83
Q _{eq} (4 Hr.)	2.01	0.00	0.50	1.01	1.51	2.01	2.52	3.02	3.52	4.03	4.53	5.03	5.54	6.04	6.54	7.05	7.55	8.05	8.56	9.06	9.56	10.07
Q _{eq} (6 Hr.)	2.39	0.00	0.60	1.19	1.79	2.39	2.99	3.58	4.18	4.78	5.38	5.97	6.57	7.17	7.76	8.36	8.96	9.56	10.15	10.75	11.35	11.95
Q _{eq} (8 Hr.)	2.66	0.00	0.67	1.33	2.00	2.66	3.33	3.99	4.66	5.32	5.99	6.66	7.32	7.99	8.65	9.32	9.98	10.65	11.31	11.98	12.65	13.31
Q _{eq} (10 Hr.)	2.87	0.00	0.72	1.43	2.15	2.87	3.58	4.30	5.02	5.73	6.45	7.17	7.88	8.60	9.32	10.03	10.75	11.47	12.18	12.90	13.62	14.33
Q _{eq} (12 Hr.)	3.00	0.00	0.75	1.50	2.25	3.00	3.75	4.51	5.26	6.01	6.76	7.51	8.26	9.01	9.76	10.51	11.26	12.01	12.76	13.52	14.27	15.02
Q _{eq} (14 Hr.)	3.14	0.00	0.78	1.57	2.35	3.14	3.92	4.71	5.49	6.28	7.06	7.85	8.63	9.42	10.20	10.99	11.77	12.56	13.34	14.13	14.91	15.70
Q _{eq} (16 Hr.)	3.21	0.00	0.80	1.60	2.41	3.21	4.01	4.81	5.61	6.42	7.22	8.02	8.82	9.62	10.43	11.23	12.03	12.83	13.63	14.44	15.24	16.04
Q _{eq} (18 Hr.)	3.28	0.00	0.82	1.64	2.46	3.28	4.10	4.91	5.73	6.55	7.37	8.19	9.01	9.83	10.65	11.47	12.29	13.11	13.93	14.74	15.56	16.38

นำค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของการทำงานในเวลาต่างๆมาคูณกับช่วงของข้อมูล Equipment Heat Gain (EQ_{wsf}) ที่ $0.25 - 5.0$ จะได้ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามชั่วโมงการใช้งานเพื่อนำไปสร้างแผนภูมิเส้นตรงในการกำหนดค่าเฉลี่ยในการนำไปสร้างแบบประเมินจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

ค่าภาระการทำความเย็น

Q (Btu/h ft²)

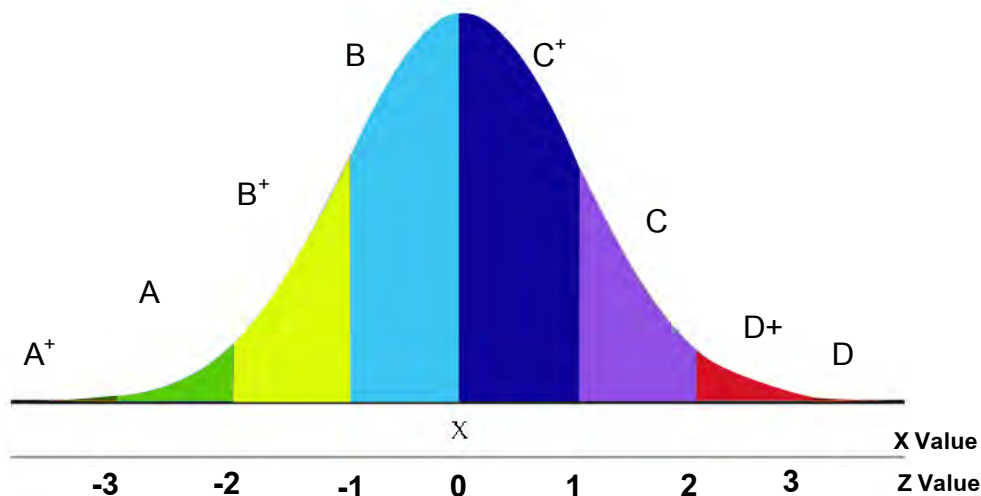


แผนภูมิที่ 4-71 แสดงค่าภาระการทำความเย็นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่การใช้งาน

การวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะคำนวณจากค่า CLF ตาม ชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า คูณกับช่วงข้อมูลของค่า Equipment Heat Gain (EQ_{wsf}) ที่ 0.25 – 5.0 กับ จะได้ค่าภาระการทำความเย็นของอุปกรณ์ไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 16 วัตต์ต่อตาราง เมตร

4.9 การให้ค่าคะแนนดัชนีของแบบประเมินอาคาร

การวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ค่าคะแนนดัชนีมาตรฐานของตัวแปรแต่ละตัวจากการศึกษาทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกรอบอาคาร การรั่วซึม การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า หลอดไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยวิเคราะห์จากการคำนวณและหาช่วงข้อมูลของค่าตัวแปรต่างๆตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีจากการวิจัยเรื่องการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารภูมิอากาศร้อนชื้น (วิช ควบประเสริฐ, 2550) มาประกอบ โดยค่าดัชนีดังกล่าวได้จากการเก็บข้อมูลอาคารทั้งหมด 162 หลัง ประกอบด้วยค่าดัชนี Δt ดัชนี S/A ดัชนี $\sum U$ และดัชนี 1/COP การวิจัยนี้จะประกอบด้วยดัชนี 7 ตัวแปร ได้แก่ Δt ดัชนี S/A ดัชนี $\sum U$ ดัชนี 1/COP ดัชนี Infiltration ดัชนี Lighting ดัชนี Appliance จากนั้นได้นำผลวิเคราะห์ของการวิจัยจากทฤษฎีมาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีของการวิจัยที่เก็บข้อมูลอาคารจริง และนำค่าดัชนีของตัวแปรต่างๆมาทำการวิเคราะห์โดยสถิติแบบกระจายปกติ (Normal Distribution) เพื่อสร้างค่าดัชนีของตัวแปรต่างๆขึ้นมาใหม่ตามทฤษฎีจากการวิจัย สำหรับใช้เป็นระดับเกณฑ์ในการให้คะแนนในแบบประเมินต่อไป



แผนภูมิที่ 4-72 แสดงเกณฑ์กำหนดค่าคะแนนดัชนีโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

แผนภูมิแสดงการแบ่งช่วงคะแนนในการประเมินประสิทธิภาพของอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 8 ระดับ ได้แก่ พื้นที่สีเขียวเข้ม (A⁺) พื้นที่สีเขียวอ่อน (A) พื้นที่สีเหลือง (B⁺) พื้นที่สีฟ้า (B) พื้นที่สีน้ำเงิน (C⁺) พื้นที่สีม่วง (C) พื้นที่สีแดง (D⁺) พื้นที่สีแดงเข้ม (D) โดยเรียงลำดับจากเกณฑ์คะแนนดีที่สุดไปเกณฑ์คะแนนที่ต่ำที่สุดในการประเมินประสิทธิภาพอาคารอาคาร

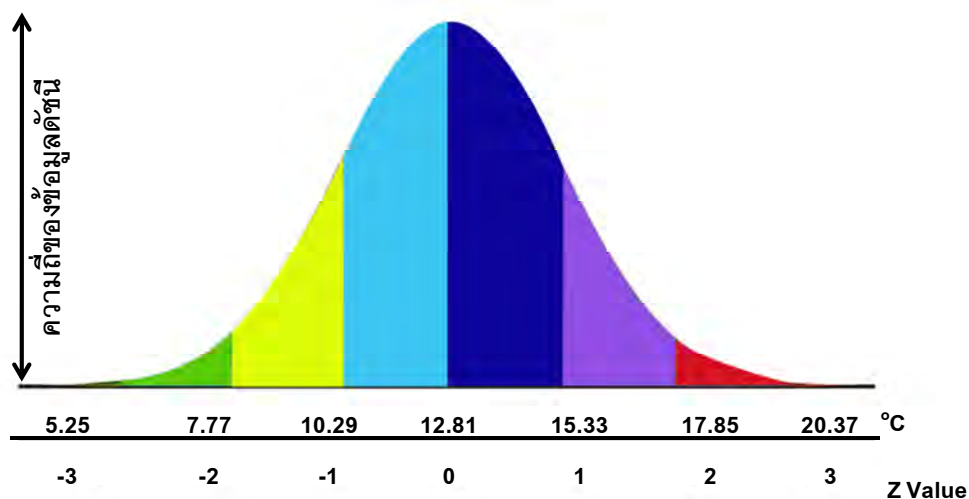
ตารางที่ 4-17 แสดงรายละเอียดและความหมายเกณฑ์ในการประเมินอาคาร

ช่วงเกณฑ์การให้คะแนน	ระดับคะแนน	ประสิทธิภาพอาคารด้านพลังงาน
มากกว่า 3	D	อาคารต่ำที่สุด
2 ถึง 3	D ⁺	อาคารที่ต่ำมาก
1 ถึง 2	C	อาคารที่ต่ำ
0 ถึง 1	C ⁺	อาคารที่ไม่เข้าเกณฑ์มาตรฐาน
0 ถึง -1	B	เกณฑ์มาตรฐาน
-1 ถึง -2	B ⁺	อาคารที่ดี
-2 ถึง -3	A	อาคารที่ดีมาก
น้อยกว่า -3	A ⁺	อาคารที่ดีเยี่ยม

ตารางที่ 4-18 แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรที่ได้จากการวิจัย

ดัชนี	ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)	ค่าเฉลี่ย (X)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD)
Δt	5.25	20.37	12.81	2.52
ΣUS	0.06	5.22	2.64	0.86
S/A	0.50	6.50	3.50	1
1/COP	0.23	0.65	0.44	0.07
Lighting	6	18	12	2
Appliance	1.89	29.91	15.90	5
Infiltration	12	60	36	8

โดยค่าดัชนีของตัวแปรทั้งหมดนี้ได้จากการวิเคราะห์ค่าสถิติการกระจายแบบปกติจากการวิจัยตามทฤษฎีทั้งหมด โดยค่าเฉลี่ยดัชนีของ Δt และ ΣUS เกิดจากนำค่าของ วิช ครอบประเสริฐ (2550) มาปรับแก้ค่าช่วงข้อมูลให้เหมาะสมกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของการคำนวณตามทฤษฎี และนำมาสรุป การวิจัยนี้ได้ค่าดัชนี 7 ตัวแปร ได้แก่ Δt ดัชนี S/A ดัชนี ΣU ดัชนี 1/COP ดัชนี Infiltration ดัชนี Lighting ดัชนี Appliance จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการคำนวณตามทฤษฎีจากการวิจัยนี้ทั้งสิ้น และเสนอเป็นเกณฑ์ในการประเมินอาคารต่อไป

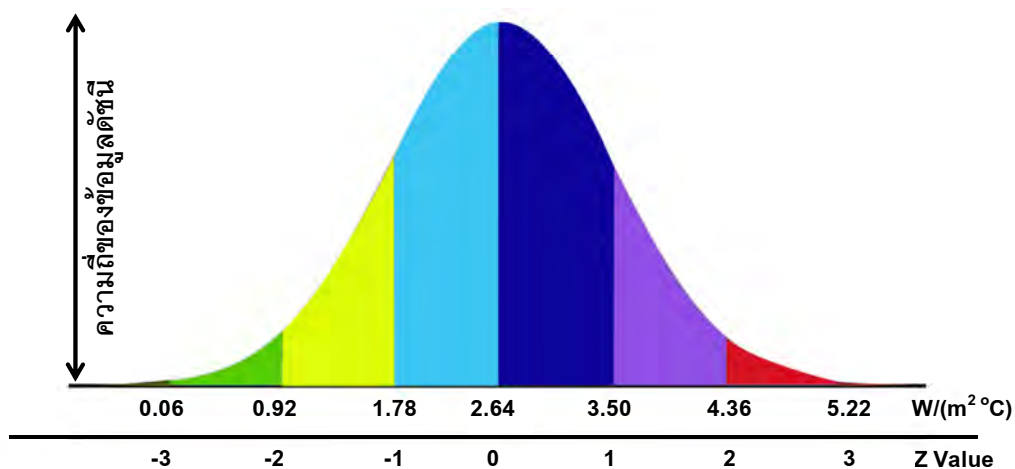


Mean = 12.81

STD = 2.52

แผนภูมิที่ 4-73 ค่า Normal Distribution ของ Δt

แผนภูมิที่ 4-73 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างอุณหภูมิ ค่าดัชนีอาคารดีเยี่ยมจะมีค่าน้อยกว่า 5.25°C ค่าดัชนีอาคารมาตรฐานมีค่าระหว่าง $10.29-12.81^{\circ}\text{C}$ ค่าดัชนีอาคารที่ต่ำมากที่สุดมีค่ามากกว่า 20.37°C

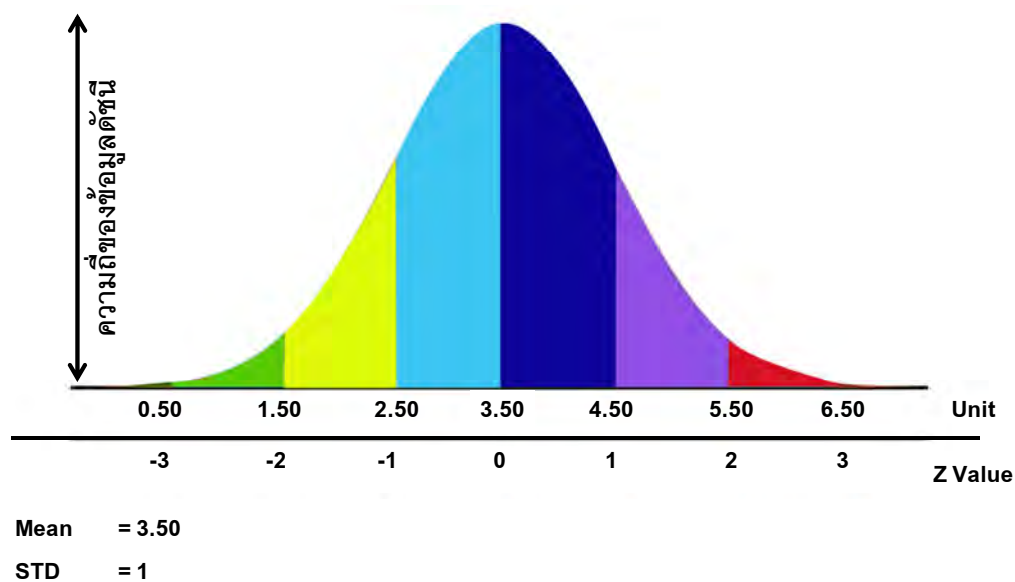


Mean = 2.64

STD = 0.86

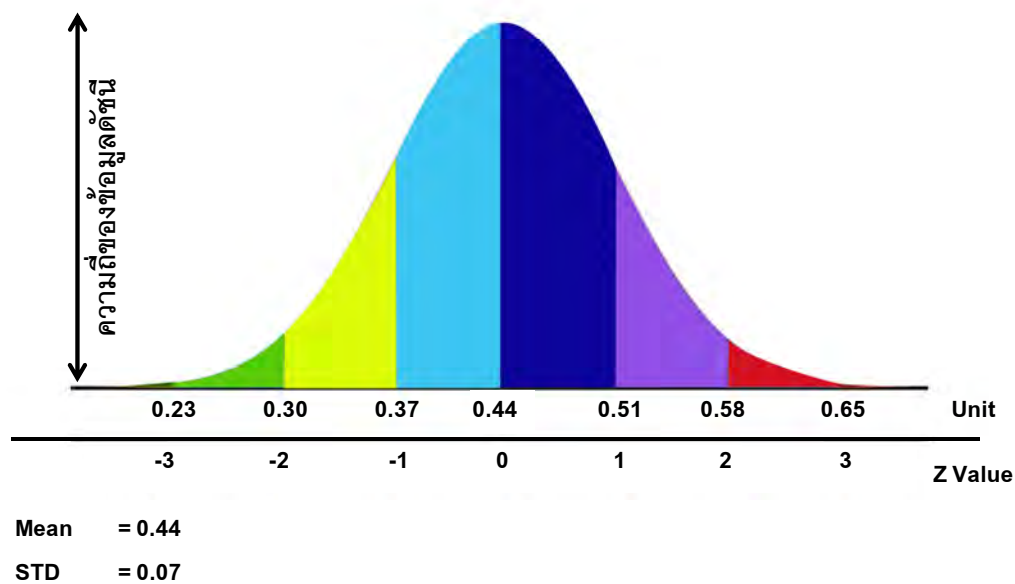
แผนภูมิที่ 4-74 ค่า Normal Distribution ของ $\sum US$

แผนภูมิที่ 4-74 แสดงค่าดัชนีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ค่าดัชนีอาคารดีเยี่ยมจะมีค่าน้อยกว่า $0.06 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$ ค่าดัชนีอาคารมาตรฐานมีค่าระหว่าง $1.78-2.64 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$ ค่าดัชนีอาคารที่ต่ำมากที่สุดมีค่ามากกว่า $5.22 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$



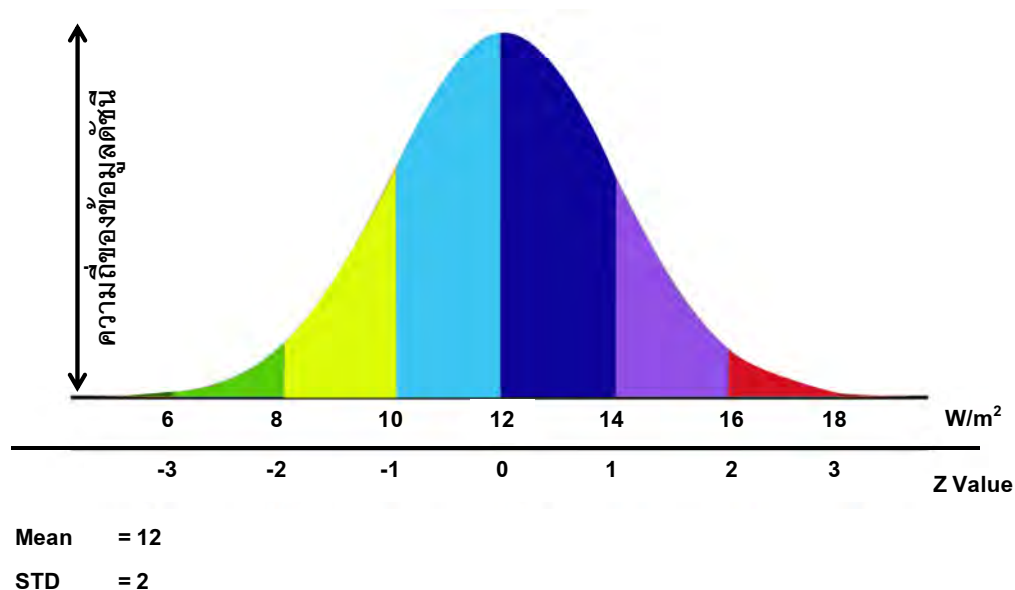
แผนภูมิที่ 4-75 ค่า Normal Distribution ของ S/A

แผนภูมิที่ 4-75 แสดงค่าดัชนีรูปทรงอาคาร ค่าดัชนีอาคารดีเยี่ยมจะมีค่าน้อยกว่า 0.50 ค่าดัชนีอาคารมาตรฐานมีค่าระหว่าง 2.50-3.50 ค่าดัชนีอาคารที่ต่ำมากที่สุดมีค่ามากกว่า 6.50



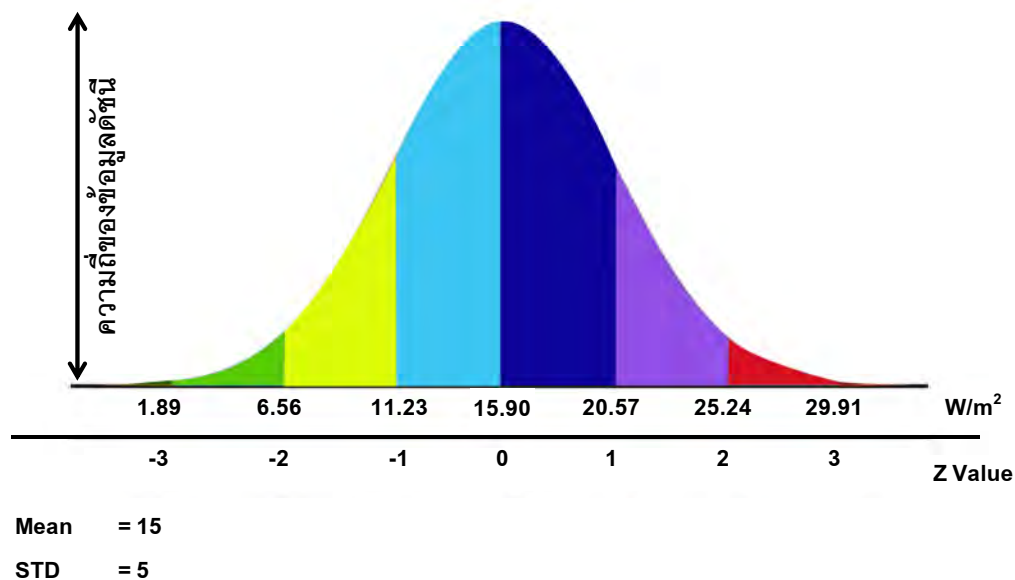
แผนภูมิที่ 4-76 ค่า Normal Distribution ของ 1/COP

แผนภูมิที่ 4-76 แสดงค่าดัชนีประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ค่าดัชนีอาคารดีเยี่ยมจะมีค่าน้อยกว่า 0.23 ค่าดัชนีอาคารมาตรฐานมีค่าระหว่าง 0.37-0.44 ค่าดัชนีอาคารที่ต่ำมากที่สุดมีค่ามากกว่า 0.65



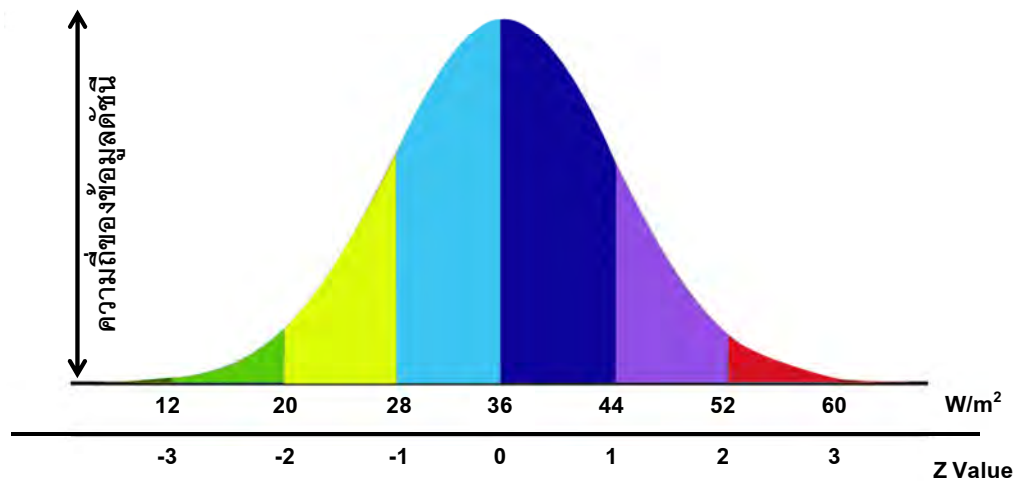
แผนภูมิที่ 4-77 ค่า Normal Distribution ของ Lighting

แผนภูมิที่ 4-77 แสดงค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าในอาคาร ค่าดัชนีอาคารดีเยี่ยมจะมีค่าน้อยกว่า 6 W/m^2 ค่าดัชนีอาคารมาตรฐานมีค่าระหว่าง $10\text{-}12 \text{ W/m}^2$ ค่าดัชนีอาคารที่ต่ำมากที่สุดมีค่ามากกว่า 18 W/m^2



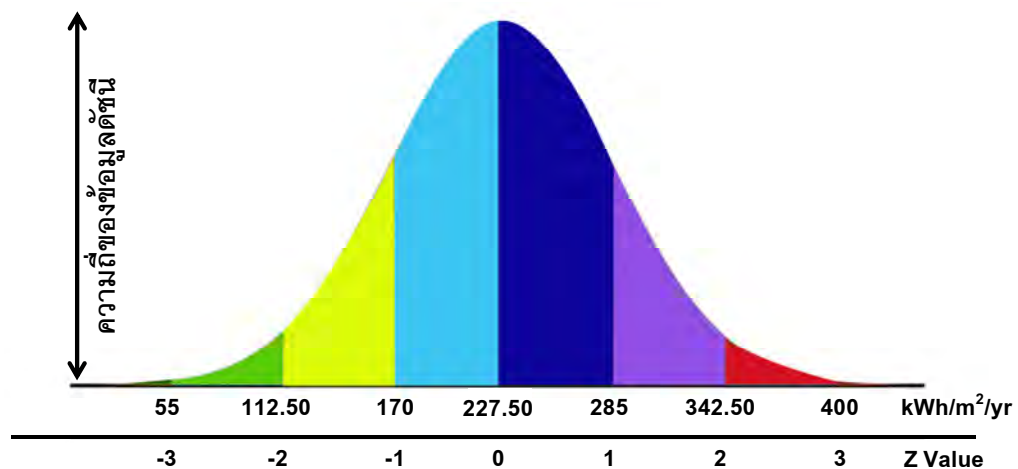
แผนภูมิที่ 4-78 ค่า Normal Distribution ของ Appliance

แผนภูมิที่ 4-78 แสดงค่าดัชนีประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า ค่าดัชนีอาคารดีเยี่ยมจะมีค่าน้อยกว่า 1.89 W/m^2 ค่าดัชนีอาคารมาตรฐานมีค่าระหว่าง $11.23\text{-}15.90 \text{ W/m}^2$ ค่าดัชนีอาคารที่ต่ำมากที่สุดมีค่ามากกว่า 29.91 W/m^2



แผนภูมิที่ 4-79 ค่า Normal Distribution ของ Infiltration

แผนภูมิที่ 4-79 แสดงค่าดัชนีการรั่วซึมของอากาศ ค่าดัชนีอาคารดีเยี่ยมจะมีค่าน้อยกว่า 12 W/m^2 ค่าดัชนีอาคารมาตรฐานมีค่าระหว่าง $28\text{-}36 \text{ W/m}^2$ ค่าดัชนีอาคารที่ต่ำมากที่สุดมีค่ามากกว่า 60 W/m^2

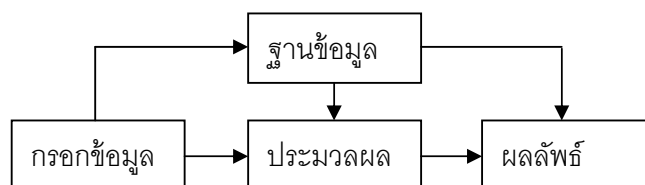


แผนภูมิที่ 4-80 ค่า Normal Distribution ของ ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารหน่วยเป็น kWh/m²/Yr

แผนภูมิที่ 4-80 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานรวมของอาคาร ค่าดัชนีอาคารดีเยี่ยมจะมีค่าน้อยกว่า $55 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$ ค่าดัชนีอาคารมาตรฐานมีค่าระหว่าง $170\text{-}227.50 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$ ค่าดัชนีอาคารที่ต่ำมากที่สุดมีค่ามากกว่า $400 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$

4.10 โปรแกรมการประเมินอาคาร

การออกแบบโปรแกรมสำหรับการประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงานสามารถเขียนแผนผังการทำงานได้ดังแผนภูมิที่ 4-81 โดยการทำงานของโปรแกรมประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือส่วนกรอกข้อมูล ส่วนฐานข้อมูล ส่วนประมวลผล และส่วนผลลัพธ์ โดยผู้ใช้โปรแกรมจะมีความทำงานร่วมกับส่วนกรอกข้อมูลในแผนภูมิต่างนั้น และเมื่อกรอกข้อมูลตามโปรแกรมกำหนด โปรแกรมจะนำข้อมูลที่กรอกของผู้ใช้งานไปเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลที่ถูกรวบรวมขึ้นเพื่อนำไปสู่กระบวนการทำงานของแต่ละสูตร เพื่อนำไปประมวลผลของตัวแปรต่างๆจากข้อมูลที่ได้รับ จากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้ในหน้าแสดงผล โดยผลลัพธ์ที่ได้จะวิเคราะห์ข้อมูลที่กรอกเข้าไป ว่ามีผลลัพธ์เป็นอย่างไร จบขั้นตอนดำเนินงาน



แผนภูมิที่ 4-81 แสดงกระบวนการทำงานของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมการประเมินอาคาร

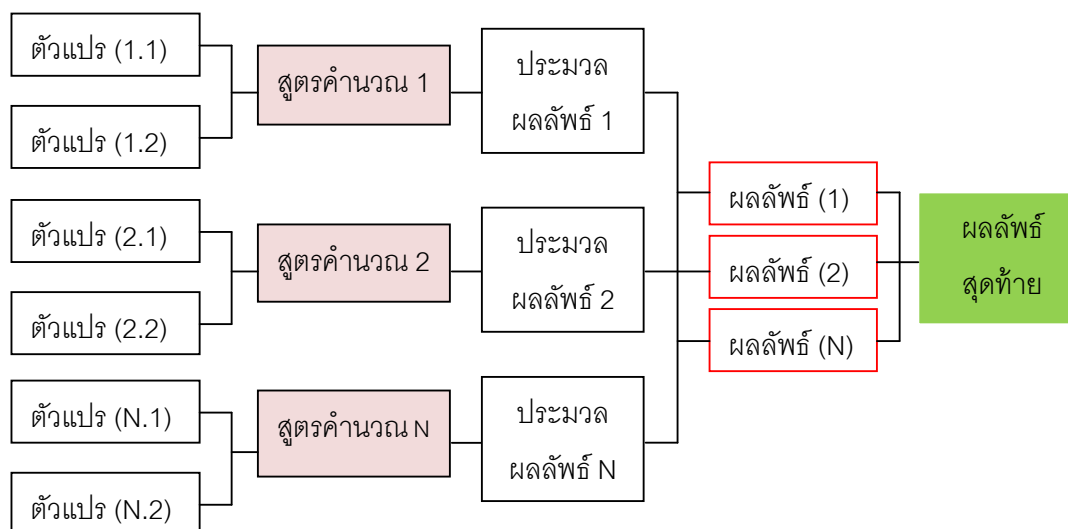
เริ่มจากการร่างโครงสร้างโปรแกรม เพื่อกำหนดวิธีการออกแบบโปรแกรม และรูปแบบของโปรแกรมและกำหนดเป้าหมายในการสร้างโปรแกรมไว้ตั้งแต่เริ่มแรก เป้าหมายของการวิจัยนี้คือการสร้างโปรแกรมเพื่อลดความซับซ้อนของการทำงานของผู้ใช้โปรแกรม เป็นโปรแกรมอย่างง่ายสำหรับเป็นเครื่องมือในการออกแบบขั้นต้นของการเริ่มโครงการ และตรวจสอบประสิทธิภาพอาคารที่ออกแบบเพื่อเป็นเครื่องมือประกอบสำหรับการออกแบบได้จริง เมื่อมีการสร้างโปรแกรมตามเป้าหมายที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว จะทำการทดสอบกับผู้ใช้งานจริงกับสถาปนิก วิศวกร หรือผู้ที่เกี่ยวข้องว่าโปรแกรมการประเมินอาคารนี้มีความสามารถในการประเมินอาคาร พร้อมประมวลผลประสิทธิภาพของอาคารที่ออกแบบว่าตอบสนองต่อการใช้งานจริงได้หรือไม่ และเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ในการสร้างโปรแกรมนี้ตั้งแต่แรก เพื่อสามารถนำไปวิเคราะห์และทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมเพื่อการปรับปรุง หรือข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาโปรแกรมนี้ต่อไป

ตารางที่ 4-19 แสดงเป้าหมายของการทำงานเพื่อสร้างโปรแกรมการประเมินอาคาร

ขั้นตอน	เป้าหมาย
กรอกข้อมูล	<ul style="list-style-type: none"> สถาปนิกหรือผู้เกี่ยวข้องที่ไม่มีความรู้ด้านพลังงานสามารถใช้โปรแกรมนี้ได้ กรอกข้อมูลพื้นฐานของอาคาร ได้แก่ รายละเอียดโครงการ พื้นที่อาคาร ส่วนผนัง หลังคา พื้น ช่องเปิด และวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ ข้อมูลมีความซับซ้อนน้อยทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเข้าใจได้ง่าย แบบฟอร์มที่ใช้ในการกรอกข้อมูลมีรูปแบบอย่างง่าย ใช้หน่วยในการกรอกข้อมูลที่นิยมใช้ในโปรแกรมนี้ใช้หน่วย SI (International System of Units)
ผลลัพธ์	<ul style="list-style-type: none"> แสดงผลลัพธ์เป็นแผนภูมิที่แสดงประสิทธิภาพอาคารว่าอยู่ในเกณฑ์ใด ผลลัพธ์แสดงถึงจุดดี จุดด้อยของการออกแบบอาคารด้านการใช้พลังงาน ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมการประเมินอาคาร สามารถนำผลลัพธ์ไปช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบอาคารได้

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ

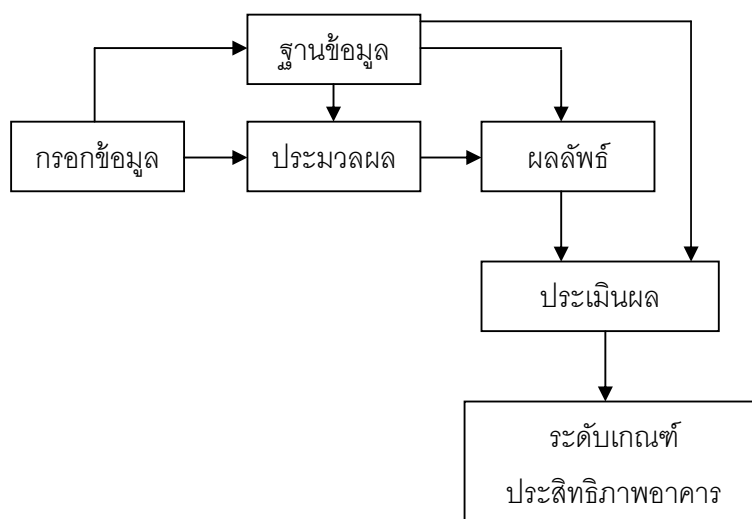
แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เพื่อแสดงค่าต่างๆของแต่ละตัวแปร โดยระบุสูตรที่ใช้ในการคำนวณ พร้อมการเชื่อมต่อของผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละตัวแปร กับข้อมูลที่น่าไปสร้างความสัมพันธ์กันต่อ เพื่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์สุดท้ายตามที่โปรแกรมได้กำหนดไว้ ซึ่งเป็นการแสดงวิธีการประมวลผลของข้อมูลในการทำงานด้านการคำนวณของโปรแกรม



แผนภูมิที่ 4-82 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการดำเนินการของโปรแกรมที่น่าไปสู่ผลลัพธ์ที่กำหนดไว้

4.10.1 ขั้นตอนในการสร้างเกณฑ์การประเมินของโปรแกรม

เมื่อโปรแกรมคำนวณผลลัพธ์ออกมาตามแผนภูมิที่ 4-83 ผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะแสดงค่าการใช้พลังงานของอาคารตามที่ได้กรอกข้อมูลเข้าไป จากนั้นโปรแกรมจะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการเทียบกับเกณฑ์การให้คะแนนด้านประสิทธิภาพอาคาร เพื่อวัดระดับประสิทธิภาพอาคารนั้นว่าอยู่ตามเกณฑ์ใดที่โปรแกรมกำหนดไว้ โดยเกณฑ์ต่าง ๆ นั้นได้มาจากการวิเคราะห์จากการวิจัยแล้วจัดทำเป็นฐานข้อมูลสำหรับการประเมินผล เมื่อได้ระดับเกณฑ์คะแนนที่ได้จากการประเมินอาคาร ผู้ใช้โปรแกรมจะทราบถึงผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพอาคาร ว่าอาคารอยู่ในเกณฑ์ประสิทธิภาพระดับใด และควรปรับปรุงตัวแปรอะไรในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร

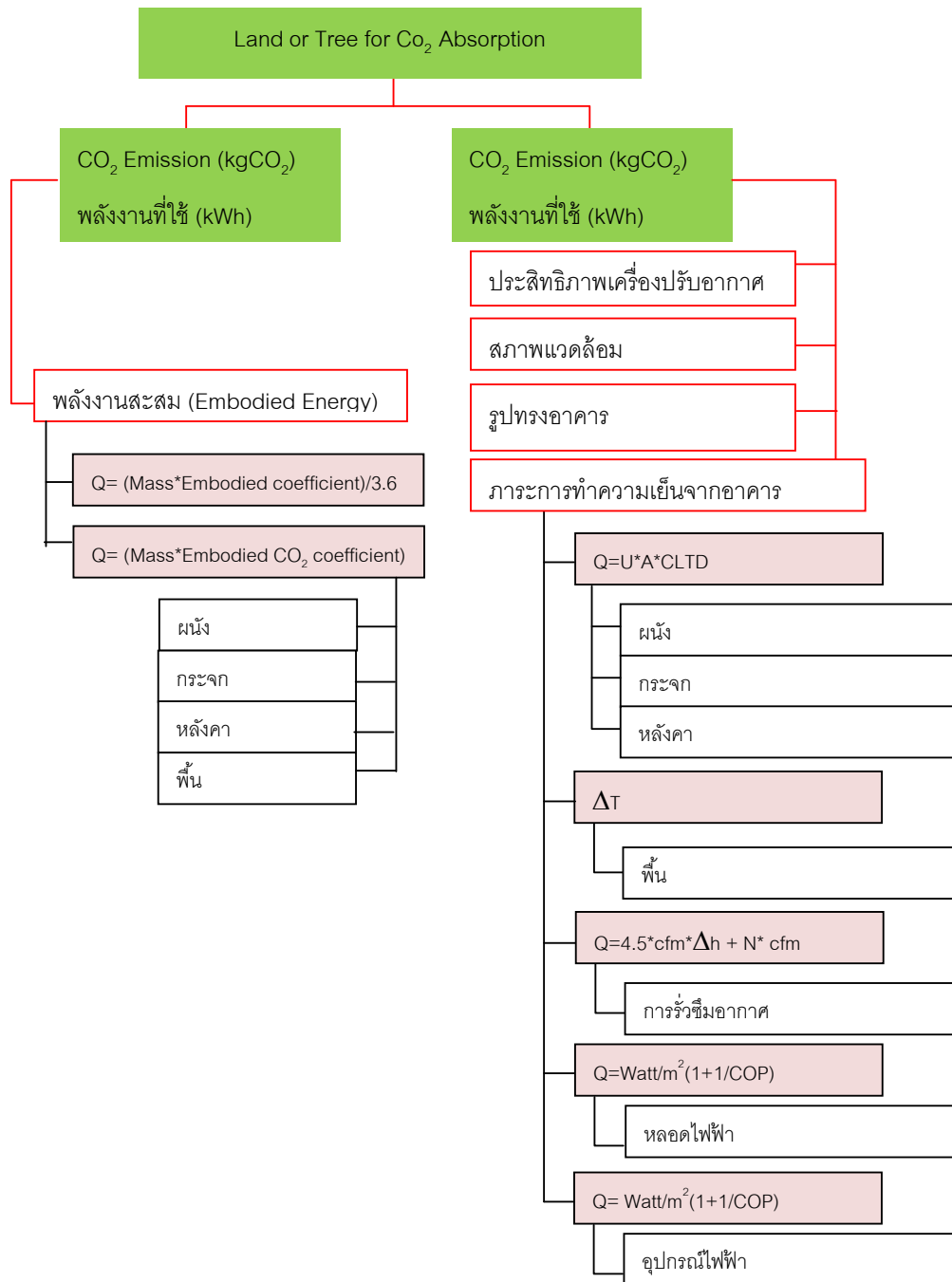


แผนภูมิที่ 4-83 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการประเมินผลประสิทธิภาพอาคาร

การอธิบายขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมจะเป็นการรวบรวมค่าของตัวแปรต่างๆ เพื่อสร้างความสัมพันธ์ให้เกิดผลลัพธ์ตามค่าที่ได้จากการคำนวณจากสูตรต่างๆ เพื่อผลลัพธ์ด้านการใช้พลังงานในอาคาร จากนั้นข้อมูลที่ได้จะส่งผ่านการประมวลผลเพื่อประเมินระดับเกณฑ์ของอาคาร โดยผลลัพธ์คือเกณฑ์ด้านประสิทธิภาพของอาคารนั้นตามที่โปรแกรมกำหนด ดังนั้นจึงแบ่งขั้นตอนการทำงานหลักของโปรแกรมออกเป็น การวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ จากสูตรคำนวณ และ ขั้นตอนการประเมินผลประสิทธิภาพอาคาร

แผนผังการทำงานในการคำนวณของโปรแกรม



แผนภูมิที่ 4-84 แสดงขั้นตอนโดยรวมของโปรแกรมในการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆในการประเมินเพื่อหาค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยรวม และค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

แผนภูมิที่ 4-84 โปรแกรมการคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การคำนวณค่าการใช้พลังงานในอาคารช่วงการทำงานของอาคาร และการคำนวณค่าการใช้พลังงานของขั้นตอนการผลิตวัสดุหรือค่าพลังงานสะสม เมื่อโปรแกรมได้ข้อมูลพื้นฐานของอาคารจากผู้ออกแบบเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแยกการคำนวณของ 2 ขั้นตอนออกจากกัน เมื่อการคำนวณแล้วเสร็จจึงจะนำผลลัพธ์จากการคำนวณการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแต่ละขั้นตอนมาสร้างความสัมพันธ์กันเพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมกัน จากนั้นข้อมูลที่ได้จะแปลงผลลัพธ์เป็นพื้นที่สนามหญ้า หรือจำนวนต้นไม้ที่ต้องใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.10.2 ขั้นตอนการคำนวณผลลัพธ์ของตัวแปรต่างๆ

การสร้างโปรแกรมโดยนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมาจัดแบ่งกลุ่มข้อมูลเพื่อจัดสร้างฐานข้อมูลในแต่ละส่วนเพื่อการประมวลผล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ในการทำงาน เนื่องจากโปรแกรมนี้นี้เป็นโปรแกรมพื้นฐานที่ผู้ใช้งานทั่วไปมีความคุ้นเคย สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้ความชำนาญพิเศษ อีกทั้งโปรแกรมนี้นี้มีความสามารถสร้างความสัมพันธ์จากตัวแปรต่างๆโดยสูตรได้อย่างง่าย พร้อมทั้งประมวลผลเป็นแผนภูมิต่างๆที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจความหมายของผลลัพธ์ได้ง่าย ทำให้โปรแกรมนี้นี้สามารถตอบสนองต่อการใช้เป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อผู้ใช้งาน และผู้ใช้งานสามารถเข้าใจผลลัพธ์ที่ได้ อย่างแท้จริงเพื่อนำไปปรับปรุงการออกแบบอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โปรแกรมนี้นี้สร้างขึ้นโดยพื้นฐานจากคำนวณในกรณีที่อาคารปรับอากาศ โดยใช้ฐานข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยข้อมูลปี พ.ศ.2550 พบว่ามีจำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายนั้นเพียง 8 เพอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อใช้อิทธิพลของลมเพิ่มเข้ามาช่วยสร้างสภาวะน่าสบายก็มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเป็น 12 เพอร์เซ็นต์ ดังนั้นการที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารอยู่ในเขตสบายได้จึงจำเป็นต้องใช้ระบบเครื่องกลมาปรับอากาศเพื่อสร้างสภาวะน่าสบาย โดยจะคำนวณค่าภาระการทำคามเย็นของอาคารสามารถแบ่งส่วนต่างๆในการคำนวณได้ดังนี้

1. การคำนวณค่าภาระการทำคามเย็นส่วนผนังทึบ โดยจะใช้สมการหาค่าคือ

$$Q = U * A * CLTD$$

$$\text{เมื่อ } CLTD_{\text{corr}} = (CLTD + LM)K(78 - T_r) + (T_o - 85)$$

- ค่า Q คือค่าภาระการทำคามเย็นที่เกิดจากผนังทึบ

- ค่า U คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (ผู้ใช้โปรแกรมเลือกจากที่โปรแกรมกำหนด)
- ค่า A คือพื้นที่ของผนังในการออกแบบ (ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด)
- ค่า CLTD_{corr} คือความแตกต่างของอุณหภูมิในการคำนวณภาระการทำความเย็น
- ค่า T_o จะเป็นอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในการออกแบบได้จากการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศในปีที่ใช้เป็นข้อมูล
- ค่า T_r จะเป็นอุณหภูมิที่ทำการปรับอากาศในห้อง
- ค่า CLTD เป็นค่าคงที่ที่กำหนดไว้ตามชนิดของวัสดุ โปรแกรมจะทำการเรียกฐานข้อมูล CLTD ของประเภทวัสดุออกมาใช้ตามวัสดุ โดยมีตัวเลือกชนิดของวัสดุ ว่าอยู่ในกลุ่มวัสดุใด โดยแบ่งประเภทวัสดุออกเป็น 7 กลุ่ม ตั้งแต่ A, B, C, D, E, F และ G
- ค่า LM (latitude-month) เป็นค่าคงที่ของโปรแกรมพิจารณาที่กรุงทพละติจูดที่ 16 องศาเหนือ
- ค่า K สามารถเลือกค่าความเข้มของสีในการคำนวณได้ 3 ระดับคือความเข้มสีมาก เท่ากับ 1 ความเข้มสีปานกลาง เท่ากับ 0.83 ความเข้มสีอ่อน เท่ากับ 0.65

2. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นส่วนหลังคา โดยจะใช้สมการหาค่าคือ

$$Q = U * A * CLTD$$

$$\text{เมื่อ } CLTD_{\text{corr}} = (CLTD + LM)K(78 - T_r) + (T_o - 85)f$$

- ค่า Q คือค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลังคา
- ค่า U คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (ผู้ใช้โปรแกรมเลือกจากที่โปรแกรมกำหนด)
- ค่า A คือพื้นที่ของหลังคาในการออกแบบ (ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด)
- ค่า CLTD_{corr} คือความแตกต่างของอุณหภูมิในการคำนวณภาระการทำความเย็น
- ค่า T_o จะเป็นอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในการออกแบบได้จากการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศในปีที่ใช้เป็นข้อมูล
- ค่า T_r จะเป็นอุณหภูมิที่ทำการปรับอากาศในห้อง

- ค่า CLTD เป็นค่าคงที่ที่กำหนดไว้ตามชนิดของวัสดุ โปรแกรมจะทำการเรียกฐานข้อมูล CLTD ของประเภทวัสดุออกมาใช้ตามวัสดุ โดยมีตัวเลือกชนิดของวัสดุ ว่าอยู่ในกลุ่มวัสดุใด โดยแบ่งประเภทวัสดุออกเป็น 13 กลุ่ม ตั้งแต่ 1-13
- ค่า LM (latitude-month) เป็นค่าคงที่ในโปรแกรมจากการกำหนดสภาพภูมิอากาศในการคำนวณที่ กรุงเทพฯ ละติจูดที่ 16 องศาเหนือ
- ค่า K สามารถเลือกค่าความเข้มของสีในการคำนวณได้ 2 ระดับ คือ ความเข้มสีมาก เท่ากับ 1 ความเข้มสีอ่อน เท่ากับ 0.5

3. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นส่วนพื้น โดยจะใช้สมการหาค่า ΔT

โดยจะใช้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมในการพิจารณา ทั้งในกรณีพื้นด้านนอกไม่สัมผัสผิวดินและสัมผัสผิวดิน

4. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นส่วนช่องแสง จะใช้สมการหาค่า

$$Q = U * A * CLTD \text{ และ } Q = A * SC * SHGF * CLF$$

- ค่า Q คือค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากช่องแสง
- ค่า U คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (ผู้ใช้โปรแกรมเลือกจากที่โปรแกรมกำหนด)
- ค่า A คือพื้นที่ของช่องเปิดในการออกแบบ (ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด)
- ค่า CLTD คือความแตกต่างของอุณหภูมิในการคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกโดยเป็นค่าที่โปรแกรมกำหนดไว้
- ค่า SHGF (Solar Heat Gain Factor) เป็นความร้อนจากการแผ่รังสีผ่านกระจกเข้ามาโดยมีฐานข้อมูลจากโปรแกรมพิจารณาจากที่กรุงเทพฯ ละติจูดที่ 16 องศาเหนือ
- ค่า CLF (Cooling Load Factor) โปรแกรมจะมีค่าให้จากฐานข้อมูล
- ค่า SC คือค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด)

5. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากการรั่วซึมอากาศ จะใช้สมการหาค่า

$$Q = 4.5 * cfm * \Delta h + \text{Fresh air}$$

- ค่า Q คือค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมอากาศ
- ค่า cfm ได้จากการคำนวณหา การหมุนเวียนอากาศหรือ Air change โดยโปรแกรมจะมีค่าที่ให้เลือก 4 ค่าได้แก่ มีการรั่วซึมน้อยมากจะมีค่า

เท่ากับ 0.3 ACH มีการรั่วซึมปานกลางมีค่าเท่ากับ 0.4 ACH มีการรั่วซึมมากมีค่าเท่ากับ 0.5 ACH และมีค่า 1 ACH สำหรับการเลือก

- ค่าความแตกต่างของเอนทัลปี (Δh) โดยโปรแกรมจะสร้างฐานข้อมูลจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศปีที่เป็นฐานข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนสำหรับการคำนวณ
- ค่า Fresh air หรืออากาศเติมจากภายนอกสำหรับผู้ใช้งาน คำนวณจากจำนวนผู้ใช้งานในอาคารคูณกับค่า cfm ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 5-50 cfm

6. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากหลอดไฟฟ้า จะใช้สมการหาค่า

$$Q = W/m^2 (1 + 1 / COP)$$

โดยค่าภาระการทำความเย็นจากหลอดไฟฟ้า โปรแกรมจะมีแบบฟอร์มในการกรอกจำนวนหลอดไฟ พร้อมค่าวัตต์ของหลอดไฟ และเวลาการใช้งาน สำหรับเป็นข้อมูลของอาคารในการประเมิน จะได้ค่าภาระการทำความเย็นของหลอดไฟฟ้าต่อตารางเมตร จะมีหน่วยเป็น W/m^2

7. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากอุปกรณ์ไฟฟ้า จะใช้สมการหาค่า

$$Q = W/m^2 (1 + 1 / COP)$$

โดยค่าภาระการทำความเย็นจากอุปกรณ์ไฟฟ้า โปรแกรมจะมีแบบฟอร์มในการกรอกจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า พร้อมค่าวัตต์ของอุปกรณ์ไฟฟ้า และเวลาการใช้งาน สำหรับเป็นข้อมูลของอาคารในการประเมิน จะได้ค่าภาระการทำความเย็นของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อตารางเมตร จะมีหน่วยเป็น W/m^2

8. การคำนวณค่าพลังงานสะสม (Embodied Energy) สามารถหาค่าได้จาก

$$Q = (\text{Mass} * \text{Embodied coefficient}) / 3.6$$

ค่า Q คือค่าพลังงานในการผลิตวัสดุในขั้นตอนการผลิต หาค่าได้จากการนำค่าน้ำหนักของวัสดุนั้นๆ มาคูณร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสะสม (Embodied coefficient) ของวัสดุ เพื่อให้ได้ค่าพลังงานสะสมโดยมีหน่วยเป็น เมกะจูล (MJ) ค่า 3.6 คือค่าการแปลงหน่วยจาก MJ เป็น kWh

4.10.3 ขั้นตอนการประเมินผลประสิทธิภาพอาคาร

จากการวิจัยได้กำหนดเกณฑ์ในการให้ระดับคะแนนกับอาคารที่ประเมินจากโปรแกรม โดยผลลัพธ์จะแสดงค่าระดับเกณฑ์ของอาคารที่ประเมินว่ามีคุณภาพระดับใด โดยแบ่งเป็นระดับคะแนนของการประเมินอาคารได้ดังนี้ คือ

ระดับ A+ (ดีเยี่ยม) มีค่าน้อยกว่า 55

ระดับ A (ดีมาก) มีค่าระหว่าง 55 - 112.50

ระดับ B+ (ดี) มีค่าระหว่าง 112.50 - 170

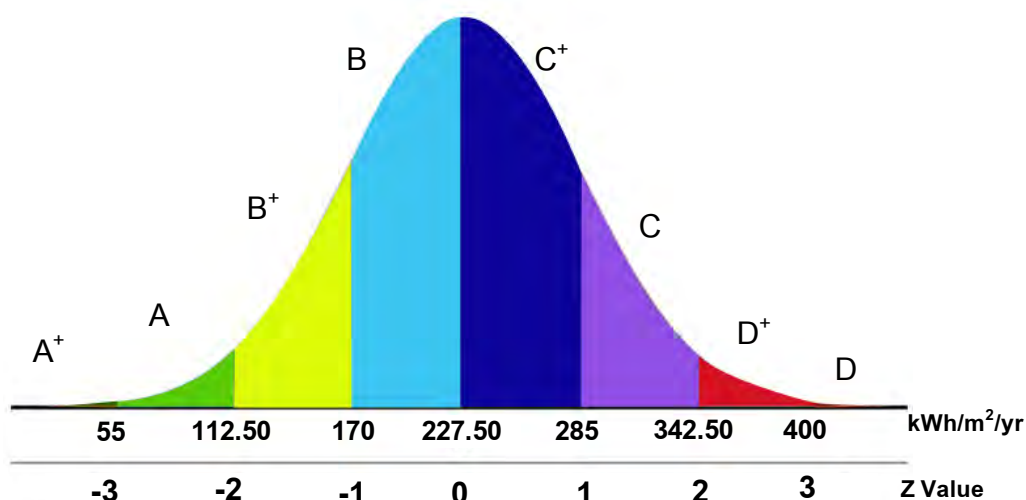
ระดับ B (มาตรฐาน) มีค่าระหว่าง 170 - 227.50

ระดับ C+ (ไม่อยู่ในมาตรฐาน) มีค่าระหว่าง 227.50 - 285

ระดับ C (ต่ำ) มีค่าระหว่าง 285 - 342.50

ระดับ D+ (ต่ำมาก) มีค่าระหว่าง 342.50 - 400

ระดับ D (ต่ำที่สุด) มีค่ามากกว่า 400

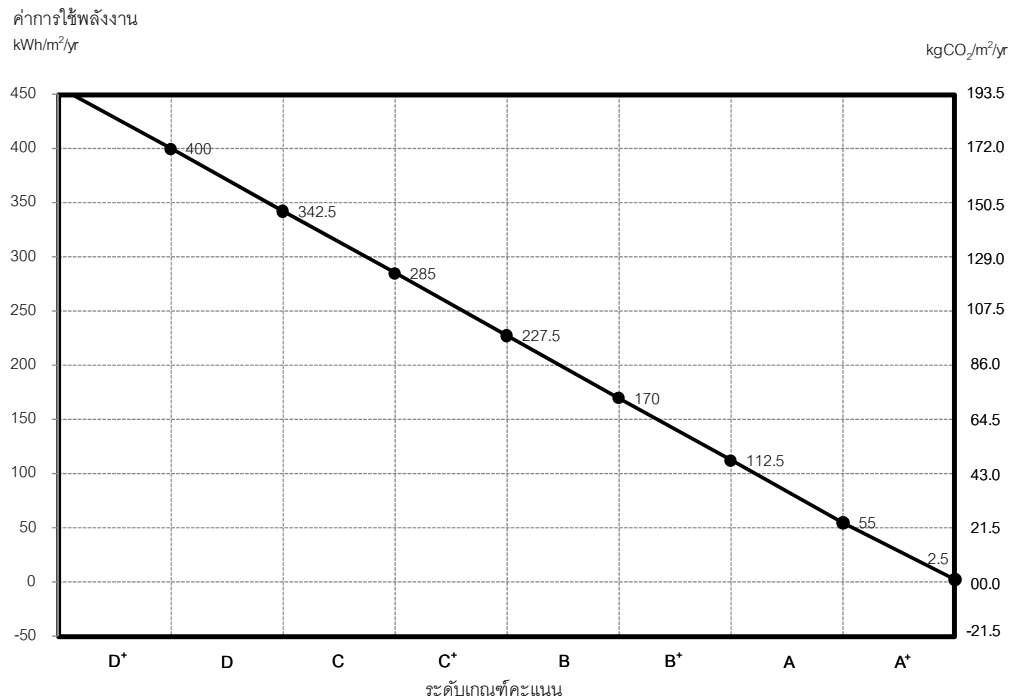


ภาพที่ 4-1 แสดงเกณฑ์ระดับการให้คะแนนในการประเมินอาคารจากโปรแกรม

จากการประเมินผลผู้ใช้โปรแกรมก็จะได้ผลลัพธ์ของระดับเกณฑ์ของอาคารที่ออกแบบ ทั้งนี้ว่าอาคารนั้นมีประสิทธิภาพจัดอยู่ในกลุ่มใดของเกณฑ์การให้คะแนน แต่เป้าหมายของการทำโปรแกรมนั้นนอกจากจะแสดงผลและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารโดยรวมแล้ว ยังต้องสามารถอธิบายตัวแปรต่างๆของการออกแบบว่าตัวแปรใดที่ทำให้เกิดผลประเมินอาคารเช่นนี้ และมีตัวแปรใดที่ต้องปรับปรุง หรือไม่ต้องปรับปรุง เพื่อแสดงให้เห็นผู้ใช้โปรแกรมเข้าใจการออกแบบอาคารมากขึ้นว่าส่วนประกอบต่างๆในการออกแบบอาคารมีความสำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน

อาคารเช่นไร ดังนั้นในการประเมินผลอาคารจึงต้องสร้างเกณฑ์ย่อยของตัวแปรต่างๆเพื่อสามารถนำมาวิเคราะห์ และแสดงผลเชิงเกณฑ์ระดับคุณภาพให้ผู้ใช้งโปรแกรมสามารถเข้าใจได้และเข้าใจได้ว่าต้องปรับปรุงตัวแปรใดในการออกแบบอาคารที่ประเมินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านอนุรักษ์พลังงานกับอาคารที่ออกแบบ

สร้างแผนภูมิที่กำหนดช่วงคะแนนจากระดับเกณฑ์คะแนนในแต่ละช่วง แผนภูมินี้จะแสดงระดับเกณฑ์คะแนนของอาคาร พร้อมทั้งเชื่อมต่อข้อมูลจากตัวแปรต่างๆที่สร้างความสัมพันธ์ในสมการ แสดงผลที่ได้ของคะแนนที่เกิดจากตัวแปรต่างๆว่าตัวแปรไหนต้องปรับปรุงไม่ปรับปรุง เพื่อให้ผู้ใช้งโปรแกรมสามารถนำไปแก้ไขในการออกแบบได้จริง โดยแผนภูมิจะประกอบไปด้วยแผนภูมิระดับเกณฑ์คะแนนหลัก และตารางแสดงผลลัพธ์ของตัวแปรในการวิเคราะห์ว่าต้องปรับปรุงหรือไม่ต้องปรับปรุง

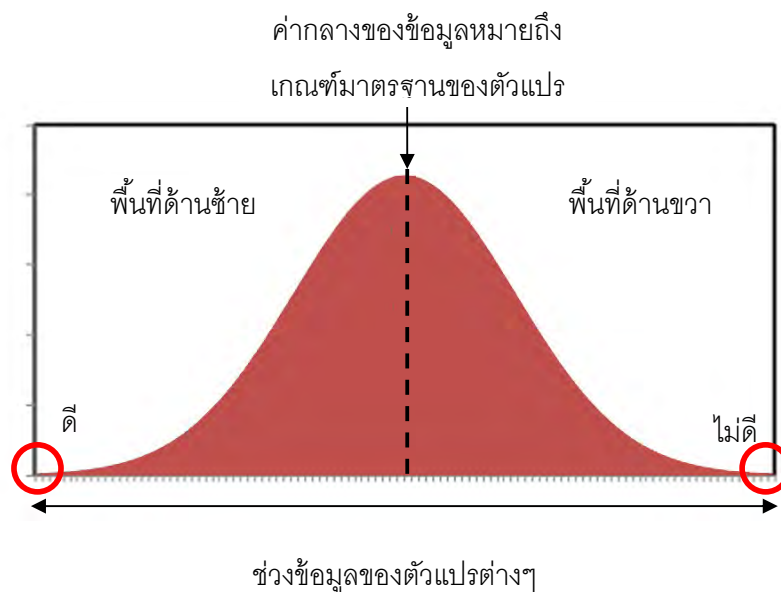


แผนภูมิที่ 4-85 แสดงระดับเกณฑ์คะแนนของการประเมินอาคารจากโปรแกรม

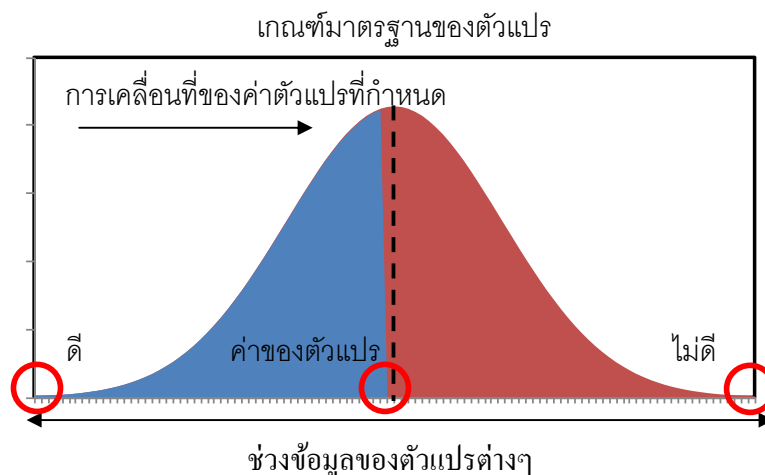
ตารางที่ 4-20 แสดงตัวแปรที่วิเคราะห์ในการประเมินอาคารโดยจะแสดงผลให้ผู้ใช้งานทราบว่า ตัวแปรที่ต้องปรับปรุงและตัวแปรที่อยู่ในเกณฑ์ดี

ΔT	ปรับปรุง/ ดี
$\sum US$	ปรับปรุง/ ดี
S/A	ปรับปรุง/ ดี
1/COP	ปรับปรุง/ ดี
ighting	ปรับปรุง/ ดี
Equipment	ปรับปรุง/ ดี
Infiltration	ปรับปรุง/ ดี

จากตารางที่ 4-20 แสดงผลลัพธ์ของคะแนนโดยรวม และตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถตัดสินใจได้ว่าการออกแบบนั้นมีส่วนประกอบใดของอาคารที่ต้องทำการปรับปรุง และมีสัดส่วนใดของอาคารที่อยู่ในเกณฑ์ดีแล้วไม่ต้องปรับปรุง ซึ่งเป็นการแสดงผลที่ค่อนข้างง่ายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจและเกิดความเข้าใจตรงกันเมื่อนำผลลัพธ์นี้ไปทำงานร่วมกับส่วนอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบ เพื่อสามารถทำให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารสามารถมองภาพรวมของประสิทธิภาพอาคารในแนวทางเดียวกัน และสามารถนำไปเปรียบเทียบการลงทุนของแต่ละตัวแปรเพื่อใช้ในการตัดสินใจในแต่ละโครงการได้



ภาพที่ 4-2 อธิบายตำแหน่งเกณฑ์มาตรฐานของตัวแปร และพื้นที่คะแนนของตัวแปร



ภาพที่ 4-3 อธิบายการอ่านค่าตำแหน่งของตัวแปรที่กำหนดไปในแผนภูมิว่าอยู่ในเกณฑ์ใดเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน

โดยเกณฑ์ของแต่ละตัวแปรจะแสดงในแผนภูมิการกระจายแบบปกติ จากภาพที่ 4-2 พื้นที่สีแดงทั้งหมดคือช่วงข้อมูลของตัวแปร โดยแต่ละตัวแปรจะมีค่าตามเกณฑ์ของตัวแปรนั้นๆ โดยมีค่ากลางคือค่ามาตรฐานของแต่ละตัวแปรเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของตัวแปร โดยถ้าค่าของตัวแปรอยู่ในพื้นที่ด้านขวา แสดงว่าตัวแปรนี้มีค่าเกินมาตรฐาน ค่าที่ได้จากตัวแปรจะมีประสิทธิภาพไม่ดี ถ้าค่าของตัวแปรอยู่ด้านซ้าย แสดงว่าตัวแปรนี้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ค่าที่ได้จากตัวแปรนี้จะมีประสิทธิภาพดี ยิ่งค่าของตัวแปรใกล้พื้นที่ด้านซ้ายมากเท่าไรประสิทธิภาพก็จะยิ่งดีมากขึ้น จากภาพที่ 4-3 เมื่อกรอกข้อมูลการประมวลผลของตัวแปรต่างๆที่เกิดขึ้นจะเป็นการแสดงผลแบบไดนามิกส์ โดยจะมีพื้นที่สีฟ้าแสดงการบอกค่าของตัวแปรที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนดจากการออกแบบ โดยพื้นที่สีฟ้าจะเลื่อนจากพื้นที่ด้านซ้ายซึ่งเป็นส่วนที่มีค่าน้อยไปพื้นที่ด้านขวาตามค่าของตัวแปรที่กำหนด ระยะเวลาท้ายของพื้นที่สีฟ้าคือตัวกำหนดตำแหน่งของค่าตัวแปรที่มาจากกรอกแบบ จากตัวอย่างในรูป 4-3 พื้นที่สีฟ้ายังไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของตัวแปร และตัวแปรนี้มีค่าอยู่ระดับมาตรฐาน

4.11 การทดสอบโปรแกรมการประเมินอาคาร

ผลจากแบบสอบถามผู้ทดสอบในการทดลองใช้โปรแกรมในการประเมินอาคาร เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาข้อดี และข้อด้อยของโปรแกรม โดยจะแบ่งเป็นส่วนข้อมูลที่จะนำมาปรับปรุง กับส่วนที่เป็นข้อเสนอแนะ โดยมีขั้นตอนดำเนินงานในการให้กรอกแบบสอบถามดังนี้

- สอบถามประสบการณ์ในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน

- อธิบายความเข้าใจของรูปแบบอาคารที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการประเมินผลในโปรแกรม
- อธิบายขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรม การประเมินผล และผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม
- แสดงตัวอย่างในการใช้โปรแกรม โดยยกกรณีตัวอย่างบ้านหนึ่งหลัง พร้อมอธิบายการใช้งานอีกครั้ง
- เปิดโอกาสให้ซักถามเกี่ยวกับการใช้งานและรายละเอียดต่างๆของโปรแกรม
- เริ่มให้ผู้ทดสอบทดลองใช้โปรแกรมโดยมีการจับเวลาในการทำงาน โดยแบ่งการจับเวลาเป็น 2 ช่วงเวลา คือช่วงเวลากการถอดแบบก่อสร้าง และช่วงเวลาดทดสอบการใช้โปรแกรมจริง

1. ผลแบบสอบถามส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปและประสบการณ์ในการออกแบบด้านพลังงาน

จากแบบทดสอบสามารถแบ่งกลุ่มผู้ทดสอบออกเป็น 2 กลุ่ม

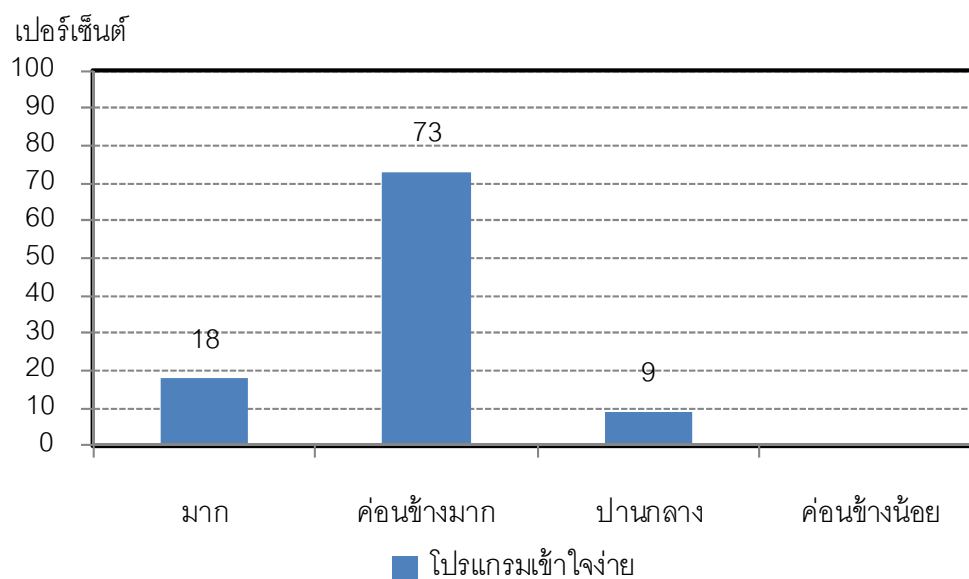
- กลุ่มที่ 1 สถาปนิก วิศวกร และผู้ช่วยสถาปนิก ซึ่งไม่มีประสบการณ์ด้านการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน
- กลุ่มที่ 2 สถาปนิก วิศวกร และผู้ช่วยสถาปนิก ซึ่งมีประสบการณ์ด้านการออกแบบ อาคารอนุรักษ์พลังงาน

ผลจากแบบสอบถามส่วนที่ 1

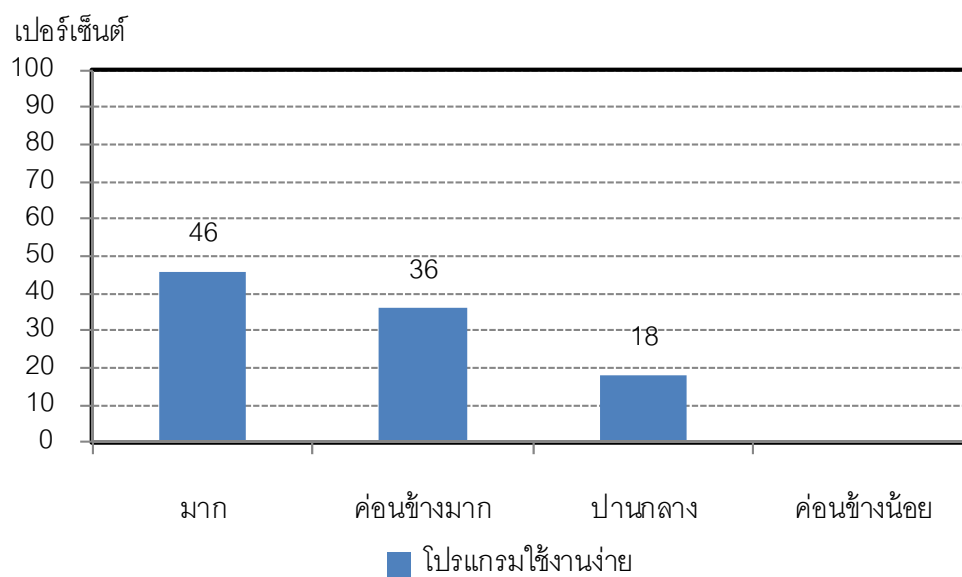
- ต้องมีพื้นฐานความรู้ด้านการออกแบบอนุรักษ์พลังงาน
- การเตรียมข้อมูลสำหรับการใช้โปรแกรมต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก
- ความซับซ้อนของการกรอกข้อมูล
- การแก้ไขข้อมูลทำได้ยาก
- ใช้เวลามากในการกรอกข้อมูลเพื่อการประเมินผล
- ไม่สามารถแปลผลลัพธ์ที่ได้เพื่อการใช้งานจริง

2. ผลแบบสอบถามส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลจากการทดสอบโปรแกรมเรื่องการใช้งาน ความยาก ความง่ายต่อการกรอกข้อมูล ความเข้าใจผลลัพธ์ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ

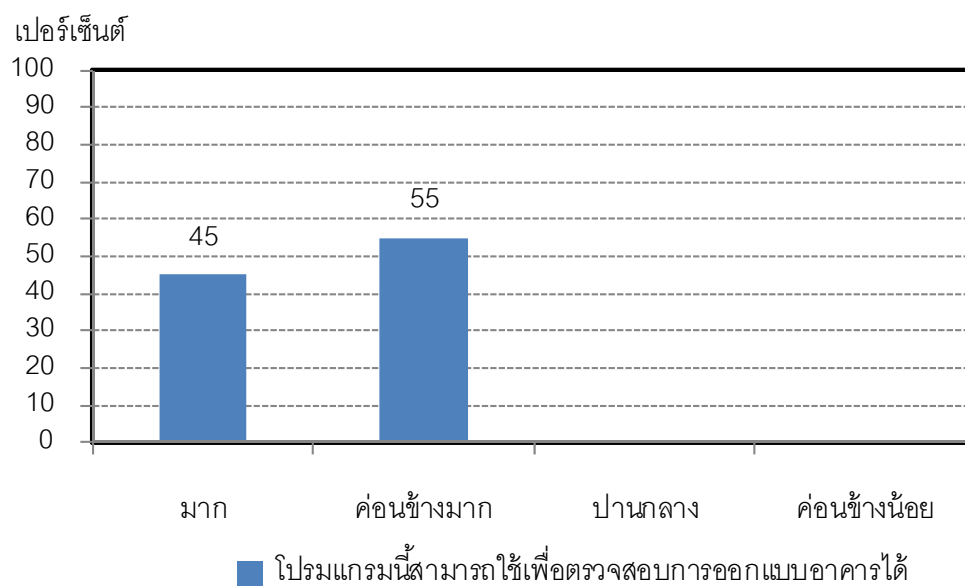
- ผลการวิเคราะห์สามารถสรุปเป็นตารางแสดงความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมในการประเมินอาคารตามรายละเอียดแผนภูมิที่ 4-86 ถึงแผนภูมิที่ 4-89



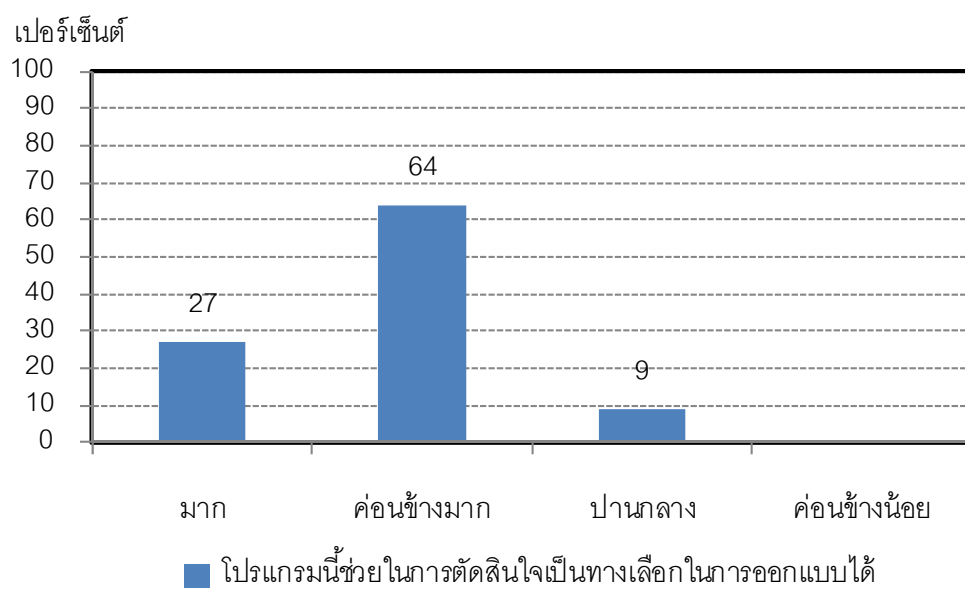
แผนภูมิที่ 4-86 แสดงผลระดับเกณฑ์คะแนนจากการใช้งานจริงในเรื่องโปรแกรมมีความเข้าใจง่าย สรุปคำตอบคือ ค่อนข้างมากถึง 73% มาก 18%



แผนภูมิที่ 4-87 แสดงผลระดับเกณฑ์คะแนนจากการใช้งานจริงในเรื่องโปรแกรมใช้งานง่าย สรุปคำตอบคือ มาก 46% ค่อนข้างมาก 36%



แผนภูมิที่ 4-88 แสดงผลระดับเกณฑ์คะแนนจากการใช้งานจริงในเรื่องโปรแกรมสามารถใช้เพื่อตรวจสอบการออกแบบอาคารได้ สรุปคำตอบคือ ค่อนข้างมาก 55% มาก 45 %



แผนภูมิที่ 4-89 แสดงผลระดับเกณฑ์คะแนนจากการใช้งานจริงในเรื่องโปรแกรมนี้ช่วยในการตัดสินใจเป็นทางเลือกในการออกแบบได้ สรุปคำตอบคือ ค่อนข้างมาก 64% มาก 27 %

- ผลจากการทดสอบได้แบ่งการจับเวลาในการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เวลาในการถอดแบบก่อสร้าง และเวลาในการกรอกข้อมูลพร้อมประมวลผล เพื่อให้ทราบถึงเวลาในแต่ละขั้นตอนเพื่อจะให้เป็นข้อเสนอแนะในการพัฒนาโปรแกรมต่อไป รายละเอียดในตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 ผลสรุปการใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรมจากผู้ทดสอบ

เวลาการใช้โปรแกรมในการประเมินอาคาร	ค่าเฉลี่ยเวลา (นาที)
เวลาในการถอดแบบก่อสร้าง	25
เวลาในการกรอกข้อมูลพร้อมประมวลผลจากโปรแกรม	17

จากตารางที่ 4-21 พบว่าช่วงเวลาในการกรอกข้อมูลพร้อมประมวลผลจะใช้เวลาที่น้อย ซึ่งตรงกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ในการสร้างโปรแกรมนี้อย่างไรก็ตาม ส่วนช่วงเวลาในการถอดแบบนั้นมีความความเบี่ยงเบนสูง จึงได้ทำการสังเกตจากวันที่ทดสอบจริงพร้อมวิเคราะห์จากประวัติการทำงานพบว่า การถอดแบบขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และเครื่องมือที่ใช้

3. ผลแบบสอบถามส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแบบประเมิน โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และรวบรวมข้อมูลที่เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยที่ต้องการพัฒนาต่อไป

ตารางที่ 4-22 ผลสรุปข้อดี ข้อด้อย ของการใช้โปรแกรมจากผู้ทดสอบ

ข้อดี	ข้อด้อย
1. ทราบระดับเกณฑ์คะแนนของอาคารที่ออกแบบว่าอยู่ในระดับดี หรือ ต่ำ และเป็นอาคารประหยัดพลังงานหรือไม่	1. ขาดรูปประกอบของอาคารที่เป็นรูปแบบ 3 มิติ อาทิ รูปอาคารที่ประเมิน รูปวัสดุต่างๆ เช่น ผนัง หลังคา ที่ผู้ใช้เลือกเป็นวัสดุในการออกแบบ
2. ระบุแนวทางการปรับปรุงการออกแบบอาคาร	2. ความชัดเจนของตัวหนังสือจากเซลล์อัตโนมัติที่เชื่อมข้อมูลจากฐานข้อมูล จะแสดงตัวหนังสือเล็กเกินไป
3. วิเคราะห์ผลลัพธ์ให้สามารถนำไปใช้งานได้เลย	3. การเพิ่มเติมวัสดุในฐานข้อมูลต้องมีการปรับปรุงเรื่องวัสดุที่เกิดขึ้นใหม่ในท้องตลาดอยู่ตลอดเวลา
4. มีผลลัพธ์ด้านสิ่งแวดล้อม (Embodied Energy)	
5. ลดขั้นตอนในการคำนวณลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรมที่มีใช้ในปัจจุบัน	
6. กระบวนการทำงานของผู้ใช้โปรแกรมไม่ยุ่งยาก	
7. โปรแกรมใช้งานง่าย	
8. เพิ่มการเรียนรู้การออกแบบอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน เช่นจากการเลือกวัสดุจากโปรแกรม	

ตารางที่ 4-23 สรุปแนวทางการปรับปรุงโปรแกรมจากความเห็นผู้ทดสอบ

การปรับปรุง	รายละเอียด
ขั้นตอนการกรอกข้อมูล	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มการอธิบายสำหรับการทำงานโปรแกรมหน้าแรก 2. เพิ่มคำอธิบายขั้นตอนในการกรอกข้อมูล 3. การเพิ่มรูปภาพประกอบแสดงอาคาร และวัสดุประกอบอาคาร 4. การเพิ่มข้อมูลด้านวัสดุใหม่ๆที่เกิดขึ้นในท้องตลาด 5. ระบุขอบเขตรูปแบบอาคารที่ใช้ได้ในโปรแกรม เช่น ประเมินอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศเท่านั้น
ขั้นตอนการประมวลผล	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มคำอธิบายในตัวแปรต่างๆของผลลัพธ์ หรือคู่มือเพื่ออธิบายตัวแปรต่างๆถึงการทำงานและข้อมูลจำเพาะของตัวแปรนั้น 2. แบ่งหน้าผลลัพธ์ออกมาเพื่อความชัดเจนของการใช้งาน เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการใช้ข้อมูล

4. ข้อเสนอแนะอื่นๆ

ทำให้ผู้ที่ไม่ได้มีประสบการณ์ด้านการอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบสามารถใช้งานได้ และเรียนรู้ตัวแปรด้านวัสดุ การออกแบบจากโปรแกรม จากค่าเกณฑ์ตัวแปรในการปรับปรุงอาคาร ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่า ทำให้สามารถมองภาพของการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานเป็นเรื่องที่น่าสนใจและไม่ยากอย่างที่เคียดคิด ส่วนผู้ที่มีประสบการณ์ในการใช้โปรแกรมอื่นๆที่มีอยู่ในปัจจุบัน ให้ความเห็นว่าเป็นโปรแกรมที่ง่าย และใช้งานได้รวดเร็ว ดังนั้นจะพบว่าเป็นการยากที่สถาปนิก วิศวกรที่ไม่ได้มีประสบการณ์ด้านการออกแบบอนุรักษ์พลังงานจะมีโอกาสใช้โปรแกรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้การพัฒนาด้านความเข้าใจเรื่องการออกแบบด้านอนุรักษ์พลังงานอยู่ในวงแคบไม่เกิดการแพร่หลายต่อการออกแบบอาคารในประเทศไทย แม้แต่ผู้ที่เป็นสถาปนิก วิศวกร หรือผู้ที่เข้าใจด้านการออกแบบด้านอนุรักษ์พลังงาน การใช้โปรแกรมในการคำนวณประสิทธิภาพอาคารยังเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากความซับซ้อนและขั้นตอนที่มากในการใช้งาน จากผลการทดสอบนำมาพัฒนาเป็นแนวทางในการปรับปรุงโปรแกรมให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และรวบรวมข้อมูลที่เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยที่ต้องการพัฒนาต่อไป

ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าดัชนีของตัวแปรต่าง ๆ นั้น เป็นเกณฑ์ในการกำหนดประสิทธิภาพของการออกแบบอาคารโดยรวม โดยแบบประเมินอาคารนี้จะมีหน้าที่ในการเป็นเครื่องมือสำหรับสถาปนิก วิศวกร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ในการออกแบบอาคารได้ดังนี้

- เป็นตัวชี้วัดระดับเกณฑ์คะแนนของอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
- เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของตัวแปรต่างๆในการออกแบบ
- เป็นตัวชี้วัดในการใช้พลังงานในอาคารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

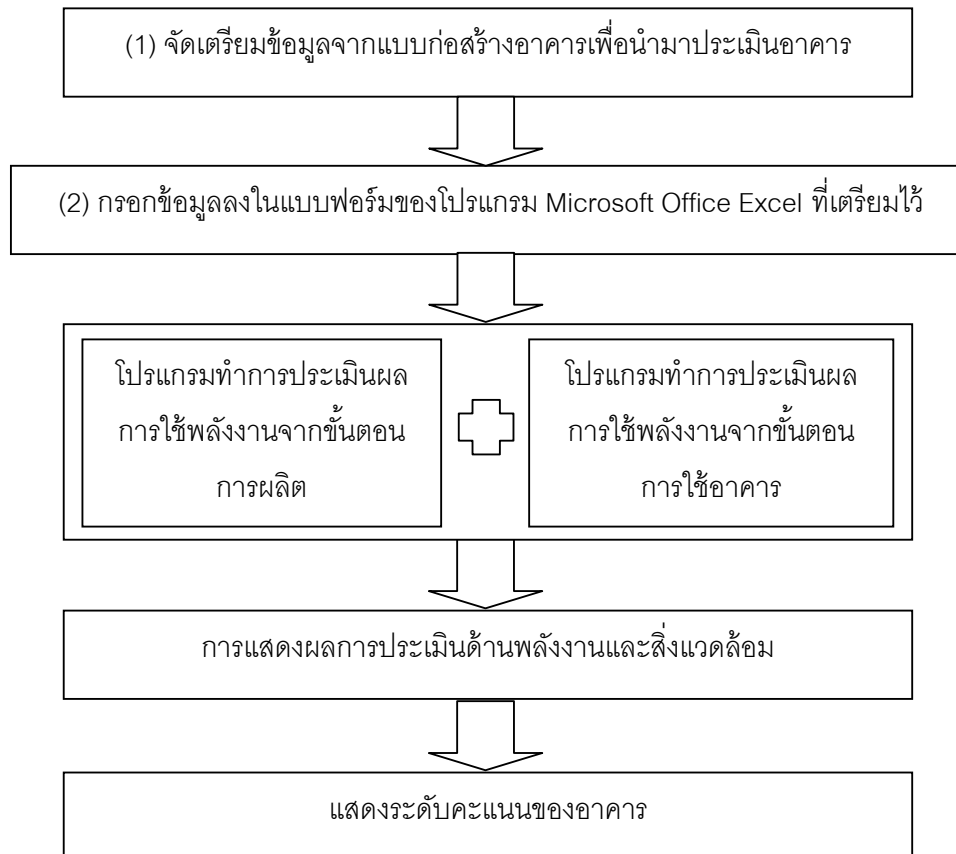
ผู้ใช้โปรแกรมสามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารที่ออกแบบ ว่าอยู่ในเกณฑ์ใดในระดับเกณฑ์ของการประเมินอาคารที่โปรแกรมระบุไว้ พร้อมแสดงผลลัพธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมในการประเมินอาคารสามารถสร้างทางเลือกในการตัดสินใจจะปรับปรุงตัวแปรใด เพื่อให้อาคารที่ออกแบบมีประสิทธิภาพด้านการอนุรักษ์พลังงานเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีของตัวแปรต่างๆ นำมาสร้างแบบประเมินอาคารด้านอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมโดยการใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินอาคารด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานและประมวลผล นับเป็นเครื่องมืออย่างง่ายที่ช่วยในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอาคารในการออกแบบเชิงพลังงานและสิ่งแวดล้อม การประมวลผลผลลัพธ์จะแสดงระดับเกณฑ์คะแนนของการประเมินอาคารว่าได้ระดับคะแนนใด โดยวิเคราะห์ข้อมูลของอาคารที่ทำการทดสอบ พร้อมแสดงผลลัพธ์เป็นแผนภูมิต่างๆและแสดงคุณสมบัติเกณฑ์ประสิทธิภาพของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบว่าอยู่ในเกณฑ์ดีหรือต้องปรับปรุงตัวแปรใดบ้าง ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเข้าใจความหมายของผลลัพธ์ได้ และสามารถนำผลจากการประมวลผลของโปรแกรมไปใช้งานได้จริง

5.1 ขั้นตอนการทำงานของแบบประเมิน



ภาพที่ 5-1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเพื่อประเมินผลอาคาร

จากภาพที่ 5-1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประเมินอาคารด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel เพื่อการประมวลผลอาคารว่าอยู่ระดับคะแนนเท่าไรและได้เกณฑ์ใดในการประเมินอาคาร เพื่อแสดงประสิทธิภาพของอาคารที่ออกแบบว่าเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานหรือไม่ และอยู่ระดับใดในเกณฑ์การประเมินอาคาร จากขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมพบว่าผู้ใช้โปรแกรมจะมีส่วนในการทำงานของโปรแกรมในส่วนของ 1 และ 2 เท่านั้น โดยส่วนที่ 1 จะเป็นเรื่องรายละเอียดอาคารและการถอดแบบเรื่องปริมาณพื้นที่ของอาคาร ส่วนที่ 2 เป็นการกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมการประเมินอาคาร จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณพร้อมประมวลผล แปลงข้อมูลต่างๆ ออกเป็นผลลัพธ์ให้ผู้ประเมินได้รับทราบในรูปแบบของแผนภูมิต่างๆ

5.2 สรุปการทดสอบและการปรับปรุงโปรแกรม

การสร้างโปรแกรมการประเมินบ้านรัชนีเวศ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ในการประเมินประสิทธิภาพอาคารในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม พบว่าโปรแกรมมีความสะดวกสำหรับผู้เขียนโปรแกรมในการเขียนสมการต่างๆ จากสูตรการคำนวณตัวแปรหลายๆสูตรลงไปโปรแกรม เพื่อสร้างความสัมพันธ์กันของสมการต่างๆในการคำนวณและประมวลผลเป็นผลลัพธ์ได้ในขั้นตอนการเขียนโปรแกรม ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้โปรแกรมนี้กับบ้านตัวอย่างทั้งหมด 16 หลัง ตามรายละเอียดในบทที่ 3 โดยใช้การคำนวณในวิธีการปกติคำนวณตัวแปรทีละตัวแปรเพื่อหาผลลัพธ์ตามสูตรการคำนวณทีละตัวแปรเพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรม เพื่อหาข้อผิดพลาดจากข้อมูลที่ได้ โดยมีการแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรม เช่นการใส่สูตรที่ผิดพลาด การไม่ได้ล๊อคป้องกันเซลล์ข้อมูลที่สำคัญในการคำนวณ ทำให้เกิดการผิดพลาดเมื่อมีข้อมูลที่ไม่พึงประสงค์กรอกเข้าไปในเซลล์ข้อมูลนั้น อาจทำให้เกิดความผิดพลาดของการคำนวณของโปรแกรม อีกปัญหาที่สำคัญคือ เมื่อมีการเชื่อมต่อของสมการหลายๆสมการพร้อมกัน และมีการแสดงผลเป็นแผนภูมิจำนวนมาก โปรแกรมจะประมวลผลช้า หรือหยุดการทำงาน การแก้ไขทำได้โดยการลดขนาดภาพลง หรือจัดข้อมูลใหม่ให้มีการเชื่อมข้อมูลที่ลดลงโดยการจัดเรียงข้อมูลที่ใช้เชื่อมต่อไว้ต่างหากเพื่อเป็นฐานข้อมูลปกติที่ไม่มีการใส่สูตรการคำนวณ จะไม่รวมกับข้อมูลที่มีการเชื่อมโยงสมการขั้นสูง จะทำให้การประมวลผลดีขึ้น

ข้อดีของโปรแกรม Microsoft Office Excel

- โปรแกรม Microsoft Office Excel ใช้งานง่าย ไม่ต้องใช้ความรู้การเขียนภาษาคอมพิวเตอร์ โปรแกรม Microsoft Office Excel ไม่ต้องใช้ทรัพยากรด้านสารสนเทศขั้นสูง(คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง)

- โปรแกรม Microsoft Office Excel มีฐานข้อมูลสูตรต่างๆอยู่มากเช่น สถิติ สูตร เชื่อมโยงข้อมูล ทำให้เหมาะแก่การวิจัยและสามารถนำมาใช้ในการสร้างโปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- โปรแกรม Microsoft Office Excel สามารถแสดงผลลัพธ์เป็นแผนภูมิภาพได้
- โปรแกรม Microsoft Office Excel สามารถเตือนข้อผิดพลาดเมื่อมีการใส่สมการในการประมวลผลผิด
- โปรแกรม Microsoft Office Excel สามารถค้นหาข้อผิดพลาดได้ง่ายจากการตรวจสอบกับเชื่อมโยงของสูตร
- โปรแกรม Microsoft Office Excel เป็นโปรแกรมพื้นฐานที่แพร่หลายที่ผู้ใช้งานส่วนใหญ่สามารถใช้งานได้

ข้อจำกัดของโปรแกรม Microsoft Excel

- การแสดงผลโปรแกรม Microsoft Office Excel ที่ได้เกิดจากการกรอกข้อมูลและแสดงผลลัพธ์เป็นตารางและแผนภูมิต่างๆได้ จะไม่มีการแสดงรูปภาพแบบ 3 มิติ อย่างเช่นโปรแกรมการออกแบบอาคารอื่นๆได้
- โปรแกรม Microsoft Office Excel ที่ใช้ในการทำโปรแกรมไม่สามารถบันทึกข้อมูลในเวอร์ชัน (รุ่นของโปรแกรม) ที่ต่ำกว่าได้ การบันทึกในเวอร์ชันที่ต่ำกว่าจะทำให้ข้อมูลเสียหาย และไม่สามารถดึงข้อมูลกลับมาได้ เนื่องจากโปรแกรมที่มีเวอร์ชันที่ต่างกันสูตรการคำนวณจะไม่รองรับการปฏิบัติการของโปรแกรมที่เวอร์ชันที่ต่ำกว่า
- โปรแกรม Microsoft Office Excel หน้าแบบฟอร์มการแสดงผลไม่สวยงาม

สรุปการแก้ไขจากการทดสอบโปรแกรมกับผู้ใช้งานจริง

จากการทดสอบจากผู้ใช้งานจริง ทำให้ทราบถึงความเหมาะสมของการใช้งานจริงว่าผู้ใช้งานมีความต้องการอย่างไร จากบทวิเคราะห์แบบสอบถามได้สรุปข้อควรปรับปรุงของโปรแกรมการประเมินอาคารในเรื่องการอธิบายรายละเอียดการใช้งาน และขั้นตอนการทำงานเพิ่มเติม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การเพิ่มหน้าสรุปแสดงระดับเกณฑ์คะแนนประสิทธิภาพที่อาคารได้รับ
- การเพิ่มส่วนอธิบายการใช้โปรแกรมในการประเมินอาคาร

- การแยกส่วนกรอกข้อมูลเป็นหน้าแบบฟอร์มชัดเจนของแต่ละตัวแปร พร้อมคำอธิบายเพิ่มในส่วนที่ต้องให้กรอกข้อมูล

การแก้ไขหน้าแบบฟอร์มเพื่อความชัดเจนในการใช้งานสามารถแยกหน้าแบบฟอร์มของโปรแกรมที่เป็นส่วนกรอกข้อมูล ละส่วนผลลัพธ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยก่อนการเริ่มโปรแกรมผู้ใช้โปรแกรมสามารถอ่านข้อแนะนำการใช้โปรแกรมก่อนการทำงาน จะเพิ่มความเข้าใจกระบวนการทำงานและขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การเตรียมข้อมูล การกรอกข้อมูล และการแสดงผล เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานเพิ่มขึ้น โดยได้มีการปรับปรุงหน้าแบบฟอร์ม ขนาดตัวหนังสือ และแยกแต่ละหน้าแบบฟอร์มที่ใช้ในการกรอกข้อมูลออกมาชัดเจน แยกตามหัวข้อเรื่องของตัวแปรต่างๆ เพื่อสามารถกรอกข้อมูลได้ง่าย ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมไม่สับสนกับการใช้งาน และสามารถย้อนกลับมาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต่างๆ ได้ง่าย สามารถสั่งพิมพ์ผลลัพธ์แผนภูมิต่างๆ ได้ทันที พร้อมใบสรุประดับเกณฑ์คะแนนที่อาคารได้รับ เพื่อสามารถนำไปใช้งานหรือประกอบการออกแบบได้ทันที

5.3 การสร้างค่าตัวเลือกอัตโนมัติ (Default)

แบบประเมินอาคารบ้านเรือนนิเวศ เป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างค่าดัชนีการประเมินอาคารสำหรับภูมิภาคอื่น เพื่อทำให้เกิดภาพรวมในการประเมินอาคารทั้งด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมให้ครอบคลุมเช่นเดียวกับแบบประเมินประเทศต่างๆ ที่ได้ศึกษา สำหรับเป็นต้นแบบแนวคิดในการสร้างเกณฑ์ระดับคะแนนของการออกแบบอนุรักษ์เชิงสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยแต่ละประเทศจะมีรายละเอียดในการประเมินในแต่ละหัวข้อแตกต่างกัน และมีเกณฑ์ในการให้คะแนนแตกต่างกันออกไปในหัวข้อเดียวกัน โดยสามารถสรุปหัวข้อที่เป็นมาตรฐานของประเทศต่างๆ ที่ใช้เป็นเกณฑ์การให้คะแนนได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- การจัดการ (Management)
- มลภาวะ (Pollution)
- ที่ตั้งโครงการ (Site)
- การขนส่ง (Transportation)
- น้ำ (Water)
- คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Environment Quality)
- วัสดุ (Materials)
- การใช้พลังงาน (Energy)

จากรายละเอียดหัวข้อต่างๆ ที่เป็นเกณฑ์ในการประเมินอาคารนั้น ทำการวิเคราะห์หัวข้อต่างๆ เหล่านี้ผู้ที่มาของปัญหาของการออกแบบการประเมินอาคาร พบว่าปัญหาทางด้านการใช้พลังงาน และมลภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นกรอบความคิดของการวิจัย โดยได้ทำการจัดกลุ่มตัวแปรให้เป็นหมวดหมู่ใหม่เพื่อการวิเคราะห์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยรวมหัวข้อที่มีความสัมพันธ์กันไว้ด้วยกัน หรือที่มีผลกระทบที่คล้ายกันจัดไว้ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อสามารถมองภาพของการประเมินอาคารได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรออกเป็น 4 กลุ่มคือ การจัดการสิ่งแวดล้อม การขนส่ง การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการใช้พลังงานในอาคาร และนำหัวข้อย่อยของตัวแปรต่างๆ ที่เป็นเกณฑ์ในการประเมินอาคารนั้นลงตามตารางของกลุ่มตัวแปรหลักที่เป็นประเภทเดียวกัน จะสามารถกำหนดหัวข้อย่อยเพื่อเป็นเกณฑ์ในการประเมินอาคารได้ดังแผนภูมิที่ 5-1 โดยรายละเอียดต่างๆ จะแสดงในหัวข้อ 5.3.1

การจัดการสิ่งแวดล้อม	การจัดการพลังงาน	การลดการใช้พลังงานจากค่าเฉลี่ยของประเทศ
การขนส่ง	การขนส่ง	มาตรฐานพลังงานในการขนส่ง 2.7 MJ/Ton.km
การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม(ขยะ) การอนุรักษ์น้ำ	มาตรฐานปริมาณขยะกิโลกรัมต่อคนต่อวัน
		มาตรฐานการใช้น้ำลิตรต่อคนต่อวัน
การใช้พลังงานในอาคาร	การใช้พลังงานทดแทน การใช้พลังงานในอาคาร	สัดส่วนของการใช้พลังงานทดแทนของประเทศ
		การใช้พลังงานจากการประเมินอาคาร

Score

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

แผนภูมิที่ 5-1 แสดงเกณฑ์ต่างๆที่ใช้ในการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

5.3.1 ขั้นตอนการกำหนดคะแนนในแต่ละหัวข้อ

การกำหนดคะแนนในแต่ละหัวข้อ ได้นำข้อมูลพื้นฐานของประเทศจากแหล่งข้อมูลต่างๆ หรือข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) คือ ข้อมูลต่างๆ ที่มีผู้เก็บหรือรวบรวมไว้ก่อนในเรื่องต่างๆ ตามตัวแปรที่ตั้งเป็นเกณฑ์ไว้ เพื่อนำมาวิเคราะห์และแบ่งน้ำหนักคะแนนให้เหมาะสมกับข้อมูลพื้นฐานของประเทศไทย โดยขั้นตอนแรกจะทำการแบ่งค่าน้ำหนักของคะแนนกลุ่มตัวแปร 4 กลุ่ม

เพื่อเป็นค่านำหนักของเกณฑ์ในแต่ละหัวข้อ โดยนำหนักของเกณฑ์จะแปรผันโดยตรงกับข้อมูลพื้นฐานของการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทย (Bangkok Metropolitan Administration, 2007) เพราะเป็นผลกระทบที่เกิดโดยตรงจากอาคาร โดยสามารถแบ่งค่านำหนักที่เป็นคะแนนของการประเมินได้ดังนี้

ตารางที่ 5-1 แสดงเกณฑ์คะแนนของหัวข้อในการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมจากสถิติของประเทศไทย พ.ศ. 2550

เกณฑ์ในการประเมินอาคาร	คะแนน
การจัดการสิ่งแวดล้อม	11
การขนส่ง	37
การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	19
การใช้พลังงานในอาคาร	33

การสร้างค่านำหนักรวมในตัวแปร 4 กลุ่มก่อน ที่จะลงในหัวข้อย่อยทำให้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูล หรือการเพิ่มเติมหัวข้อย่อยในเกณฑ์การประเมินในอนาคต จะสามารถนำค่านำหนักนี้มาเป็นฐานข้อมูลในการแจกแจงหรือปรับเปลี่ยนค่านำหนักของเกณฑ์ในอนาคตได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จะเสนอหัวข้อย่อยที่จะใช้ในการประเมินอาคารจากการเลือกตัวแปรที่สอดคล้องกับกลุ่มตัวแปรหลัก เพื่อเป็นแนวคิดต้นแบบสำหรับเป็นเกณฑ์ในการประเมินอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้ โดยแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

การจัดการสิ่งแวดล้อม

ประเมินจากการวางแผนการจัดการอาคาร จะอ้างอิงจากแผนอนุรักษ์พลังงานระยะที่ 3 พ.ศ. 2548-2549 เพื่อการลดการใช้พลังงานที่ไม่เกิดประโยชน์ (กระทรวงพลังงาน, 2549) โดยการร่างข้อกำหนดในการวัดผล และการสร้างแผนงานในการปรับปรุงดูแลอาคารตลอดอายุอาคาร จะแบ่งระดับคะแนนตามแผนงานการจัดการอาคารในช่วงต่างๆของอายุอาคารดังนี้

- มีแผนงานการจัดการในช่วงการออกแบบ
- มีแผนงานการจัดการในช่วงการก่อสร้าง
- มีแผนงานการจัดการในช่วงการใช้งานอาคาร
- มีแผนงานในการเลือกวัสดุหรือวิธีการก่อสร้างที่ลดขยะในขั้นตอนการทำลาย

การขนส่ง

การขนส่งคำนวณจากการใช้รถขนส่งโดยอ้างอิงการใช้น้ำมันดีเซล (Kofoworola, 2008) โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการสร้างมาตรฐานด้านการขนส่งคิดจากการใช้งานรถยนต์เพื่อการขนส่งสำหรับอาคาร โดยคิดที่รัศมีจากศูนย์กลางกรุงเทพฯ 50 กิโลเมตร โดยค่าพลังงานจากการขนส่งมีค่าเท่ากับ 2.7 MJ/Ton.km

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมีการแบ่งหัวข้อย่อยออกเป็น 2 หัวข้อ คือปริมาณขยะและการใช้น้ำ โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมจากศูนย์สารสนเทศสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการวัดค่าตัวแปรย่อยโดยแสดงรายละเอียดดังนี้

อัตราการผลิตขยะมูลฝอย

- อัตราการผลิตขยะมูลฝอยน้อยกว่า 0.9 กิโลกรัมต่อคนต่อวันอยู่ในเกณฑ์ระดับดี
- อัตราการผลิตขยะมูลฝอยอยู่ระหว่าง 0.9-1.1 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน อยู่ในเกณฑ์ ระดับมาตรฐาน
- อัตราการผลิตขยะมูลฝอยมากกว่า 1.1 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน อยู่ในเกณฑ์ ระดับสูงกว่าปกติ

การใช้น้ำ

- อัตราการใช้น้ำน้อยกว่า 180 ลิตรต่อคนต่อวัน อยู่ในเกณฑ์ ระดับดี
- อัตราการใช้น้ำอยู่ระหว่าง 180 – 200 ลิตรต่อคนต่อวัน อยู่ในเกณฑ์ ระดับมาตรฐาน
- อัตราการใช้น้ำมากกว่า 200 ลิตรต่อคนต่อวัน อยู่ในเกณฑ์ ระดับสูงกว่าปกติ

การใช้พลังงานในอาคาร

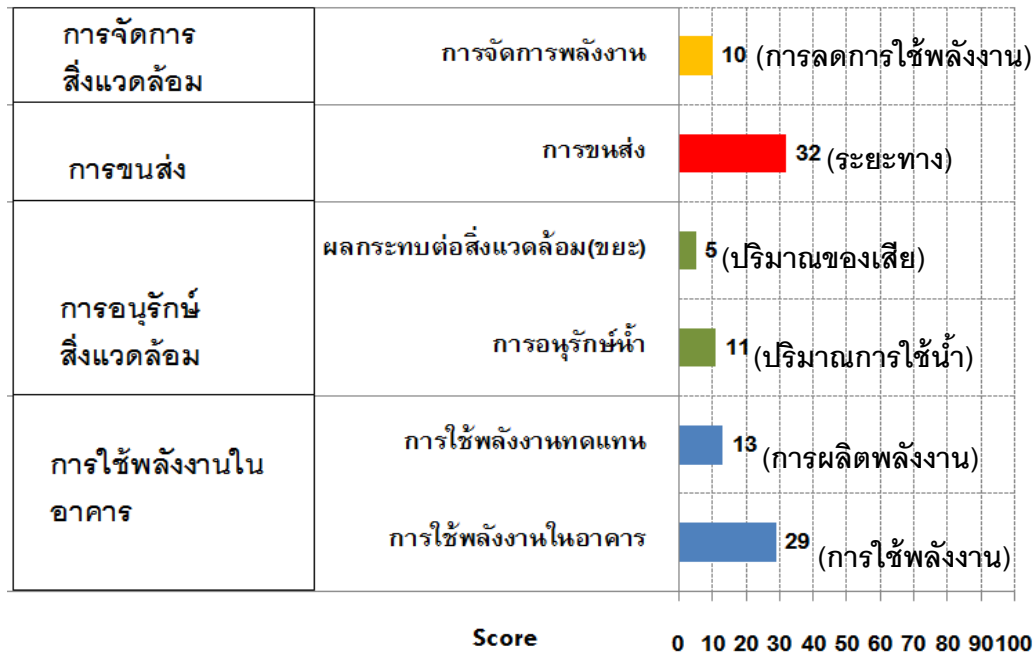
การใช้พลังงานในอาคารมีการแบ่งหัวข้อย่อยออกเป็น 2 หัวข้อ คือการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร และการใช้พลังงานทดแทน กำหนดเกณฑ์นำหนักของดัชนีด้านพลังงานทดแทนจากนโยบายและแผนพัฒนาประเทศ โดยศึกษาจากแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทน (กระทรวงพลังงาน, 2551: ออนไลน์) พบว่ามีการกำหนด

นโยบายไว้ว่าปี 2554 ต้องเพิ่มพลังงานทดแทน 15 % การกำหนดน้ำหนักของเกณฑ์มาตรฐานในการวัดค่าตัวแปรย่อยในกลุ่มตัวแปรนี้คือ

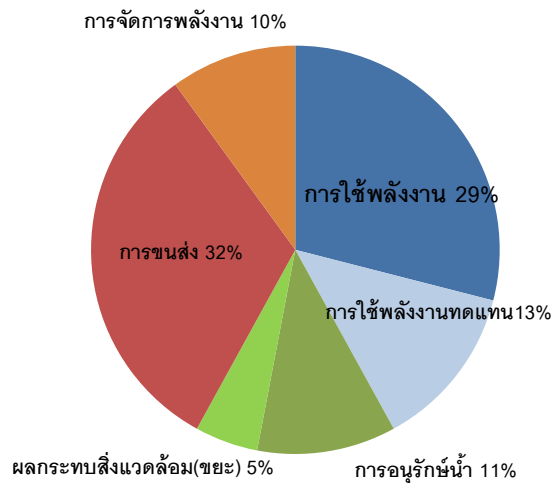
- ผลิตพลังงานทดแทนได้มากกว่าปริมาณที่ใช้พลังงาน
- ผลิตพลังงานทดแทนได้เท่ากับปริมาณที่ใช้พลังงาน
- ผลิตพลังงานทดแทนได้ 75% ของปริมาณที่ใช้พลังงาน
- ผลิตพลังงานทดแทนได้ 65% ของปริมาณที่ใช้พลังงาน
- ผลิตพลังงานทดแทนได้ 55% ของปริมาณที่ใช้พลังงาน
- ผลิตพลังงานทดแทนได้ 45% ของปริมาณที่ใช้พลังงาน
- ผลิตพลังงานทดแทนได้ 30% ของปริมาณที่ใช้พลังงาน
- ผลิตพลังงานทดแทนได้ 15% ของปริมาณที่ใช้พลังงาน

เมื่อได้ฐานข้อมูลตัวแปรต่างๆของประเทศครบแล้ว จัดทำแผนภูมิหลักแสดงการกระจายคะแนนของตัวแปร ในแต่ละหัวข้อ เพื่อเป็นภาพรวมของการให้ค่าน้ำหนักตัวแปรต่างๆ เพื่อเป็นต้นแบบของการสร้างแบบประเมินอาคารสำหรับภูมิภาคครั้งขึ้น ตามแผนภูมิที่ 5-2 โดยแบ่งเกณฑ์การประเมินอาคารได้ดังนี้

- การจัดการสิ่งแวดล้อม มี 10 คะแนน ว่าด้วยการจัดการอาคารในขั้นตอนต่างตลอดอายุอาคาร คือ ช่วงการออกแบบอาคาร ช่วงการก่อสร้างอาคาร ช่วงการใช้งานอาคาร และช่วงการทำลายอาคาร
- การขนส่ง มี 32 คะแนน ว่าด้วยการขนส่งที่นับระยะห่างจากศูนย์กลางกรุงเทพฯ 50 กิโลเมตร โดยการประเมินการใช้น้ำมันในการขนส่ง ตามระยะทางที่เกิดขึ้น
- การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม คะแนนรวม 16 คะแนนแบ่งออกเป็น ผลกระทบสิ่งแวดล้อม 5 คะแนน การอนุรักษ์น้ำ 10 คะแนน เป็นการตระหนักด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและ การสร้างของเสียแก่ชุมชน
- การใช้พลังงานในอาคาร คะแนนรวม 42 คะแนน แบ่งเป็นการใช้พลังงานในอาคาร 29 คะแนน การใช้พลังงานทดแทน 13 คะแนน โดยเกณฑ์จะกำหนดจากการผลิตพลังงานทดแทนเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร



แผนภูมิที่ 5-2 แสดงค่าน้ำหนักเกณฑ์ต่างๆในการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (จากสถิติประเทศไทย พ.ศ. 2550)



แผนภูมิที่ 5-3 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักเกณฑ์ต่างๆที่ใช้ในการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (จากสถิติประเทศไทย พ.ศ. 2550)

จากแผนภูมิที่ 5-2 และ แผนภูมิที่ 5-3 การวิจัยนี้จะศึกษาในหัวข้อการใช้พลังงานในอาคารเท่านั้นคือ 42% ประกอบไปด้วยค่าดัชนีดัชนี 7 ตัวแปร ได้แก่ Δt ดัชนี S/A ดัชนี $\sum U$ ดัชนี 1/COP ดัชนี Infiltration ดัชนี Lighting ดัชนี Appliance หัวข้ออื่นๆเรื่องการจัดการพลังงาน การขนส่ง และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เป็นการสร้างค่าต้นแบบแสดงน้ำหนักสำหรับการวิจัยในอนาคตต่อไป

เกณฑ์ระดับต่ำ ด้านบนจะเป็นเกณฑ์ระดับดี เป็นแนวทางในการสร้างแผนภูมิในการวิเคราะห์ ข้อมูลที่มีตัวแปรหลายตัวและมีหน่วยการวัดค่าต่างกัน โดยสามารถสร้างค่ามาตรฐานเดียวกัน เพื่อใช้สำหรับนำระดับเกณฑ์คะแนนของข้อมูลแต่ละตัวแปรมาแสดงในแผนภูมิผลลัพธ์เดียวกันได้ เพื่อผู้ใช้โปรแกรมจะสามารถนำการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆเหล่านี้ที่มีการกำหนดเกณฑ์คะแนนไว้ จะสามารถเข้าใจผลลัพธ์ของข้อมูลได้ว่า อาคารที่ทำการออกแบบนี้มีการคำนึงด้านต่างๆตามตัวแปรที่กำหนดไว้อยู่ระดับเกณฑ์ใด

ค่ามาตรฐานของตัวแปรต่างๆในการกำหนดในการสร้างแผนภูมิมีรายละเอียดดังนี้

การใช้พลังงาน	ค่ามาตรฐาน 227.50 kWh/m ² /yr
การใช้พลังงานทดแทน	ค่ามาตรฐาน 55% ของการใช้พลังงาน
การอนุรักษ์น้ำ	ค่ามาตรฐาน 200 ลิตรต่อคนต่อวัน
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ขยะ)	ค่ามาตรฐาน 1.10 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน
การขนส่ง	ค่ามาตรฐาน 50 กิโลเมตร
การจัดการสิ่งแวดล้อม	ค่ามาตรฐาน 5 มีแผนการจัดการในการ ทำงาน

การสร้างเกณฑ์การประเมินอาคารสำหรับภูมิภาคร้อนชื้นที่เหมาะสมกับประเทศไทยนี้ ทำการวิเคราะห์จากฐานข้อมูลประเทศไทย และสร้างค่าตัวเลือกอัตโนมัติ (Default) เพื่อเป็นเกณฑ์ ในการตั้งค่าในการประเมินต้นแบบไว้ เมื่อข้อมูลพื้นฐานของประเทศมีการปรับเปลี่ยนสามารถทำ การแก้ค่าตัวเลือกอัตโนมัติ (Default) นี้สามารถทำได้ เพื่อให้เหมาะสมกับเวลาและการ เปลี่ยนแปลงในอนาคต

5.4 การกรอกข้อมูล

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือมาตรฐานอย่างง่าย สถาปนิกและผู้ออกแบบ และบุคคลทั่วไป สามารถนำไปประเมินประสิทธิภาพการใช้งานในอาคาร ในการออกแบบเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบ ตลอดจนปรับปรุงอาคาร (เฉพาะกรณีอาคารปรับอากาศ) โปรแกรมที่ใช้ในการประเมินอาคารด้านอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบันมีความซับซ้อน สำหรับบุคคลทั่วไป และผู้ออกแบบที่ไม่ได้มีพื้นฐานเรื่องการประหยัดพลังงานมาก่อน การใช้โปรแกรม OTTV และ RTTV นั้นผู้ที่ประเมินต้องมีทักษะด้านคอมพิวเตอร์และเข้าใจคุณสมบัติของรูปแบบอาคาร การถอดแบบ คุณสมบัติของวัสดุ ของอาคารนั้น ทำให้การประเมินแบบมีการใช้งานไม่แพร่หลาย อีกทั้งมีตัวเลือกในด้านวัสดุที่ไม่หลากหลายแต่ในปัจจุบัน OTTV และ RTTV ยังมีการปรับปรุงให้ เกิดความสมบูรณ์ในการคำนวณค่าพลังงานของอาคารให้มากขึ้น แต่ก็ซับซ้อนมากขึ้นเช่นกัน

ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้เพื่อตรวจวัดค่าพลังงานในอาคารอย่างละเอียด หรือเพื่อใช้เป็นข้อมูลเพื่อรองรับการประเมินอาคารที่สามารถไปประกวดแบบบ้านประหยัดพลังงานหรือการติดฉลากพลังงานของอาคาร โดยจะต้องใช้ความรู้ และเวลาในการคำนวณอย่างมาก ทำการแก้ไขยาก และไม่สามารถทำให้ผู้ไม่มีความรู้เข้าใจในผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม ทำให้การประเมินอาคารเป็นไปได้ยากและล่าช้าต่อการทำงานจริง ในงานวิจัยนี้จัดทำโปรแกรมอย่างง่ายด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมพื้นฐานในการทำงานในปัจจุบัน ผู้ใช้งานเพียงกรอกข้อมูลพื้นฐานของอาคาร อาทิเช่น ขนาดพื้นที่ ความกว้าง ความยาว ความสูง ขนาดช่องเปิดต่างๆ จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณพลังงานที่อาคารใช้งาน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อสิ่งแวดลอมให้โดยอัตโนมัติ จะมีการแสดงค่าตัวแปรแต่ละตัวแปรจากผลของการคำนวณว่า อาคารหลังนี้ต้องมีการปรับปรุงตัวแปรใดบ้าง เพื่อเป็นทางเลือกแก่ผู้ใช้โปรแกรมสามารถตัดสินใจในการปรับปรุงการออกแบบ จึงมีความสะดวกต่อผู้ใช้งานทั่วไป สถาปนิกวิศวกร นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบเบื้องต้นได้

ขั้นตอนในการกรอกข้อมูลของโปรแกรม

ขั้นตอนในการกรอกข้อมูลของโปรแกรมการประเมินอาคาร จะอธิบายตามขั้นตอนการทำงานของผู้ใช้งานเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจในกระบวนการกรอกข้อมูลจนกระทั่งผลลัพธ์ของการประมวลผลประสิทธิภาพของอาคาร ได้อย่างชัดเจน อธิบายตามหัวข้อได้ดังนี้

1. หน้าแบบฟอร์มหน้าปก
2. หน้าแบบฟอร์มข้อแนะนำ แสดงรายละเอียดการกรอกข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน
3. หน้าแบบฟอร์มข้อมูลเบื้องต้น (Information) เป็นรายละเอียดของข้อมูลอาคาร
4. หน้าแบบฟอร์มข้อมูลอาคาร (Building) เป็นรายละเอียดของข้อมูลด้านพื้นที่อาคาร
5. หน้าแบบฟอร์มข้อมูลวัสดุ (Construction layer) เป็นรายละเอียดของข้อมูลด้านวัสดุ
6. หน้าแบบฟอร์มภาระการทำความร้อนจากภายในอาคาร (Internal Load)
7. หน้าแบบฟอร์มการเลือกประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ และสัดส่วนภูมิสถาปัตยกรรมกับพื้นที่แดดแข็ง (COP / ΔT)
8. หน้าแบบฟอร์มการเลือกวัสดุก่อสร้าง (Material List) ของส่วนประกอบอาคาร ผนัง หลังคา กระฉก พื้น เพื่อนำไปคำนวณในสูตร CLTD
9. หน้าแบบฟอร์มผลลัพธ์ของการคำนวณทั้งหมด (Result)

โดยสามารถแสดงรายละเอียดพร้อมภาพตัวอย่างของหน้าแบบฟอร์มในการใช้งานจริง เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการกรอกข้อมูลและขั้นตอนการใช้งานได้อย่างถูกต้อง

1. หน้าแบบฟอร์มหน้าปก เป็นหน้าสรุปแสดงรายละเอียดของอาคารและระดับเกณฑ์คะแนนที่อาคารนี้ได้ถูกประเมินประสิทธิภาพจากโปรแกรม

ชื่ออาคาร.....	
รูป	
ประเภทการใช้งานอาคาร	คะแนน
รูปแบบอาคาร	
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารทั้งหมด (ตร.ม.)	

Legend for Score (คะแนน):

- A+ (Dark Green)
- A (Light Green)
- B+ (Yellow)
- B (Light Blue)
- C+ (Dark Blue)
- C (Purple)
- D+ (Red)
- D (Dark Red)

ภาพที่ 5-2 แสดงปกตัวอย่างของการประเมินอาคาร

แบบฟอร์มหน้าปกแสดงตามภาพที่ 5-2 เป็นส่วนสรุปชื่ออาคาร รายละเอียดของอาคาร ระดับเกณฑ์คะแนนที่ได้จากการประเมินอาคารพร้อมรูปอาคารประกอบ

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูล ได้แก่ รูปภาพอาคาร ข้อมูลส่วนอื่นจะเชื่อมต่อกับหน้าแบบฟอร์มอื่นโดยอัตโนมัติไม่ต้องใส่ข้อมูลเพิ่มเติม

2. หน้าแบบฟอร์มข้อเสนอแนะ แสดงรายละเอียดการกรอกข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน

คำแนะนำก่อนการใช้โปรแกรม

โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมอย่างง่ายเป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยสถาปนิก วิศวกรผู้ออกแบบ และผู้ที่เกี่ยวข้อง ในการประเมินระดับประสิทธิภาพของอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ว่าจัดอยู่ในเกณฑ์ใด โดยเกณฑ์ในการให้คะแนนจะมีระดับคะแนนดังนี้

A+
A
B+
B
C+
C
D+
D

แนะนำการกรอกข้อมูล โปรแกรมจะทำหน้าที่ประมวลผลจากการที่ท่านใส่ข้อมูลในการออกแบบลงไปตามที่โปรแกรมกำหนดไว้ โดยที่ผู้ใช้โปรแกรมต้องกรอกข้อมูลคือตารางที่มีพื้นที่สีฟ้า ส่วนบริเวณที่เป็นพื้นที่สีส้มจะเป็นข้อมูลที่โปรแกรมให้ท่านเลือกที่ตรงกับการออกแบบอาคารของท่านโดยเมื่อท่าน กดเมาส์ลงบนกล่องข้อมูลสีส้มจะปรากฏกล่องลูกศรดังภาพเมื่อกดที่กล่องลูกศรท่านจะมีข้อมูลให้ท่านเลือก

ข้อมูล

โดยท่านต้องกรอกข้อมูลตามนี้

		หน้า	รายละเอียด
1	▼	Information	รายละเอียดของอาคาร จำนวนชั้น อายุอาคาร จำนวนผู้ใช้งาน เวลาในการใช้อาคาร
2	▼	Building	รายละเอียดพื้นที่อาคาร พื้นที่กรอบอาคารทั้งหมด โดยจะแยกกรอบอาคารต่างๆตามทิศทางการวางอาคาร
3	▼	Construction Layer	รายละเอียดของส่วนผนัง พื้น หลังคา ช่องเปิด โดยจะให้เลือกว่าวัสดุที่ใช้ในการออกแบบจากฐานข้อมูล
4	▼	Internal Load	รายละเอียดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร หลอดไฟฟ้า และประเภทของการรั่วซึมวัสดุ
5	▼	COP+Delta T	รายละเอียดของประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ และประเภทภูมิทัศน์ที่ออกแบบ
6	▼	Material list	เลือกชนิดของผนัง หลังคา และกระจกที่ออกแบบ
7	▼	Eco-Index	รายละเอียดของอาคาร ด้านพลังงานทดแทน ปริมาณขยะ การใช้น้ำ การขนส่ง และมาตรการในการจัดการอาคาร
End	Result		แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลได้แก่ ระดับเกณฑ์คะแนนที่อาคารได้รับ ปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร พร้อมแนวทางการปรับปรุงพลังงานสะสม เกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ภาพที่ 5-3 แสดงแบบฟอร์มข้อเสนอแนะของการกรอกข้อมูลของโปรแกรม

3. หน้าแบบฟอร์มข้อมูลเบื้องต้น (Information) เป็นรายละเอียดของข้อมูลอาคาร

แบบประเมิน Eco-House			
ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการประเมินอาคาร			
ชื่ออาคารหรือโครงการ	ชื่ออาคาร.....		
ที่ตั้งอาคารหรือโครงการ	จังหวัด.....		
ประเทศ	ประเทศไทย	จังหวัด	กรุงเทพฯ
Latitude	13.73°N	Longitude	100.50°E
Elevation	12m above sea level		
ประเภทการใช้งานอาคาร	อาคารพักอาศัย <input type="button" value="▼"/>		
รูปแบบอาคาร	อาคารสร้างใหม่ <input type="button" value="▼"/>		
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)			
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารทั้งหมด (ตร.ม.)			
จำนวนชั้นของอาคาร			
จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)			
เวลาการใช้งานของผู้ใช้อาคาร (ชั่วโมงต่อวัน)	8 ชั่วโมงต่อวัน	3000	
อายุของอาคาร			

ภาพที่ 5-4 แสดงแบบฟอร์มข้อมูลเบื้องต้นของการกรอกข้อมูลของโปรแกรม

จากภาพที่ 5-3 จะเป็นแบบฟอร์มขอแนะนำในการใช้งานโปรแกรม การกรอกข้อมูล โดยส่วนที่ผู้ใช้งานต้องกรอกข้อมูลในแบบฟอร์มทั้งหมดได้แก่ ช่องข้อมูลที่เป็นสีฟ้า และช่องข้อมูลที่เป็นสีส้ม โดยช่องข้อมูลสีส้มจะเป็นฐานข้อมูลจากโปรแกรมสามารถเลือกใช้ได้เลย จากนั้นจะอธิบายขั้นตอนการกรอกข้อมูลในหน้าแบบฟอร์มต่างๆว่ามีรายละเอียดเช่นไร จนถึงขั้นตอนสุดท้ายคือการดูผลลัพธ์ของการประมวลผลจากโปรแกรมในขั้นตอนสุดท้าย

จากภาพที่ 5-4 เป็นแบบฟอร์มข้อมูลเบื้องต้นของการกรอกข้อมูลของโปรแกรม แสดงรายละเอียดชื่อโครงการ ที่ตั้ง เป็นหน้าที่แสดงลักษณะทางกายภาพและการใช้งานโดยรวมของอาคาร

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูล ได้แก่ ชื่ออาคาร ที่ตั้ง ประเทศ พื้นที่ใช้สอยในอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร เวลาการใช้งานของผู้ใช้อาคาร อายุอาคาร

การคำนวณหาพื้นที่หลังคา

	พื้นที่หลังคา
หลังคา	

ภาพที่ 5-7 แสดงพื้นที่หลังคา

ภาพที่ 5-7 ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลในตารางได้แก่ ช่องสีฟ้า ข้อมูลที่ต้องการคือ พื้นที่หลังคา

การคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านต่างๆ

ผนังด้านทิศเหนือ						
ผนังทับ	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)	พื้นที่ผนังอาคารเมื่อ ตัดส่วนช่องเปิดออก (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1			0			0
ชั้นที่ 2			0			0
ชั้นที่ 3			0			0
ชั้นที่ 4			0			0
ชั้นที่ 5			0			0
WWR			0	0	0	0

ภาพที่ 5-8 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศเหนือ

ภาพที่ 5-8 ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลในตารางได้แก่ ช่องสีฟ้า ข้อมูลที่ต้องการจะเป็นส่วนอาคารด้านทิศเหนือ ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนผนังทับ จะให้กรอกข้อมูลเรื่อง ความสูง ความยาว ของพื้นที่ ส่วนผนังโปร่ง จะต้องกรอกข้อมูลพื้นที่ของส่วนที่เป็นผนังโปร่ง ส่วนพื้นที่ประตู จะต้องกรอกข้อมูลพื้นที่ของส่วนที่เป็นพื้นที่ประตู

ผนังด้านทิศใต้						
ผนังทับ	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)	พื้นที่ผนังอาคารเมื่อ ตัดส่วนช่องเปิดออก (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1			0			0
ชั้นที่ 2			0			0
ชั้นที่ 3			0			0
ชั้นที่ 4			0			0
ชั้นที่ 5			0			0
WWR			0	0	0	0

ภาพที่ 5-9 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศใต้

ภาพที่ 5-9 ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลในตารางได้แก่ ช่องสีฟ้า ข้อมูลที่ต้องการจะเป็นส่วนอาคารด้านทิศใต้ ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนผนังทึบ จะให้กรอกข้อมูลเรื่อง ความสูง ความยาว ของพื้นที่ ส่วนผนังโปร่ง จะต้องกรอกข้อมูลพื้นที่ของส่วนที่เป็นผนังโปร่ง ส่วนพื้นที่ประตู จะต้องกรอกข้อมูลพื้นที่ของส่วนที่เป็นพื้นที่ประตู

ผนังด้านทิศตะวันออก						
ผนังทึบ	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)	พื้นที่ผนังอาคารเมื่อ ตัดส่วนช่องเปิดออก (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1			0			0
ชั้นที่ 2			0			0
ชั้นที่ 3			0			0
ชั้นที่ 4			0			0
ชั้นที่ 5			0			0
WWR			0	0	0	0

ภาพที่ 5-10 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศตะวันออก

ภาพที่ 5-10 ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลในตารางได้แก่ ช่องสีฟ้า ข้อมูลที่ต้องการจะเป็นส่วนอาคารด้านทิศตะวันออก ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนผนังทึบ จะให้กรอกข้อมูล ความสูง ความยาว ของพื้นที่ ส่วนผนังโปร่ง จะต้องกรอกข้อมูลพื้นที่ของส่วนที่เป็นผนังโปร่ง ส่วนพื้นที่ประตู จะต้องกรอกข้อมูลพื้นที่ของส่วนที่เป็นพื้นที่ประตู

ผนังด้านทิศตะวันตก						
ผนังทึบ	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)	พื้นที่ผนังอาคารเมื่อ ตัดส่วนช่องเปิดออก (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1			0			0
ชั้นที่ 2			0			0
ชั้นที่ 3			0			0
ชั้นที่ 4			0			0
ชั้นที่ 5			0			0
WWR			0	0	0	0

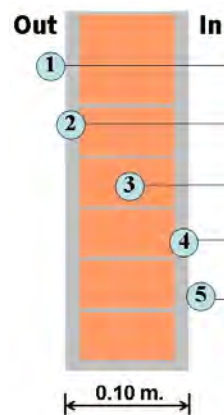
ภาพที่ 5-11 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศตะวันตก

ภาพที่ 5-11 ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลในตารางได้แก่ ช่องสี่ฟ้า ข้อมูลที่ต้องการจะเป็นส่วนอาคารด้านทิศตะวันออก ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนผนังทึบ จะให้กรอกข้อมูลเรื่อง ความสูง ความยาว ของพื้นที่ ส่วนผนังโปร่ง จะต้องกรอกข้อมูลพื้นที่ของส่วนที่เป็นผนังโปร่ง ส่วนพื้นที่ประตู จะต้องกรอกข้อมูลพื้นที่ของส่วนที่เป็นพื้นที่ประตู

5. หน้าแบบฟอร์มข้อมูลวัสดุ (Construction layer) เป็นรายละเอียดของข้อมูลด้านวัสดุ โปรแกรมจะสร้างฐานข้อมูลให้ผู้ใช้งานโปรแกรมเลือกส่วนประกอบชั้นของวัสดุขึ้นมาเป็นชั้นวัสดุ

ภายนอกอาคาร

ภายในอาคาร



ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุในส่วนต่างๆ

1. ค่าฟิล์มอากาศภายนอก
2. ค่าความต้านทานความร้อนของปูนฉาบ
3. ค่าความต้านทานความร้อนของอิฐ
4. ค่าความต้านทานความร้อนของปูนฉาบ
5. ค่าฟิล์มอากาศภายใน

ภาพที่ 5-12 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ

ส่วนประกอบของกรอบอาคารประกอบไปด้วย ผนัง พื้น หลังคา ช่องเปิด การคำนวณในการใช้โปรแกรมนี้ ต้องทำการเลือกวัสดุจากฐานข้อมูลวัสดุของโปรแกรม โดยวัสดุต่างๆ โปรแกรมได้จัดแยกข้อมูลออกเป็นแต่ละส่วนเหมือนภาพที่ 5-12 คือ การใส่ค่าวัสดุที่จะใช้ในการออกแบบอาคารที่จะออกแบบ ต้องมีการเลือกชั้นของวัสดุ จาก 1 คือ ฟิล์มอากาศภายนอก เรียงลำดับเข้ามาที่ 2 คือชั้นของวัสดุชั้นที่ 1 เข้ามาที่หมายเลข 3 คือชั้นที่ 2 ของเนื้อวัสดุ มาที่หมายเลข 4 คือชั้นที่ 3 ของเนื้อวัสดุ โดยจะต้องเลือกชั้นของวัสดุจนครบตามชนิดวัสดุที่เลือกไว้ จนชั้นสุดท้ายจะเป็นฟิล์มอากาศภายใน โดยจะใช้หลักการนี้ในการเลือกคุณสมบัติของวัสดุ ทั้งผนัง พื้น หลังคา และช่องเปิด จนครบ การสร้างฐานข้อมูลเช่นนี้เพื่อทำให้มีทางเลือกรูปแบบของวัสดุในการออกแบบได้หลากหลาย เมื่อทำการเลือกชั้นวัสดุแต่ละส่วนของกรอบอาคารแล้วเสร็จ โปรแกรมจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ค่าพลังงานสะสม ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอัตโนมัติเพื่อไปใช้ในการคำนวณต่อไป

ตารางการเลือกวัสดุผนังอาคาร						
ผนังอาคาร	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 kW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)					
2	ปูนฉาบ					
3	อิฐมวลเบาครึ่งแผ่น					
4	ปูนฉาบ					
5	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)					
6						
7						
8						
U-value			0	0	0	0

ภาพที่ 5-13 แสดงการเลือกวัสดุผนังอาคาร

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-13 ได้แก่ ช่องสี่เหลี่ยม เลือกวัสดุผนังจากฐานข้อมูลของโปรแกรม ทำการเลือกชั้นของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นวัสดุตามทีออกแบบ

ตารางการเลือกวัสดุพื้นอาคาร						
พื้นที่ 1	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 kW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก					
2	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 6 นิ้ว					
3	กระเบื้องคอนกรีต					
4	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง) กรณีติดพื้นดิน					
5						
6						
7						
8						
U-value				0	0	0

ภาพที่ 5-14 แสดงการเลือกวัสดุพื้น

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-14 ได้แก่ ช่องสี่เหลี่ยม เลือกวัสดุพื้นจากฐานข้อมูลของโปรแกรม ทำการเลือกชั้นของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นวัสดุตามทีออกแบบ

ตารางการเลือกวัสดุหลังคาอาคาร						
หลังคา	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก					
2	กระเบื้องซีเมนต์หนา หนา 5 มม.					
3	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.Non Reflective Air Space					
4	อีปซีมบอร์ด 12 มม.					
5	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง) Horizontal					
6						
7						
8						
U-value				0	0	0

ภาพที่ 5-15 แสดงการเลือกวัสดุหลังคา

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-15 ได้แก่ ช่องสีส้ม เลือกวัสดุหลังคา จากฐานข้อมูลของโปรแกรม ทำการเลือกชั้นของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นวัสดุตามทีออกแบบ

ตารางการเลือกวัสดุกระจก						
กระจก	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก					
2	กระจกใส หนา 6 มม.					
3	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)					
4						
5						
6						
SC		0.94				
U-value				0	0	0

ภาพที่ 5-16 แสดงการเลือกวัสดุกระจก

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-16 ได้แก่ ช่องสีส้ม เลือกวัสดุกระจกจากฐานข้อมูลของโปรแกรม ทำการเลือกชั้นของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นวัสดุตามทีออกแบบ

6. หน้าแบบฟอร์มภาระการทำความเย็นจากภายในอาคาร (Internal Load) เป็นรายละเอียดของข้อมูลการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยต้องกรอกข้อมูลการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในรูปแบบฟอร์มเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

แบบประเมิน Eco-House		ชื่ออาคาร.....				
ตารางแสดงความสิ้นเปลืองและค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ						
ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	ขนาด	จำนวน(วัตต์)	จำนวน (N)	การใช้งาน (Hour/Day)	จำนวนวัตต์ (Watt*N)	พลังงานที่ใช้ (Watt/Hour)
เครื่องปรับอากาศ	9000	920			0	0
	12000	1150			0	0
	24000	2990			0	0
	9000	680			0	0
ตู้เย็น	2.4 ลบ.ฟุต	65			0	0
	4.5-6.0 ลบ.ฟุต	88			0	0
	6.7-7.7 ลบ.ฟุต	117			0	0
	9.0-10.0 ลบ.ฟุต	165			0	0
	12 ลบ.ฟุต	165			0	0
พัดลม	12 นิ้ว	45			0	0
	16 นิ้ว	68			0	0
พัดลมติดเพดาน	48 นิ้ว	80			0	0
พัดลมติดเพดาน	56 นิ้ว	104			0	0
พัดลมดูดอากาศ	6 นิ้ว	30			0	0
	8 นิ้ว	43			0	0
โทรทัศน์	14 นิ้ว	50			0	0
	20 นิ้ว	63			0	0
	26 นิ้ว	95			0	0
วีดีโอ		30			0	0
วิทยุ		15			0	0
เครื่องเสียง		40			0	0

ภาพที่ 5-17 ตารางแสดงความสิ้นเปลืองและค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-17 ได้แก่ ช่องสีฟ้า คือจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าและชั่วโมงการใช้งานใน 1 วัน โดยเลือกเฉพาะอุปกรณ์ที่มีการใช้งาน จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณจำนวนวัตต์และพลังงานที่ใช้ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเพื่อนำไปคำนวณต่อไป

ตารางแสดงความสิ้นเปลืองและค่าพลังงานของหลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ						
ชนิดของหลอดไฟฟ้า	ขนาด	จำนวน(Watt)	จำนวนนำ (N)	การใช้งาน (Hour/Day)	จำนวนวัตต์ (Watt*N)	พลังงานที่ใช้ (Watt/Hour)
หลอดไส้		15			0	0
		40			0	0
		60			0	0
		100			0	0
หลอดฟลูออเรสเซนต์	10	20			0	0
	18	28			0	0
	20	30			0	0
	32	42			0	0
	36	46			0	0
	40	50			0	0
หลอดคอมแพค	9	13.5			0	0
	11	16			0	0
อื่นๆ					0	0

ภาพที่ 5-18 ตารางแสดงความสิ้นเปลืองและค่าพลังงานของหลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-18 ได้แก่ ช่องสีฟ้า คือจำนวนหลอดไฟฟ้า และชั่วโมงการใช้งานใน 1 วัน จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณจำนวนวัตต์และพลังงานที่ใช้ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเพื่อนำไปคำนวณต่อไป

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากการรั่วซึมอากาศ (Infiltration & Fresh Air)

	Volumn	ACH	
1 cfm	257.25	1 ACH	1
	13.83	watt/m ²	
		cfm	
2 fresh air	3	7	
Total	17.23	watt/m ²	


ภาพที่ 5-19 ตารางการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากการรั่วซึมอากาศ

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-19 ได้แก่ ช่องสีส้ม คือปริมาณการหมุนเวียนของอากาศ ACH โดยมีค่า ตั้งแต่ 0.3 -1 ACH ค่า fresh air คือการเติมอากาศ โดยมีช่วงข้อมูล ตั้งแต่ 5-50 cfm จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึม

7. หน้าแบบฟอร์มการเลือกประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ และสัดส่วนภูมิสถาปัตยกรรม กับพื้นที่ลาดแข็ง (COP / ΔT)

เลือกประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

Premium 1/COP 0.297 ◀ เลือกข้อมูลที่ตรงกับการออกแบบ



<1 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศต่ำมากที่สุด

- 1 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศต่ำมาก
- 2 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
- 3 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศปกติ
- 4 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศดี
- 5 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศดีมาก

Premium ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศดีเยี่ยม

ภาพที่ 5-20 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-20 ได้แก่ ช่องสี่เหลี่ยม คือระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศมีเกณฑ์ตามมาตรฐานฉลากเบอร์ 5 โดยมีเกณฑ์ให้เลือกตั้งแต่เบอร์ 1 ถึง Premium

เลือกปริมาณพื้นที่สีเขียวในการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรม

ไม่มีพื้นที่สีเขียว 16 ◀ เลือกข้อมูลที่ตรงกับการออกแบบ

ภาพที่ 5-21 แสดงสัดส่วนภูมิสถาปัตยกรรมกับพื้นที่ลาดแข็ง

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-21 ได้แก่ ช่องสี่เหลี่ยม คือปริมาณพื้นที่สีเขียวของบริเวณโดยรอบอาคาร โดยแสดงสัดส่วนภูมิสถาปัตยกรรมกับพื้นที่ลาดแข็ง (Hardscape) มีช่วงข้อมูลตั้งแต่ไม่มีพื้นที่สีเขียว มีพื้นที่สีเขียว 10% ของพื้นที่ลาดแข็ง จนถึง มีพื้นที่สีเขียว 90% ของพื้นที่ลาดแข็ง เมื่อทำการเลือกข้อมูลที่ตรงกับการออกแบบ โปรแกรมจะนำข้อมูลไปคำนวณต่อไป

8. หน้าแบบฟอร์มการเลือกวัสดุก่อสร้าง (Material List) ของส่วนประกอบอาคาร ผนัง หลังคา กระจก พื้น เพื่อนำไปคำนวณในสูตร CLTD

สรุปรายละเอียดวัสดุก่อสร้าง				
ลำดับ	รายการ	วัสดุ	กลุ่ม	ค่า K
1	ผนัง1	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ใส EPS หนา 3 นิ้ว	D	สี่อ่อน 0.65
2	หลังคา1	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.20 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.	11	สี่อ่อน 0.5
3	กระจก1	กระจกใสเขียว 28mm.	0.45	
4	พื้น1			

ภาพที่ 5-22 ตารางแสดงรายละเอียดวัสดุก่อสร้าง

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-22 ได้แก่ ช่องสี่เหลี่ยม คือประเภทวัสดุที่เลือกในการออกแบบในส่วนของผนัง หลังคา กระจก โดยเมื่อทำการเลือกวัสดุเสร็จสิ้น โปรแกรมจะนำข้อมูลส่วนนี้ไปคำนวณค่าการทำความเย็นจากสูตร CLTD รายเดือน ใน 1 ปี เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

แบบประเมิน Eco-House
ชื่ออาคาร.....

การใช้พลังงานในอาคาร
 การใช้พลังงาน
 พลังงานทดแทน

ผลิตได้ 15% ของการใช้พลังงาน		KWh/m ² / yr
0		KWh/m ² / yr

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
 การอนุรักษ์น้ำ
 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ขยะ)

เกณฑ์มาตรฐาน		200 ลิตรต่อคนต่อวัน
1.1		กิโลกรัมต่อคนต่อวัน

การขนส่ง
 เกณฑ์มาตรฐาน

50		กิโลเมตร
----	--	----------

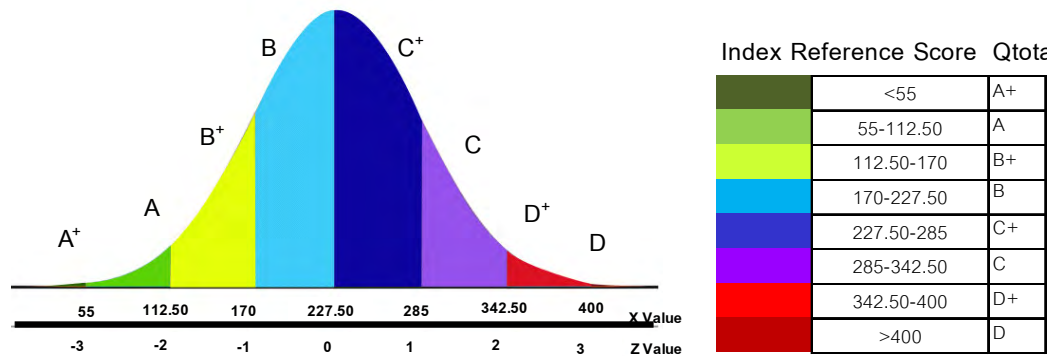
การจัดการเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
 ไม่มีทำตามกฎหมาย

8		
---	--	--

ภาพที่ 5-23 ตารางแสดงเกณฑ์การประเมินอาคารเชิงสิ่งแวดล้อม

ส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของตารางในภาพที่ 5-23 ได้แก่ ช่องสี่เหลี่ยม คือ การใช้พลังงานในอาคารจะต้องเลือกว่ามีการใช้พลังงานทดแทนในอาคารหรือไม่ หัวข้อการอนุรักษ์น้ำ เลือกค่ามาตรฐานว่ามีน้ำตามมาตรฐานหรือไม่ หัวข้อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เลือกว่าอาคารมีปริมาณขยะเกิน 1.1 กิโลกรัมต่อคนต่อวันหรือไม่ หัวข้อการขนส่ง เลือกระยะทางที่ใช้ในการขนส่งว่าอยู่ในเกณฑ์ใดในฐานข้อมูล หัวข้อการจัดการเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เป็นเกณฑ์เชิงนโยบาย เพื่อสร้างกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินงานและตรวจสอบอาคารในแต่ละช่วงชีวิตอาคาร

9. หน้าแบบฟอร์มผลลัพธ์ของการคำนวณทั้งหมด (Result)



ภาพที่ 5-24 รูปแสดงระดับคะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

เมื่อทำการกรอกข้อมูลครบถ้วนตามขั้นตอนการทำงานที่อธิบายมาแล้วขั้นต้น เมื่อเปิดหน้าฟอร์มการแสดงผลลัพธ์ จะพบกราฟต่างๆ ที่แสดงผลลัพธ์ในเรื่องประสิทธิภาพของอาคาร โดยการแสดงผลลัพธ์เป็นแผนภูมิต่างๆจะทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจและให้ความสนใจในข้อมูลมากกว่าผลลัพธ์เชิงตัวเลข

จากภาพที่ 5-24 เป็นเกณฑ์การให้คะแนนระดับประสิทธิภาพของอาคาร เกณฑ์ประสิทธิภาพของอาคารที่ได้จากการวิจัย เมื่อนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูลของโปรแกรมเพื่อเป็นบทสรุปของการประเมินผล จะได้ค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้น มีหน่วยเป็น kWh/m²/yr. โดยจะมีค่าเกณฑ์ในการให้คะแนนดังนี้คือ

ค่าการใช้พลังงานน้อยกว่า 55 ได้ A⁺

ค่าการใช้พลังงานค่าระหว่าง 55-112.50 ได้ A

ค่าการใช้พลังงานค่าระหว่าง 112.50-170 ได้ B⁺

ค่าการใช้พลังงานค่าระหว่าง 170-227.50 ได้ B

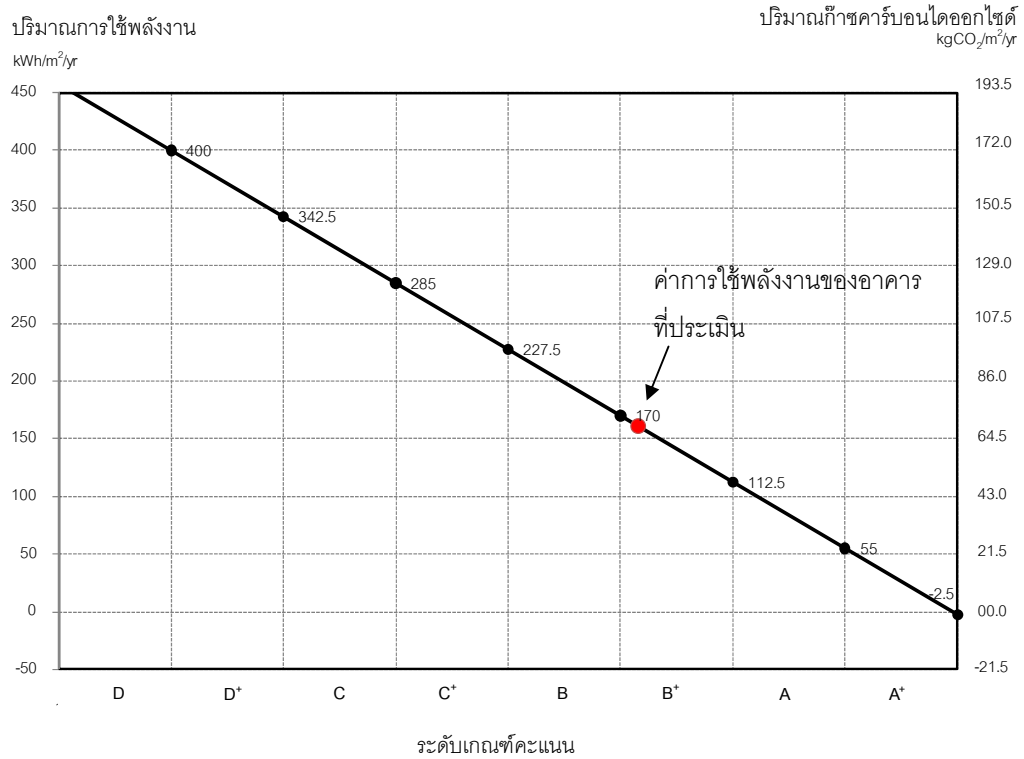
ค่าการใช้พลังงานค่าระหว่าง 227.50 -285ได้ C⁺

ค่าการใช้พลังงานค่าระหว่าง 285-342.50 ได้ C

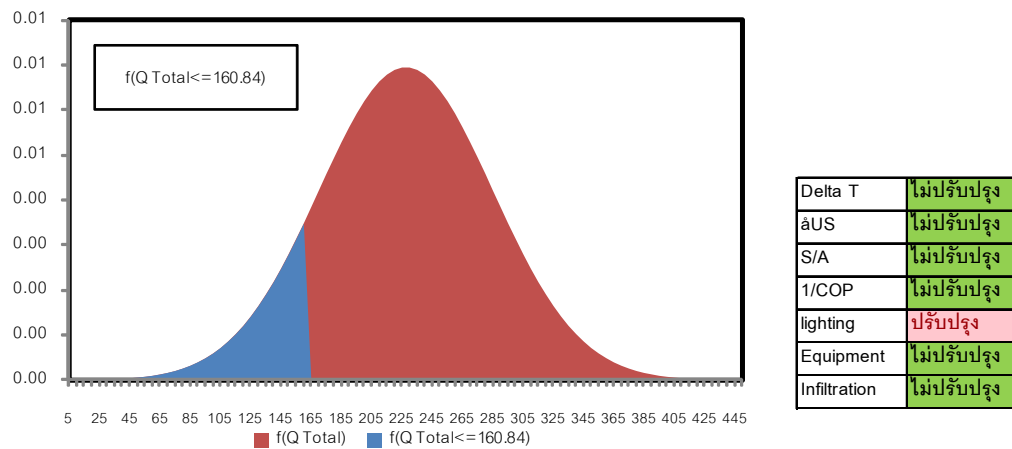
ค่าการใช้พลังงานค่าระหว่าง 342.50-400 ได้ D⁺

ค่าการใช้พลังงานมากกว่า 400 ได้ D

ชื่ออาคาร.....



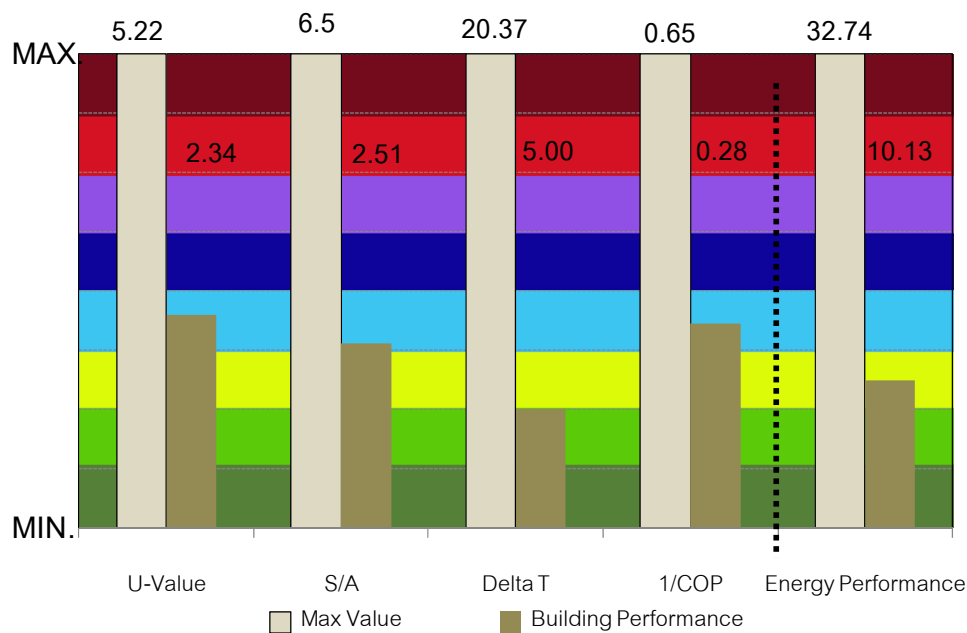
แผนภูมิที่ 5-5 แผนภูมิแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 5-25 ภาพแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และแนวทางการปรับปรุงตัวแปรเพื่อการออกแบบ

แผนภูมิที่ 5-5 และภาพที่ 5-25 จะแสดงผลร่วมกันคือ แผนภูมิที่ 5-5 แกน X จะแสดงเกณฑ์คะแนนซึ่งแบ่งค่าตามระดับประสิทธิภาพของอาคารมีค่า ดีสุด คือ A⁺ ค่าคะแนนต่ำสุด คือ D โดยแกน Y เป็นค่าการใช้พลังงานในอาคารมีหน่วยเป็น kWh/m²/yr เมื่อกรอกข้อมูลต่างๆ ครบถ้วนจะได้ค่าประสิทธิภาพของอาคารที่ประเมินออกมาโดยจะเกิดจุดสีแดงแสดงตำแหน่งของ

ผลลัพธ์ของค่าการใช้พลังงานของอาคาร จะทำให้ทราบระดับเกณฑ์คะแนนของอาคารได้ ส่วนภาพที่ 5-25 สามารถอ่านค่าผลลัพธ์ค่าการใช้พลังงานของอาคารได้ในกล่องข้อมูลเหนือรูปภาพด้านซ้าย และแนวพื้นที่สีฟ้าเป็นระดับเกณฑ์คะแนนของอาคารที่เกิดขึ้น โดยนำไปเทียบกับภาพที่ 5-24 จะทราบค่าประสิทธิภาพของอาคาร ส่วนกล่องข้อมูลด้านขวามือของภาพที่ 5-25 แสดงผลลัพธ์ว่าตัวแปรใดในการออกแบบต้องปรับปรุงหรือไม่ต้องปรับปรุง เป็นการวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพของการออกแบบอาคารด้านอนุรักษ์พลังงานให้กับผู้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจและแปลความหมายของบทสรุปได้ และสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

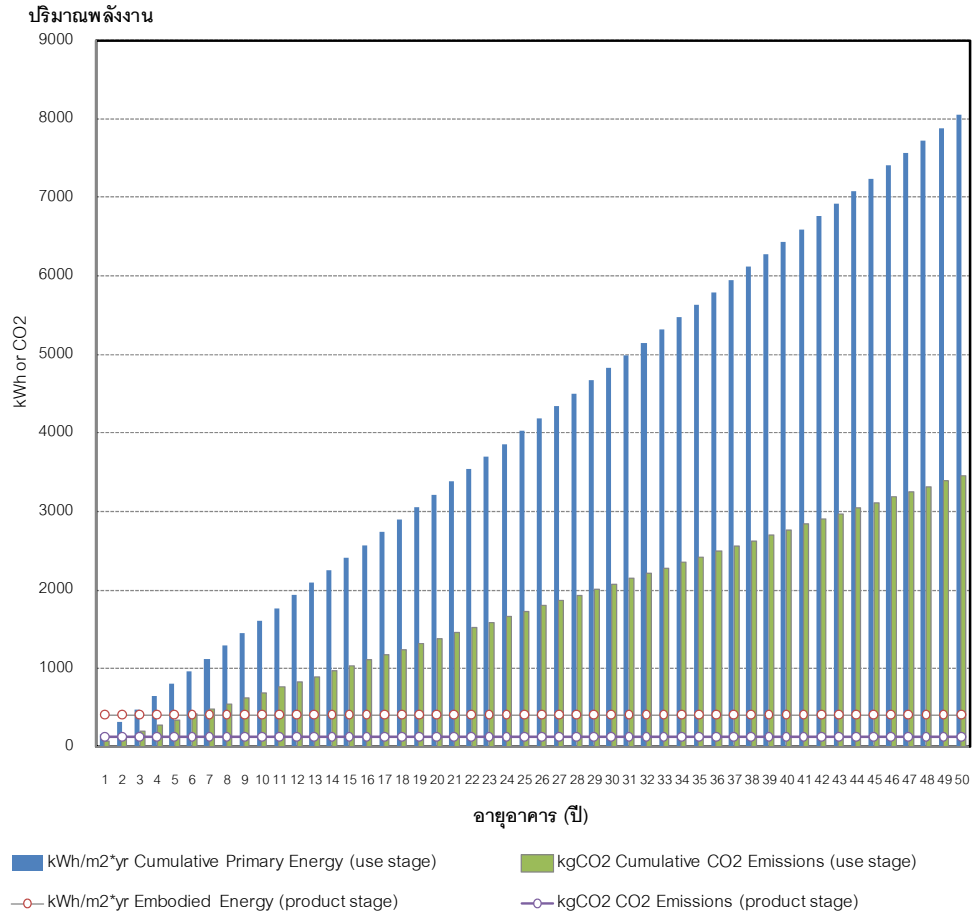


แผนภูมิที่ 5-6 แสดงการเปรียบเทียบระดับช่วงคะแนนสูงสุด กับค่าประสิทธิภาพของอาคารที่ทำการประเมิน

แผนภูมิที่ 5-6 แสดงการเปรียบเทียบช่วงระดับเกณฑ์ของตัวแปรต่างๆในเรื่องภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกรอบอาคาร ค่าด้านบนของแผนภูมิในตำแหน่ง MAX คือค่าสูงสุดของตัวแปรต่างๆ หมายถึงเป็นค่าตัวแปรที่มีประสิทธิภาพต่ำ เป็นค่าที่ไม่ดีไม่ควรใช้ในการออกแบบ ส่วนแท่งสีน้ำตาล จำลองการแสดงผลค่าประสิทธิภาพอาคารที่ประเมินโดยโปรแกรม สามารถอธิบายได้ดังนี้ ค่า U มีค่า เท่ากับ 2.34 ค่า S/A มีค่าเท่ากับ 2.51 ค่า ΔT มีค่าเท่ากับ 5 ค่า 1/COP มีค่าเท่ากับ 0.28 ค่าประสิทธิภาพอาคารเท่ากับ 10.13 ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถเปรียบเทียบเกณฑ์ของตัวแปรต่างๆ และสามารถเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของอาคารจากผลรวมค่าสูงสุดของตัวแปรทุกตัวในที่นี้เท่ากับ 32.74 ว่ามีความแตกต่างก็เท่ากับอาคารที่ออกแบบ

Cumulative primary energy requirement and CO2 emissions during the life span of the building:

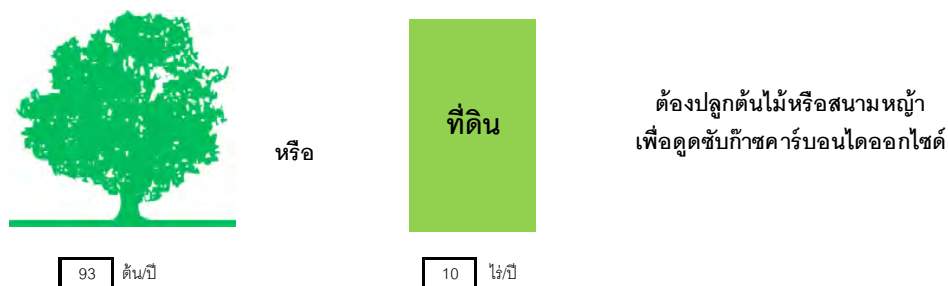
ชื่ออาคาร.....



แผนภูมิที่ 5-7 แสดงค่าพลังงานสะสมของอาคารเทียบกับการใช้พลังงานตลอดช่วงอายุอาคารคิดอายุอาคารที่ 50 ปี

แผนภูมิที่ 5-7 แสดงการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารตามทฤษฎีวัฏจักรชีวิต (Life cycle) โดยจะทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัสดุ และขั้นตอนการใช้งานอาคาร โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆของอายุการใช้งานอาคาร และแปลงค่าตอบเป็นแผนภูมิเพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้พลังงานตลอดอายุการใช้งาน พร้อมกับค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ตลอดอายุการใช้งาน โดยแกน X แสดงปีอายุอาคาร โดยจะคำนวณในสมมติฐานที่อายุอาคารจะใช้งาน 50 ปี แกน Y เป็นค่าปริมาณพลังงาน โดยกราฟแท่งจะเป็นค่าการใช้พลังงานของอาคารและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการคำนวณในขั้นตอนการใช้งานของอาคาร โดยจะคิดปริมาณการใช้พลังงานสะสมตลอดอายุอาคารในที่นี้คือ

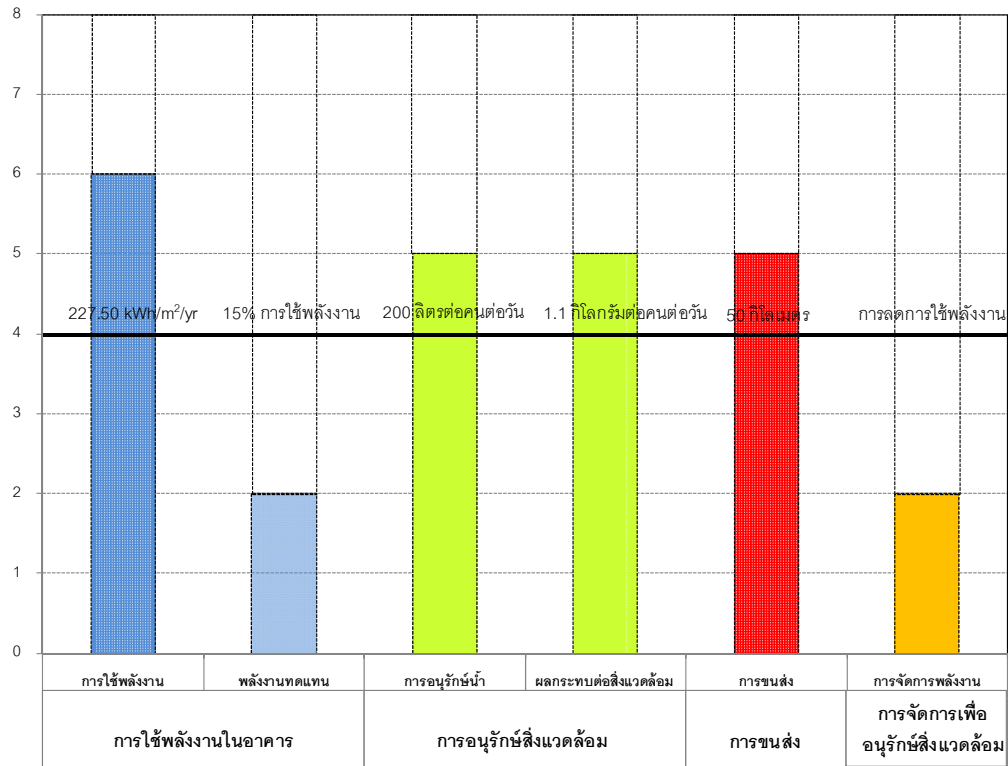
50 ปี เพื่อประมาณการค่าปริมาณการใช้พลังงานของอาคารนี้ตลอดอายุอาคาร และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดอายุอาคารเช่นกัน ส่วนกราฟเส้นจะเป็นค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการคำนวณในขั้นตอนการผลิตวัสดุ โดยค่าพลังงานสะสมจากขั้นตอนการผลิตวัสดุ จะมีค่าคงที่ตั้งแต่ปีแรก เมื่อนำค่าการใช้พลังงานและค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาแสดงในแผนภูมิเดียวกันจะพบว่า การสร้างอาคารขึ้นมานั้นไม่ควรพิจารณาเฉพาะการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพียงช่วงการใช้งานอาคารเท่านั้น แต่ควรคิดค่าการใช้พลังงานและค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน โดยการวิจัยนี้มีการคิดช่วงการผลิตวัสดุเพื่อเป็นต้นแบบในการคำนึงถึงการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่ได้มีการพิจารณาในการประเมินอาคารในแบบประเมินอาคารทั่วไป



ภาพที่ 5-26 ภาพแสดงจำนวนต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ในส่วนของการสรุปด้านสิ่งแวดล้อมของการประมวลผลจากโปรแกรม จะนำผลรวมของการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของขั้นตอนการผลิตวัสดุ และขั้นตอนการใช้งานอาคารมารวมกัน และนำค่าที่ได้ไปเข้าสมการที่โปรแกรมกำหนดไว้เพื่อการคำนวณ โดยจะทำการแปลงผลลัพธ์ด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นจำนวนต้นไม้หรือพื้นที่สนามหญ้า เพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคารที่ออกแบบแสดงตามภาพที่ 5-26 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอาคารที่ถูกสร้างขึ้นในแต่ละหลังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เช่น บ้านพักอาศัยถูกปลูกในพื้นที่ 1 ไร่ และเมื่อทำการประเมินการใช้พลังงานอาคารตลอดอายุอาคารพบว่าบ้านหลังนี้ต้องใช้พื้นที่ 10 ไร่ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี หมายถึงบ้านหลังนี้ใช้ทรัพยากรและสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกินขอบเขตพื้นที่จริงที่ปลูกสร้างอาคารถึง 10 เท่า

ระดับเกณฑ์คะแนน



แผนภูมิที่ 5-8 เกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ทางด้านเกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของอาคาร แสดงเป็นแผนภูมิที่ 5-8 เป็นตัวอย่างแบบประเมิน โดยแสดงปัจจัยด้านอื่นๆที่นอกเหนือจากด้านการใช้พลังงานในอาคารเพียงอย่างเดียว ทำให้ผู้ใช้แบบประเมินอาคารนี้สามารถเรียนรู้เกณฑ์ในการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร ได้แก่ การใช้พลังงานทดแทน เกณฑ์มาตรฐานการใช้น้ำ และการลดปริมาณขยะ ระยะทางการขนส่ง และการจัดการอาคารในขั้นตอนต่างๆของอายุอาคาร ตั้งแต่การออกแบบอาคารจนเตรียมการเรื่องวัสดุที่ต้องรื้อถอนเมื่อทำลายอาคาร ซึ่งจะแสดงเป็นผลสรุปของเกณฑ์ในการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของการประเมินอาคารสำหรับภูมิภาคอื่น

5.5 การประเมินอาคารตัวอย่าง

การประเมินอาคาร: แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3



ประเภทการใช้งานอาคาร	อาคารพักอาศัย	B
รูปแบบอาคาร	อาคารใหม่	
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารทั้งหมด (ตร.ม.)	163	

ภาพที่ 5-27 ภาพแสดงหน้าปกจากโปรแกรมการคำนวณของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

ภาพที่ 5-27 หน้าปกสรุปรายละเอียดจากการประเมินบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3 พร้อมแสดงระดับคะแนนในการประเมินอาคารว่าได้ระดับ B จากการประเมินอาคาร

แบบประเมิน Eco-House			
ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการประเมินอาคาร			
ชื่ออาคารหรือโครงการ	แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3		
ที่ตั้งอาคารหรือโครงการ	กรุงเทพ		
ประเทศ	ประเทศไทย	จังหวัด	กรุงเทพฯ
Latitude	13.73°N	Longitude	100.50°E
Elevation	12m above sea level		
ประเภทการใช้งานอาคาร	อาคารพักอาศัย		
รูปแบบอาคาร	อาคารสร้างใหม่		
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	184		
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารทั้งหมด (ตร.ม.)	163		
จำนวนชั้นของอาคาร	2		
จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	3		
เวลาการใช้งานของผู้ใช้อาคาร (ชั่วโมงต่อวัน)	8 ชั่วโมงต่อวัน	3000	
อายุของอาคาร	50		

ภาพที่ 5-28 ภาพแสดงข้อมูลเบื้องต้นของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

แบบประเมิน Eco-House						
ตารางสรุปการคำนวณสัดส่วนอาคาร						
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	163	163				
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (ตร.ม.)		184				
พื้นที่ของพื้นที่ 1 (ตร.ม.)		104				
พื้นที่ของหลังคา (ตร.ม.)		104.00				
				รวมพื้นที่ผิวอาคาร (ตร.ม.)	442.00	
				S/A	2.712	
		ผนังด้านทิศเหนือ	ผนังด้านทิศใต้	ผนังด้านทิศตะวันออก	ผนังด้านทิศตะวันตก	รวมพื้นที่
พื้นที่ผนังทับ		28.4	18	66.88	48.8	162.08
พื้นที่ผนังโปร่งแสง-กระจก		19.6	30	11.12	11.2	71.92
พื้นที่ประตู		0	0	0	0	0
		48	48	78	60	234

ภาพที่ 5-29 ภาพแสดงตารางสรุปการคำนวณสัดส่วนอาคารของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

ภาพที่ 5-28 แสดงรายละเอียดอาคาร ที่ตั้งอาคาร รูปแบบการใช้งานในอาคาร จำนวนผู้ใช้งาน ภาพที่ 5-29 ตารางสรุปขนาดพื้นที่ส่วนต่างๆของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3 ข้อมูลได้จากผลการคำนวณจากแบบฟอร์มการกรอกข้อมูลพื้นที่ของผนังทั้ง 4 ด้าน พื้นที่ช่องเปิดพื้นที่พื้น และพื้นที่หลังคา

ตารางการเลือกวัสดุผนังอาคาร

ผนังอาคาร	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0	0	0.12	0	0
2	ปูนฉาบ	15	28	0.03	41.805	5.82
3	อิฐรูมอญครึ่งแผ่น	70	134	0.08	900.48	69.62
4	ปูนฉาบ	15	28	0.03	41.805	5.82
5	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0	0	0.12	0	0
6						
U-value		2.63	190	0.38	159501.3072	13172.05683

ภาพที่ 5-30 แสดงการเลือกวัสดุผนังของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

ตารางการเลือกวัสดุพื้นอาคาร						
พื้นที่ที่ 1	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0	0	0.04	0	0
2	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 4 นิ้ว	100	240	0.11	216	27.36
3	กระเบื้องคอนกรีต	25	58	0.05	115	12.3625
4	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง) กรณีติดพื้นดิน	0	0	0.13	0	0
5						
6						
U-value		3.03		0.33	34424	4131.14

ภาพที่ 5-31 แสดงการเลือกวัสดุพื้นของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

ภาพที่ 5-30 แสดงการเลือกวัสดุผนังอาคารของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3 โดยได้ทำการเลือกวัสดุเป็นก่ออิฐฉาบปูน หนา 0.10 ม. ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $2.63 W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$

ภาพที่ 5-31 แสดงการเลือกวัสดุพื้นอาคารของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3 โดยได้ทำการเลือกวัสดุพื้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 4 นิ้ว ปูกระเบื้องคอนกรีต มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $3.03 W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$

ตารางการเลือกวัสดุหลังคาอาคาร						
หลังคา	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0	0	0.04	0	0
2	หลังคาโลหะ หนา 0.5 มม.	0.5	4	0.0001	48.1545	2.05929
3	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. Non Reflective Air Space	0	0	0.27	0	0
4	PU Foam 1 นิ้ว	25	1	0.52	72.1	3
5	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง) Horizontal	0	0	0.16	0	0
6						
U-value		1.01		0.9901	12506.468	526.16616

ภาพที่ 5-32 แสดงการเลือกวัสดุหลังคาของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

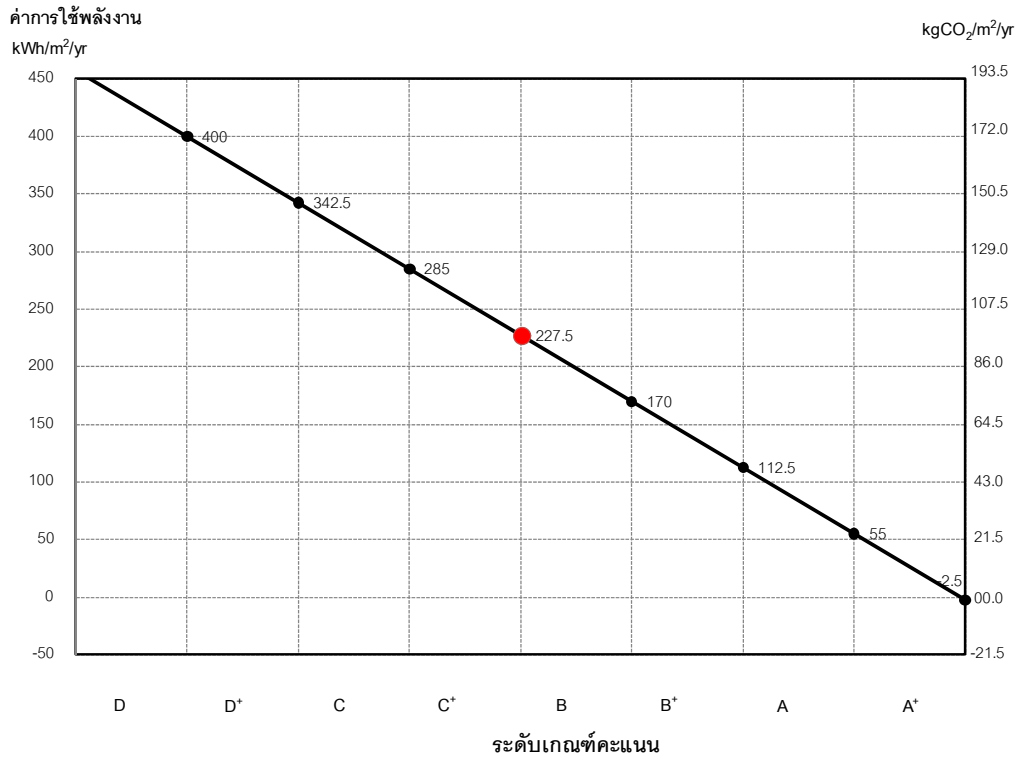
ตารางการเลือกวัสดุกระจก						
กระจก	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0	0	0.44	0	0
2	กระจกใส หนา 6 มม.	6	16	0.17	248.04	27.066
3	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0	0	0.12	0	0
4						
SC		0.94				
U-value		1.37		0.73	17839.0368	37.07671233

ภาพที่ 5-33 แสดงการเลือกวัสดุกระจกของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

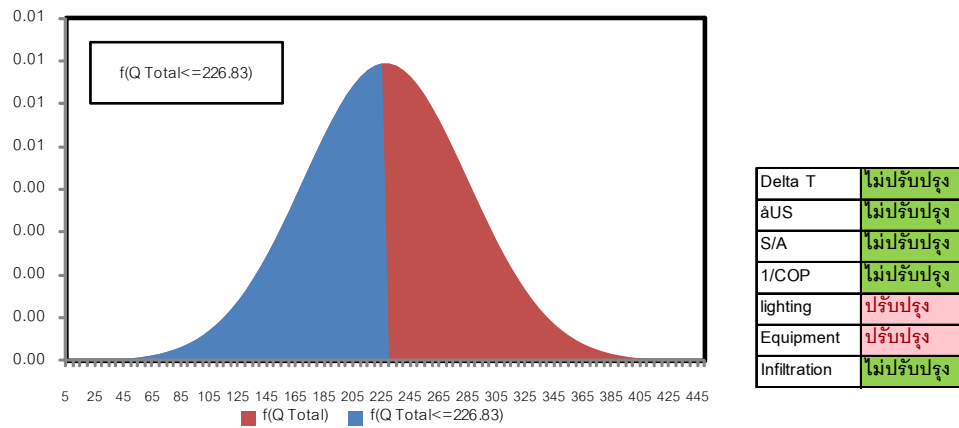
ภาพที่ 5-32 แสดงการเลือกวัสดุหลังคาอาคารของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3 โดยได้ทำการเลือกวัสดุหลังคาโลหะพ่น PU Foam 1 นิ้ว มีช่องว่างอากาศ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $1.01 W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$

ภาพที่ 5-33 แสดงการเลือกวัสดุกระจกอาคารของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3 โดยได้ทำการเลือกวัสดุกระจกหนา 6 มม. มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $1.37 W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$

แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

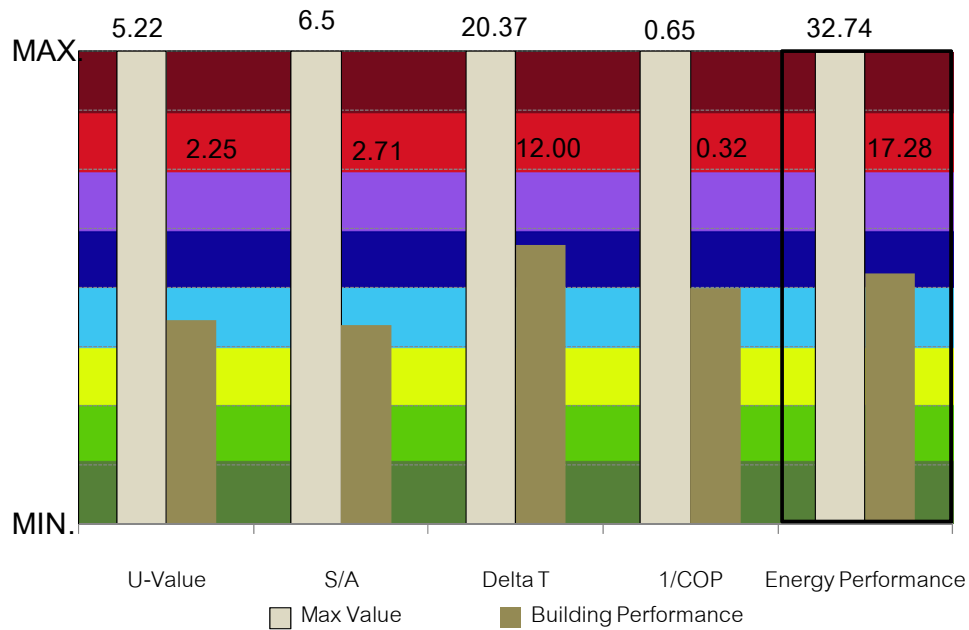


แผนภูมิที่ 5-9 แผนภูมิแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3



ภาพที่ 5-34 ภาพแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และแนวทางการปรับปรุงตัวแปรเพื่อการออกแบบของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

จากแผนภูมิที่ 5-9 จะได้ผลลัพธ์ของการประเมินอาคารพบว่าอาคารมีค่าการใช้พลังงาน 226.83 kWh/m²/yr และได้ระดับเกณฑ์คะแนน B โดยแผนภูมิที่ 5-34 แสดงตัวแปรที่ควรปรับปรุง ได้แก่ การใช้ไฟฟ้าในอาคาร การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร



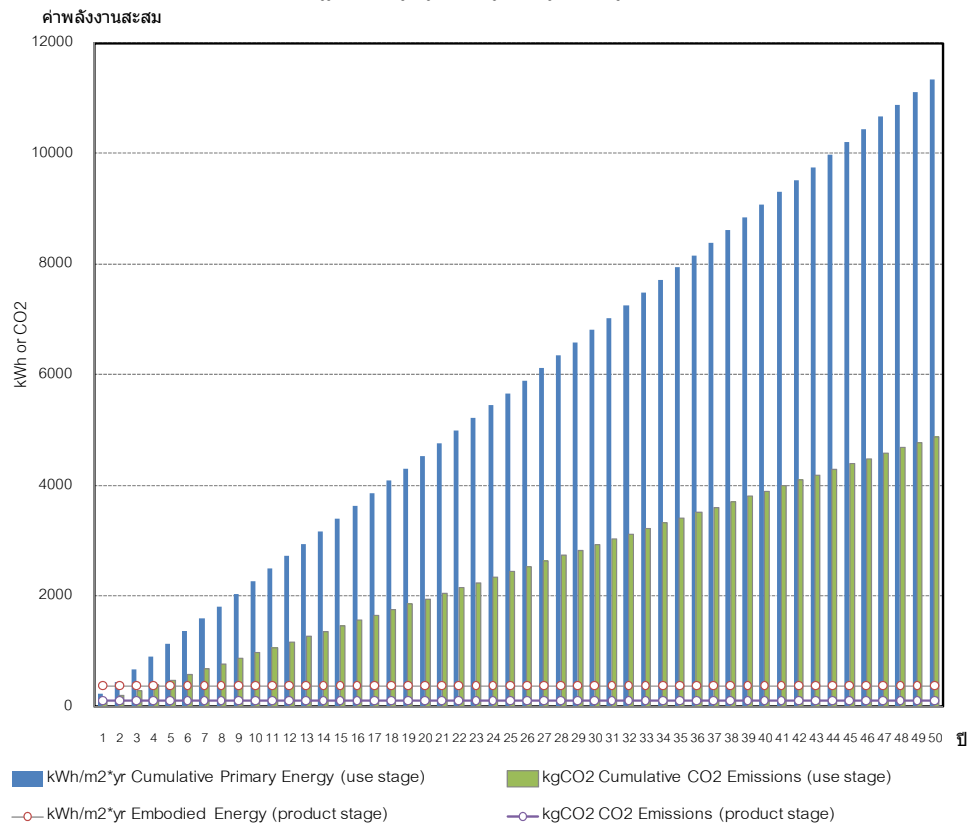
แผนภูมิที่ 5-10 แสดงการเปรียบเทียบระดับช่วงคะแนนสูงสุด กับค่าประสิทธิภาพของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3



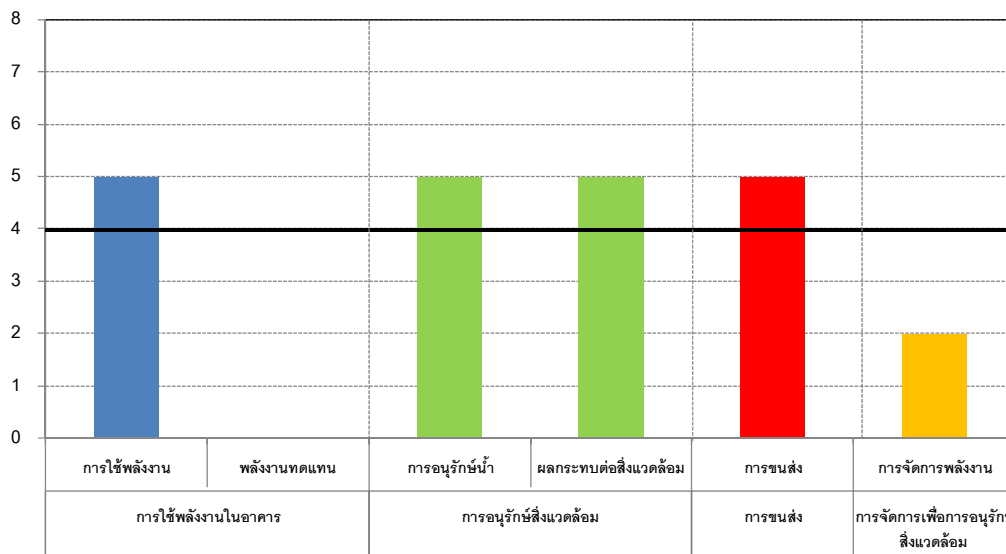
ภาพที่ 5-35 ภาพแสดงจำนวนต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของบ้านประหยัดเพื่อประชาชน แบบที่ 3

จากแผนภูมิที่ 5-10 แสดงการเปรียบเทียบดัชนีของตัวแปรต่างๆพบว่าตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน รูปทรงอาคาร ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ อยู่ระดับเกณฑ์มาตรฐาน ความแตกต่างอุณหภูมิไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และการใช้พลังงานรวมของอาคารมีค่าเป็น 17.28 Watt จากภาพที่ 5-35 แสดงค่าจำนวนต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องใช้พื้นที่ 14 ไร่ โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากขั้นตอนการผลิตวัสดุ และการใช้งานอาคารตามแผนภูมิที่ 5-11

Cumulative primary energy requirement and CO2 emissions during the life span of the building:
แบบบ้านประหยัดเพื่อประชาชน



แผนภูมิที่ 5-11 แสดงค่าพลังงานสะสมของอาคารเทียบกับการใช้พลังงานของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 3 คิดอายุอาคารที่ 50 ปี



แผนภูมิที่ 5-12 เกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของบ้านประหยัดเพื่อประชาชนแบบที่ 3 พบว่าการใช้พลังงาน การอนุรักษ์น้ำ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

การประเมินอาคาร: บ้านBio Solar Home

Bio-Solar Home



ประเภทการใช้งานอาคาร	อาคารพักอาศัย	
รูปแบบอาคาร	อาคารใหม่	
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารทั้งหมด (ตร.ม.)	145	A+

ภาพที่ 5-36 ภาพแสดงหน้าปกจากโปรแกรมการคำนวณ Bio Solar Home

ภาพที่ 5-36 หน้าปกสรุปรายละเอียดจากการประเมิน Bio Solar Home พร้อมแสดงระดับคะแนนในการประเมินอาคารว่าได้รับระดับ A⁺ จากการประเมินอาคาร

แบบประเมิน Eco-House			
ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการประเมินอาคาร			
ชื่ออาคารหรือโครงการ	Bio-Solar Home		
ที่ตั้งอาคารหรือโครงการ	ปทุมธานี		
ประเทศ	ประเทศไทย	จังหวัด	กรุงเทพฯ
Latitude	13.73°N	Longitude	100.50°E
Elevation	12m above sea level		
ประเภทการใช้งานอาคาร	อาคารพักอาศัย		
รูปแบบอาคาร	อาคารสร้างใหม่		
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)			147
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารทั้งหมด (ตร.ม.)			145
จำนวนชั้นของอาคาร			2
จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)			3
เวลาการใช้งานของผู้ใช้อาคาร (ชั่วโมงต่อวัน)	8 ชั่วโมงต่อวัน	3000	
อายุของอาคาร			50

ภาพที่ 5-37 ภาพแสดงข้อมูลเบื้องต้น Bio Solar Home

แบบประเมิน Eco-House					
ตารางสรุปการคำนวณสัดส่วนอาคาร					
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	145	145			
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (ตร.ม.)		147			
พื้นที่ของพื้นที่ 1 (ตร.ม.)		77			
พื้นที่ของหลังคา (ตร.ม.)		77.00			
				รวมพื้นที่ผิวอาคาร (ตร.)	370.00
				S/A	2.552
		ผนังด้านทิศเหนือ	ผนังด้านทิศใต้	ผนังด้านทิศตะวันออก	ผนังด้านทิศตะวันตก
พื้นที่ผนังทึบ	28.4	31.48	45.1	53.65	158.63
พื้นที่ผนังโปร่งแสง-กระจก	19.6	10.52	17.9	9.35	57.37
พื้นที่ประตู	0	0	0	0	0
	48	42	63	63	216

ภาพที่ 5-38 ภาพแสดงตารางสรุปการคำนวณสัดส่วนอาคารของ Bio Solar Home

ภาพที่ 5-37 แสดงรายละเอียดของอาคาร ที่ตั้งอาคาร รูปแบบการใช้งานในอาคาร จำนวนผู้ใช้งาน ภาพที่ 5-38 ตารางสรุปขนาดพื้นที่ส่วนต่างๆของ Bio Solar Home ข้อมูลได้จากผลการคำนวณจากแบบฟอร์มการกรอกข้อมูลพื้นที่ของผนังทั้ง 4 ด้าน พื้นที่ช่องเปิด พื้นที่พื้น และพื้นที่หลังคา

ตารางการเลือกวัสดุผนังอาคาร

ผนังอาคาร	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0	0	0.12	0	0
2	BASE COAT	15	28	0.03	41.805	5.82
3	EPS 6 นิ้ว (12 kgm2)	150	2	4.07	140.16	5.99
4	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	12	10	0.08	34.56	2.09
5	ปูนฉาบ	15	28	0.03	41.805	5.82483
6	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0	0	0.12	0	0
U-value		0.22	68	4.45	40978.8879	3129.84287

ภาพที่ 5-39 แสดงการเลือกวัสดุผนังของ Bio Solar Home

ตารางการเลือกวัสดุพื้นอาคาร						
พื้นที่ที่ 1	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0	0	0.04	0	0
2	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 6 นิ้ว	150	360	0.16	324	41.04
3	EPS 2 นิ้ว	50	1	1.53	46.72	1.996
4	กระเบื้องคอนกรีต	25	58	0.05	115	12.3625
5	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง) กรณีติดพื้นดิน	0	0	0.13	0	0
6						
U-value		0.52		1.91	37400.44	4265.6845

ภาพที่ 5-40 แสดงการเลือกวัสดุพื้นของ Bio Solar Home

ภาพที่ 5-39 แสดงการเลือกวัสดุผนังอาคารของ Bio Solar Home โดยได้ทำการเลือกวัสดุเป็นผนังระบบฉนวนภายนอกอาคาร หนา 6 นิ้ว ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $0.22 W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$

ภาพที่ 5-40 แสดงการเลือกวัสดุพื้นอาคารของ Bio Solar Home โดยได้ทำการเลือกวัสดุพื้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 6 นิ้ว บู EPS หนา 2 นิ้ว ปูกระเบื้องคอนกรีต มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $0.52 W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$

ตารางการเลือกวัสดุหลังคาอาคาร						
หลังคา	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0	0	0.04	0	0
2	หลังคาโลหะ หนา 0.5 มม.	0.5	4	0.0001	48.1545	2.05929
3	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. Reflective Air Space	0	0	1.17	0	0
4	ฉนวนใยแก้ว 9 นิ้ว	225	7	5.81	231.12	5.544
5	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	12	10	0.08	34.56	2.0928
6	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง) slope 22.5 องศา	0	0	0.15	0	0
U-value		0.14		7.2501	24165.2565	746.59893

ภาพที่ 5-41 แสดงการเลือกวัสดุหลังคาของ Bio Solar Home

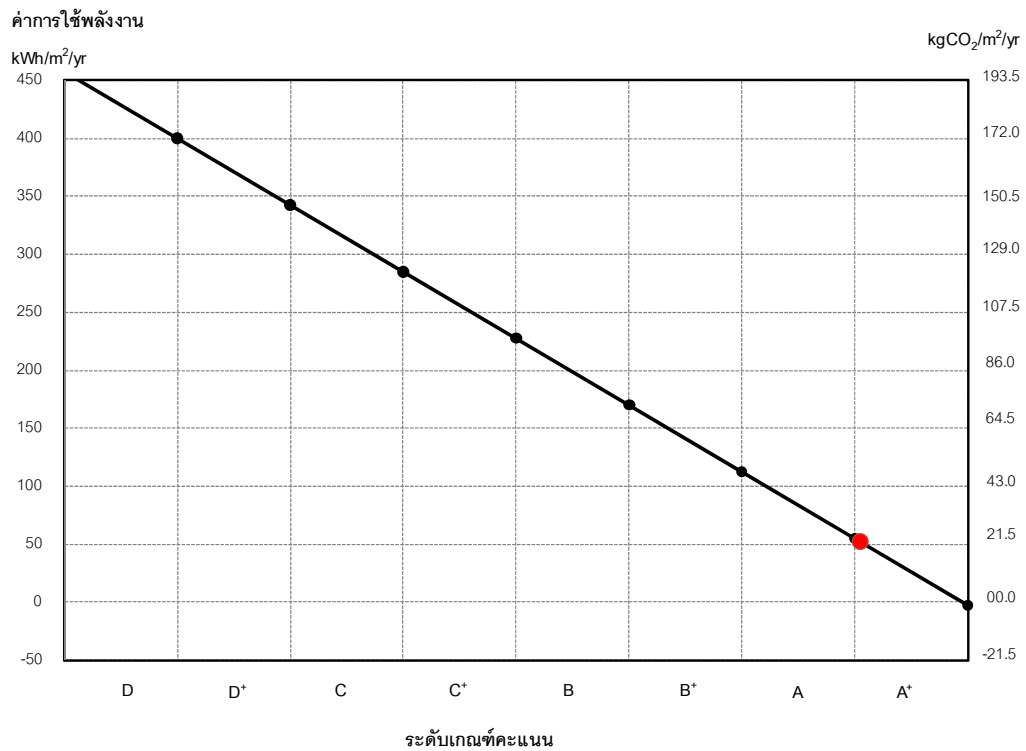
ตารางการเลือกวัสดุกระจก						
กระจก	วัสดุ	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าการ ต้านทานความ ร้อน $m^2 KW$	Embodied energy (MJ)	CO2-kgequiv (kgCO2/kg)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0	0	0.44	0	0
2	กระจกHeat-Stop 24 มม.	24	62	0.518	1647.36	119.6832
3	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0	0	0.12	0	0
4						
SC		0.48				
U-value		0.93		1.078	94509.0432	111.0233766

ภาพที่ 5-42 แสดงการเลือกวัสดุกระจกของ Bio Solar Home

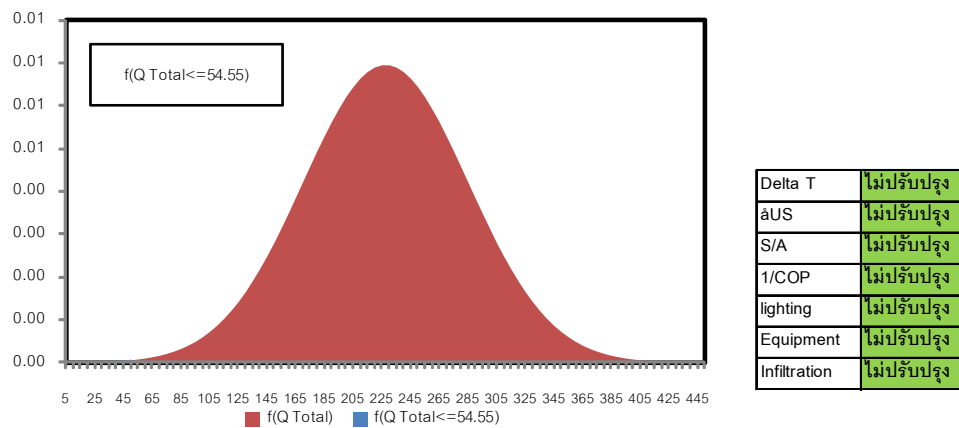
ภาพที่ 5-41 แสดงการเลือกวัสดุหลังคาอาคารของ Bio Solar Home โดยได้ทำการเลือกวัสดุหลังคาโลหะ มีช่องว่างอากาศแบบสะท้อนรังสีใส่นวนใยแก้ว 9 นิ้ว และฝ้าเพดาน มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $0.14 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

ภาพที่ 5-33 แสดงการเลือกวัสดุกระจกอาคารของ Bio Solar Home โดยได้ทำการเลือกวัสดุกระจก Heat-Stop 24 มม. มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $0.93 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Bio-Solar Home

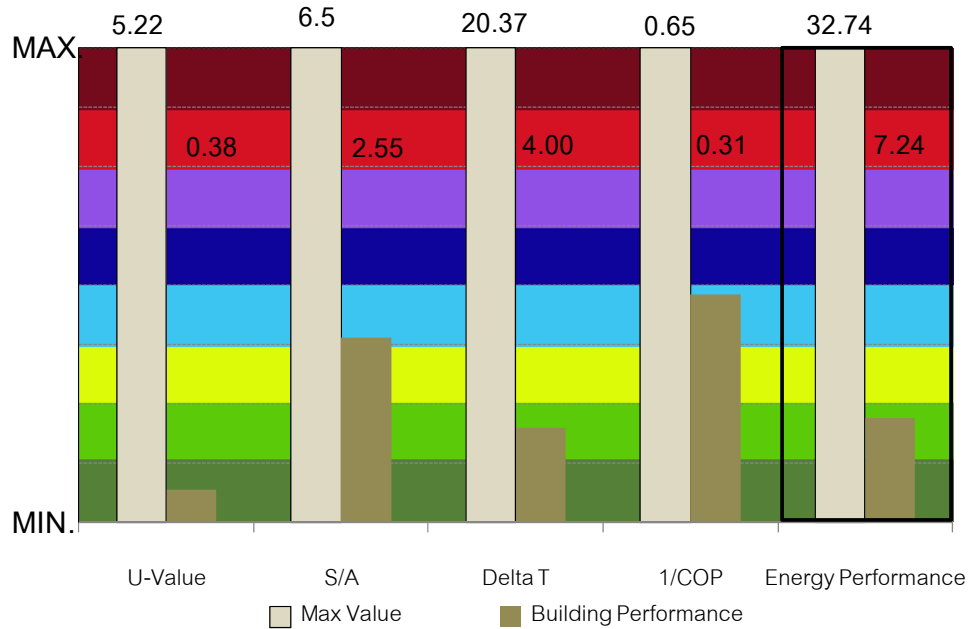


แผนภูมิที่ 5-13 แผนภูมิแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของ Bio Solar Home

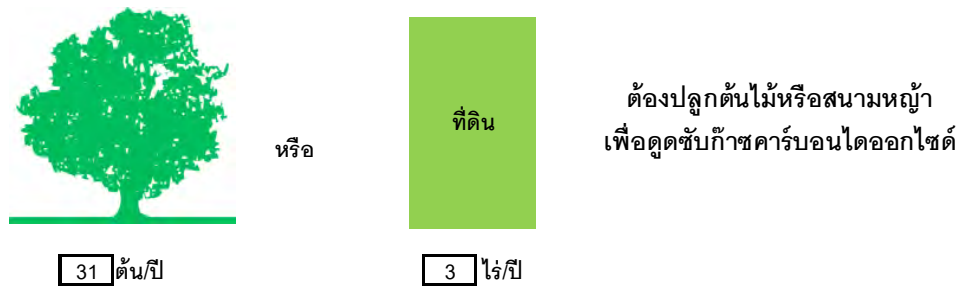


ภาพที่ 5-43 ภาพแสดงระดับช่วงคะแนนของการประเมินอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และแนวทางการปรับปรุงตัวแปรเพื่อการออกแบบของ Bio Solar Home

จากแผนภูมิที่ 5-13 จะได้ผลลัพธ์ของการประเมินอาคารพบว่าอาคารมีค่าการใช้พลังงาน 54.55 kWh/m²/yr และได้ระดับเกณฑ์คะแนน A+ โดยแผนภูมิที่ 5-34 แสดงตัวแปรที่ควรปรับปรุง จะเห็นได้ว่าจะแสดงว่าตัวแปรทุกตัวแปรไม่ต้องการปรับปรุง



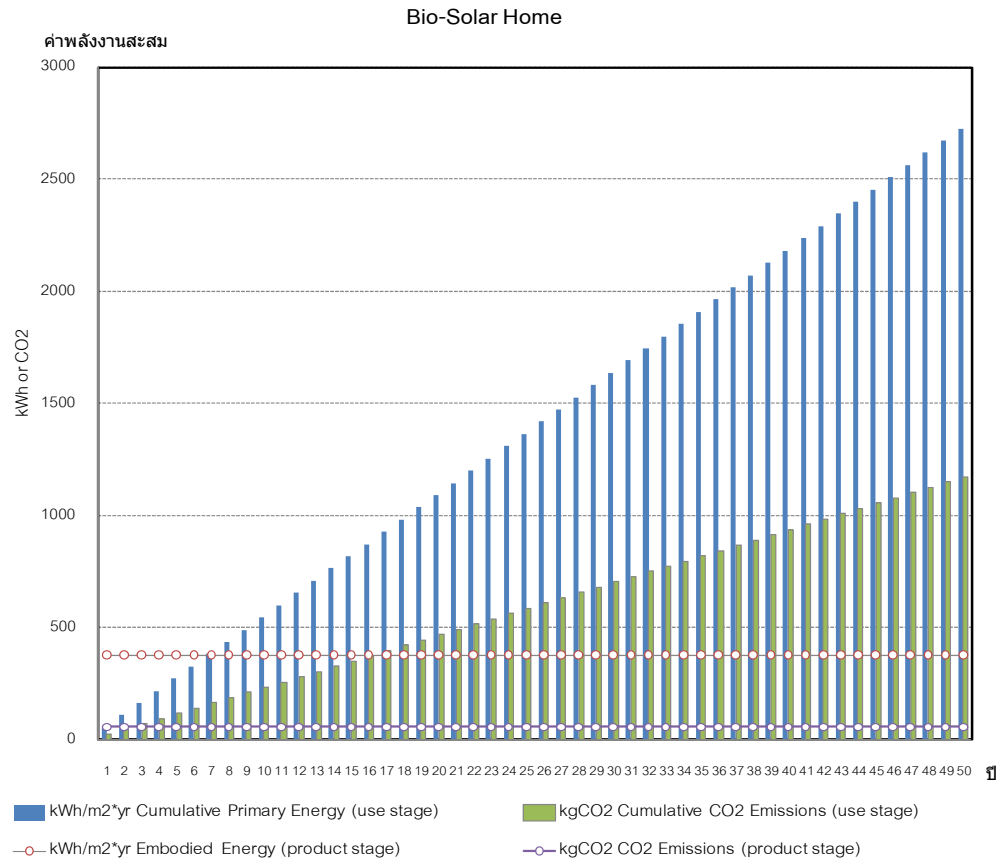
แผนภูมิที่ 5-14 แสดงการเปรียบเทียบระดับช่วงคะแนนสูงสุด กับค่าประสิทธิภาพของ Bio Solar Home



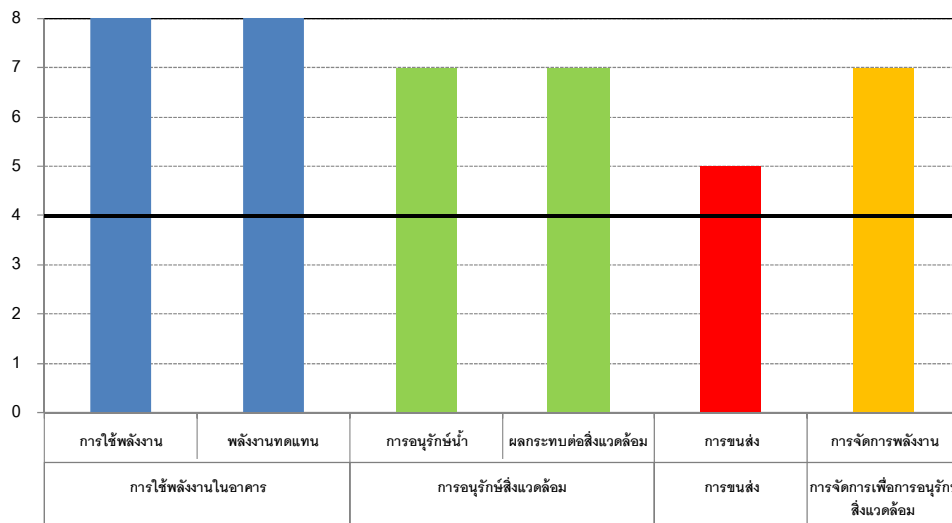
ภาพที่ 5-44 ภาพแสดงจำนวนต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของ Bio Solar Home

จากแผนภูมิที่ 5-14 แสดงการเปรียบเทียบดัชนีของตัวแปรต่างๆพบว่าตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน อยู่ระดับดีเยี่ยม รูปทรงอาคารและประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ความแตกต่างอุณหภูมิ อยู่ระดับดีมาก และการใช้พลังงานรวมของอาคารมีค่าเป็น 7.24 Watt จากภาพที่ 5-44 แสดงค่าจำนวนต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องใช้พื้นที่ 3 ไร่ โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากขั้นตอนการผลิตวัสดุ และการใช้งานอาคารตามแผนภูมิที่ 5-11

Cumulative primary energy requirement and CO2 emissions during the life span of the building:



แผนภูมิที่ 5-15 ค่าพลังงานสะสมของอาคารเทียบกับการใช้พลังงานของ Bio Solar Home คิดอายุอาคารที่ 50 ปี



แผนภูมิที่ 5-16 เกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของ Bio Solar Home พบว่าการใช้พลังงาน การใช้พลังงานทดแทน อยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม การอนุรักษ์น้ำ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการจัดการพลังงานอยู่ในเกณฑ์ดีมาก การขนส่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

5.6 บทสรุป

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบประเมิน Eco-House สำหรับเป็นเครื่องมือในการประเมินอาคารประเภทบ้านพักอาศัย แก่ผู้ออกแบบและผู้ที่เกี่ยวข้อง สามารถใช้งานได้อย่างง่าย สามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานของอาคาร ในการปรับอากาศ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการประเมินอาคารนี้จะแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ช่วงตามอายุอาคาร คือ ขั้นตอนการผลิตวัสดุ และขั้นตอนการใช้งานอาคารเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรวมและแนวความคิดในการการออกแบบอาคาร ว่าตัวแปรต่างๆในการออกแบบอาคารมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร

โดยแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการผลิตวัสดุ
2. ขั้นตอนการใช้งานอาคาร

ขั้นตอนการผลิตวัสดุ

วิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมวัสดุ ซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุต่างๆพร้อมกับปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุนั้นๆ สามารถคำนวณจาก

- ค่าพลังงานสะสมของวัสดุนั้นๆ คือ ปริมาณของวัสดุมีหน่วยเป็น kg นำมาคูณกับค่าพลังงานสะสมของวัสดุนั้นๆ มีหน่วยเป็น MJ/kg จะได้เป็นค่าพลังงานสะสมของวัสดุ
- ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพลังงานสะสมของวัสดุนั้นๆ คือ ปริมาณของวัสดุมีหน่วยเป็น kg นำมาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพลังงานสะสมของวัสดุมีหน่วยเป็น kg CO₂/kg จะได้เป็นค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุนั้นๆในขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอนการใช้งานอาคาร

กลุ่มตัวแปรที่เกิดจากอิทธิพลภายนอกอาคาร

กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับเปลือกอาคาร

- ฉนวนอาคาร เป็นการประเมินประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคาร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุ (U) เป็นตัวแปรสำคัญด้านประสิทธิภาพของวัสดุที่ส่งผลต่อภาวะการทำความเย็นของอาคาร

- กระจก ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของกระจก และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก โดยมีผลโดยตรงต่อภาระการทำความเย็นในการปรับอากาศอาคาร
- หลังคา ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุ (U) เป็นตัวแปรสำคัญด้านประสิทธิภาพของวัสดุที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นของอาคาร
- พื้นอาคาร วิเคราะห์การแตกต่างอุณหภูมิของวัสดุพื้น
- การรั่วซึมอากาศ ประเมินการป้องกันความร้อน ความชื้นจากอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารปรับอากาศ จากการพิจารณาความเร็วลมที่แทรกซึมผ่านอากาศ (cfm) ค่าความแตกต่างของเอนทัลปี (Enthalpy) ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร และปริมาณการเติมอากาศสำหรับผู้ใช้อาคาร

กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับอิทธิพลภายในอาคาร

- ตัวแปรด้านการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร วิเคราะห์จากการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารต่อพื้นที่การใช้งาน และค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ต่อพื้นที่ใช้งานปรับอากาศ
- ตัวแปรที่เกี่ยวกับหลอดไฟฟ้าภายในอาคาร วิเคราะห์ปริมาณหลอดไฟฟ้า ต่อพื้นที่การใช้งาน และค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นของหลอดไฟฟ้า โดยการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ต่อพื้นที่ใช้งานปรับอากาศ

กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

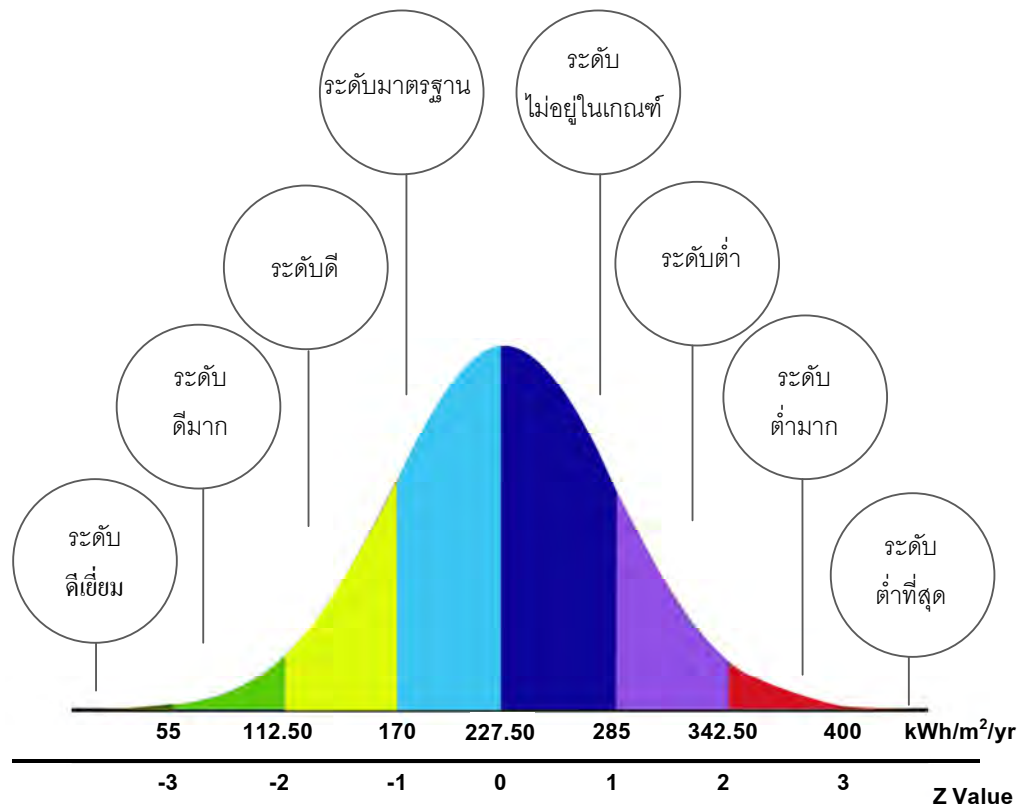
ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเป็นตัวชี้วัดถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการทำความเย็น โดยเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะใช้พลังงานน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ

ค่าต่างๆของตัวแปรเหล่านี้ถูกสร้างเป็นฐานข้อมูลในโปรแกรม โดยนำค่ามาสร้างสมการความสัมพันธ์กันเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการประมวลผลของโปรแกรม โดยโปรแกรมนี้ถูกออกแบบอย่างง่ายสำหรับการใช้งานอย่างง่ายต่อผู้ใช้โปรแกรมที่มีและไม่มีประสบการณ์ด้านการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน เพียงแต่สามารถใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ได้ ก็สามารถกรอกข้อมูลที่ได้จากการถอดแบบปริมาณพื้นที่ต่างๆของอาคารที่ออกแบบ ตามความต้องการของโปรแกรมระบุไว้ จากนั้นโปรแกรมก็จะคำนวณผลลัพธ์ให้แก่ผู้ใช้งานทันที โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะแบ่งออกเป็น การใช้พลังงานในอาคาร และแนวทางการปรับปรุงตัวแปรต่างๆที่ไม่อยู่ตามเกณฑ์ของตัวแปรนั้นๆ โดยเกณฑ์ของแต่ละตัวแปรสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

- ตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ (ΔT) มีค่าเฉลี่ยที่ 12.81 °C ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 5.25 °C ค่าสูงสุดอยู่ที่ 20.37 °C
- ตัวแปรด้านวัสดุ (U) มีค่าเฉลี่ยที่ 2.64 W/m²·°C ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.06 W/m²·°C ค่าสูงสุดอยู่ที่ 5.22 W/m²·°C
- ตัวแปรด้านพื้นที่ (S/A) มีค่าเฉลี่ยที่ 3.5 ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.5 ค่าสูงสุดอยู่ที่ 6.5
- ตัวแปรด้านประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (1/COP) มีค่าเฉลี่ยที่ 0.44 ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.23 ค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.65
- ตัวแปรจากหลอดไฟฟ้า (lighting) มีค่าเฉลี่ยที่ 12 W/m² ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6 W/m² ค่าสูงสุดอยู่ที่ 18 W/m²
- ตัวแปรจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (Appliance) มีค่าเฉลี่ยที่ 15.90 W/m² ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1.89 W/m² ค่าสูงสุดอยู่ที่ 29.91 W/m²
- ตัวแปรจากการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) มีค่าเฉลี่ยที่ 36 W/m² ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 12 W/m² ค่าสูงสุดอยู่ที่ 60 W/m²

จากเกณฑ์ต่างๆที่ได้ระบุไว้นี้ได้นำไปสร้างสมการและจัดอยู่ในการประมวลผลตัวแปรต่างๆเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแปรว่าต้องมีการปรับปรุงหรือไม่ปรับปรุง โดยจะแสดงบนหน้าแบบฟอร์มผลลัพธ์ผู้ใช้โปรแกรมสามารถทราบได้ทันทีเมื่อการกรอกข้อมูลแล้วเสร็จ

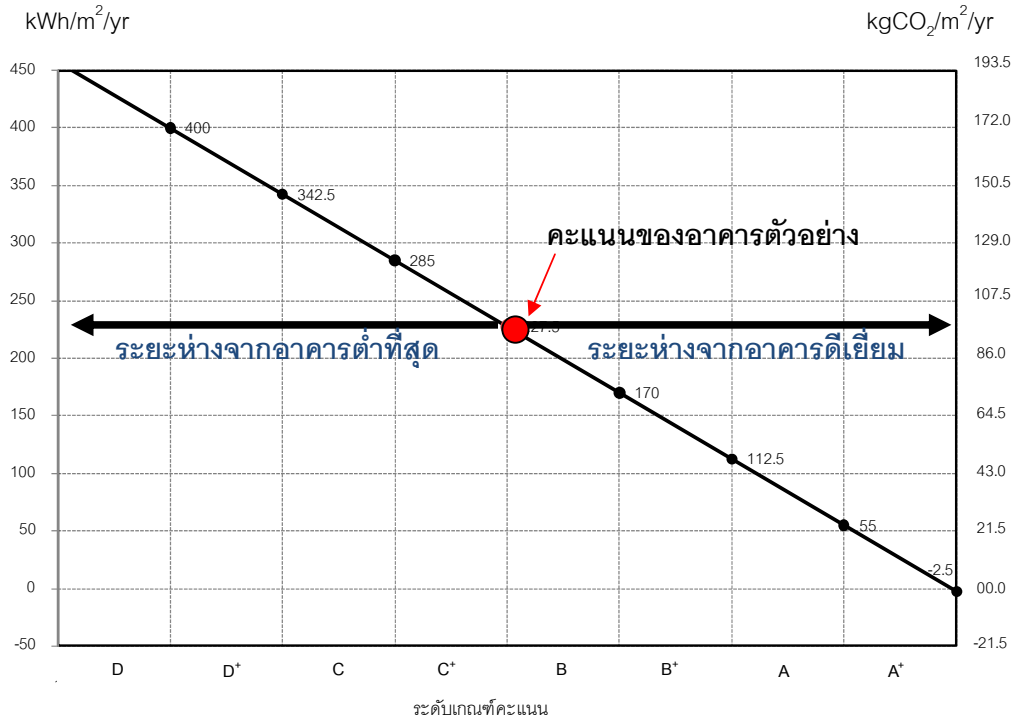
สรุประดับเกณฑ์คะแนนในการพิจารณาศักยภาพของอาคารที่ประเมิน การคำนวณจากโปรแกรมการออกแบบประเมินอาคารบ้านรักรักษ์เวศนี้ จะทำให้ทราบถึงระดับคะแนนของอาคารที่ผู้ใช้งานนำมาประเมิน โดยเกณฑ์ในการประเมินนี้โปรแกรมได้ทำการสรุปจากการวิจัยและได้เก็บไว้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอาคาร สามารถสรุปการแบ่งระดับเกณฑ์คะแนนของอาคารด้านการใช้พลังงานในอาคารได้ดังนี้



ภาพที่ 5-45 แสดงระดับเกณฑ์คะแนนในโปรแกรมการประเมินอาคารอนุรักษ์เชิงสิ่งแวดล้อม ตารางที่ 5-2 แสดงเกณฑ์คะแนนของการประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ระดับเกณฑ์คะแนน	คะแนน
ระดับดีเยี่ยม	< 55
ระดับดีมาก	55-112.50
ระดับดี	112.50-170
ระดับมาตรฐาน	170-227.50
ระดับไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน	227.50-285
ระดับต่ำ	285-342.50
ระดับต่ำมาก	342.50-400
ระดับต่ำที่สุด	> 400

ชื่ออาคาร.....



แผนภูมิที่ 5-17 แสดงแนวทางในการตัดสินใจของผู้ออกแบบในการปรับปรุงอาคารที่ออกแบบ

เมื่อทราบระดับเกณฑ์คะแนนของอาคารที่ออกแบบ ว่าเป็นอาคารที่มีการประหยัดพลังงานมากน้อยเพียงใด ทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ลงไป ในแผนภูมิที่ 5-17 ที่แบ่งช่วงเกณฑ์คะแนน โดยจุดสีแดงคือค่าการใช้พลังงานในอาคารที่ประเมินได้ จะทำให้ผู้ออกแบบสามารถทราบได้ทันทีว่าอาคารที่ออกแบบมีโอกาสในการปรับปรุงให้เป็นอาคารดีเยี่ยมได้อย่างไร และแนวทางการปรับปรุงที่สามารถเข้าสู่เกณฑ์อาคารดีเยี่ยมจะต้องทำอย่างไร

ผลสรุปการประเมินเชิงอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ผลลัพธ์เชิงสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการประเมินอาคารโดยโปรแกรมการคำนวณ จะทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตวัสดุและขั้นตอนการใช้งานอาคาร แปลงเป็นปริมาณต้นไม้และพื้นที่สนามหญ้าที่ใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากอาคารหลังนั้น ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมได้รับรู้ถึงปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่เกินขอบเขตของอาคารที่ออกแบบในแต่ละหลัง ตัวอย่างจากการคำนวณพบว่าอาคารระดับต่ำที่สุด ประมาณการใช้พลังงาน 454 kWh/m²/yr ต้องปลูกต้นไม้ถึง 250 ต้นต่อปี หรือต้องมีพื้นที่สนามหญ้า 26 ไร่ และเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารดีเยี่ยมพบว่า ต้องปลูกต้นไม้ 31 ต้นต่อปี หรือต้องมีพื้นที่สนามหญ้า 3 ไร่ ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบการเก็บน้ำ และการใช้พลังงานทดแทนของบ้านระดับดีเยี่ยมรวมด้วย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าอาคารที่มีประสิทธิภาพสูง

จะสามารถสร้างสมดุลกับสิ่งแวดล้อมคือสามารถลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้แก่สภาพแวดล้อม โดยเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารระดับเกณฑ์มาตรฐานสามารถลดพลังงานได้ถึง 4.5 เท่าต่อปี

5.7 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการทดสอบการใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมนี้ควรจะมีการพัฒนาเชื่อมต่อกับโปรแกรมการออกแบบอาคารที่สถาปนิกใช้งานอยู่ในปัจจุบัน อาทิเช่น โปรแกรม Sketch Up เพื่อสามารถดึงข้อมูลเรื่องพื้นที่ ขนาดต่างๆ ลงในโปรแกรมได้โดยอัตโนมัติ และสามารถจำลองภาพของการใช้พลังงานในอาคารออกมาพร้อมรูปภาพอาคาร เนื่องจากการแสดงผลด้วยรูปภาพอาคารจะเพิ่มความเข้าใจให้แก่ผู้ใช้งานมากขึ้น และเพิ่มความสมบูรณ์ของโปรแกรมได้

ข้อเสนอแนะเรื่องตัวแปรในการวิจัยในอนาคต

การวิจัยนี้เป็นการรวบรวมตัวแปรด้านการใช้พลังงานในอาคารเป็นหลัก โดยวิเคราะห์จากตัวแปรด้านภาระการทำความเย็นที่เกิดจากตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตัวแปรที่เป็นอิทธิพลจากภายนอก ได้แก่ ครอบอาคารและการรั่วซึม

ตัวแปรที่เป็นอิทธิพลภายใน ได้แก่ อุปกรณ์ไฟฟ้า หลอดไฟฟ้า และผู้ใช้อาคาร

ตัวแปรด้านประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

โดยโปรแกรมนี้จะเน้นหลักด้านการออกแบบอาคารเพื่อการลดการใช้พลังงานของอาคาร โดยการเลือกวัสดุและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสม ในการพัฒนาโปรแกรมการประเมินนี้ในอนาคตตัวแปรที่ควรศึกษาและนำมาพัฒนาต่อได้แก่ ตัวแปรด้านแสงธรรมชาติ โดยเมื่อนำตัวแปรด้านแสงธรรมชาติมาพิจารณา จะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบส่องสว่างลงได้ ในกรณีใช้งานอาคารตอนกลางวัน เพื่อสามารถกำหนดระยะความสูงที่เหมาะสมของช่องแสงและขนาดของช่องแสง ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานได้เพียงพอโดยไม่นำความร้อนเข้ามาภายในอาคาร

การพัฒนาตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้ได้สร้างค่าตัวเลือกอัตโนมัติ (Default) ในด้านตัวแปรเชิงสิ่งแวดล้อมจากฐานข้อมูลประเทศไทย เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนากลุ่มตัวแปรที่มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมจากอาคาร โดยการวิจัยนี้ได้สรุปกรอบตัวแปรตามมาตรฐานแบบประเมินอาคารเชิงสิ่งแวดล้อมตามแบบประเมินประเทศต่างๆ เพื่อสามารถนำไปพัฒนาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการประเมินอาคารระดับสากลได้

การจัดการ สิ่งแวดล้อม	การจัดการพลังงาน	10
	การก่อสร้าง	0
การขนส่ง	การขนส่ง	32
การอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อม	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	5
	คุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคาร	0
	การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	0
	การอนุรักษ์น้ำ	11
การใช้พลังงาน ในอาคาร	การใช้พลังงานทดแทน	13
	การใช้พลังงานในอาคาร	29

Score 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

แผนภูมิที่ 5-18 แสดงตัวแปรต่างๆในเกณฑ์การประเมินอาคารเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ศึกษาแล้ว และยังไม่ได้ศึกษา เพื่องานวิจัยในอนาคต

จากแผนภูมิที่ 5-18 แสดงค่าน้ำหนักแต่ละตัวแปรตามที่ได้ทำการศึกษาตามแผนภูมิที่ 5-2 อ้างอิงข้อมูลสถิติของประเทศปี พ.ศ. 2550 สรุปเกณฑ์คะแนนของหมวดตัวแปรต่างๆดังนี้ หมวดการจัดการสิ่งแวดล้อมมีคะแนนร้อยละ 10 หมวดการขนส่งมีคะแนนร้อยละ 32 หมวดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมีคะแนนร้อยละ 16 และหมวดการใช้พลังงานมีคะแนนร้อยละ 42 จากคะแนนเต็มร้อยละ โดยการวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะส่วนการใช้พลังงานในอาคารเท่านั้น ส่วนหมวดอื่นๆนั้นจะไม่ได้พิจารณาในการวิจัยนี้ แต่กำหนดค่าตัวเลือกอัตโนมัติไว้สำหรับการศึกษาต่อไป

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารโดยทฤษฎีวิจัยชีวิตพบว่า การใช้พลังงานรวมของอาคารจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็นจำนวน 80-90% ในช่วงอายุอาคารที่ 30-50 ปี ดังนั้นการใช้พลังงานในอาคารถือเป็นปัจจัยหลักของการประเมินประสิทธิภาพอาคาร เพราะเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดที่เกิดจากอาคาร การวิจัยนี้ได้สร้างค่าดัชนีย่อย 7 ตัวแปร สำหรับการประเมินการใช้พลังงานในอาคาร ได้แก่ ดัชนีสภาพแวดล้อม ดัชนีรูปทรงอาคาร ดัชนีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ดัชนีการรั่วซึม ดัชนีการใช้ไฟฟ้าในอาคาร ดัชนีอุปกรณ์ไฟฟ้า ดัชนีประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการใช้พลังงานในอาคารทั้งหมด คือหมวดการใช้พลังงานในอาคารคะแนนร้อยละ 42 ที่ได้กำหนดเกณฑ์ไว้ ส่วนหมวดเกณฑ์ประเมินอื่นๆนั้นไม่ได้มีการศึกษารายละเอียดของตัวแปรของแต่ละหมวดในการวิจัยนี้

รายละเอียดของตัวแปรที่ได้ศึกษาได้แก่

- หมวดการใช้พลังงานในอาคาร

รายละเอียดตัวแปรที่ไม่ได้ศึกษาได้แก่

- หมวดการจัดการสิ่งแวดล้อม
- หมวดการขนส่ง
- หมวดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ดังนั้นตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาในการวิจัยนี้ ยังขาดตัวแปรต่างๆทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ควร จะทำการพิจารณาต่อไป ได้แก่

- หมวดการจัดการสิ่งแวดล้อม หัวข้อการก่อสร้าง ควรจะมีการศึกษาเรื่องระบบการ ก่อสร้างที่ลดปริมาณของเสีย และผลกระทบต่อพื้นที่โดยรอบ การใช้วัสดุ หมุนเวียน หรือใช้ซ้ำ
- หมวดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม หัวข้อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ควรจะมีการศึกษา ด้านมลภาวะต่างๆที่เกิดจากอาคาร อาทิเช่น มลภาวะทางอากาศ มลภาวะทาง เสียง มลภาวะทางน้ำ ปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Heat island effect)
- หมวดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม หัวข้อคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ควรจะมี การศึกษา ด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร สารระเหยตกค้างจากวัสดุ คุณภาพแสง สี เสียง ภายในอาคาร
- หมวดการขนส่ง การวางผังเมือง การวางระบบสาธารณูปการ และทางเลือกใน การสัญจรตั้งแต่ การเดิน จักรยาน รถยนต์ส่วนตัว รถสาธารณะ

การศึกษาตัวแปรอื่นๆนั้นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญหลากหลายสาขาวิชา อาทิเช่นผู้เชี่ยวชาญ ด้านสิ่งแวดล้อมในการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอาคาร ด้านการก่อสร้าง ต้อง อาศัยความรู้ระบบก่อสร้างและวัสดุศาสตร์ ในการพัฒนาระบบการก่อสร้างของประเทศไทย ด้าน การขนส่งต้องสอดคล้องกับการวางผังแม่บท ในการสร้างโครงข่ายการขนส่งของประเทศ โดยแต่ ละตัวแปรมีความสำคัญยิ่ง เพราะการสร้างเกณฑ์มาตรฐานตัวแปรเหล่านี้ จะทำให้สามารถลด การใช้พลังงาน ลดการใช้ทรัพยากร และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศได้ การวิจัยนี้จึง เป็นจุดเริ่มต้นของแนวคิดเกณฑ์การประเมินอาคาร โดยเน้นเรื่องการใช้พลังงานในอาคารเป็นหลัก หากมีการวิจัยตัวแปรจากผู้เชี่ยวชาญสาขาต่างๆ มาประกอบกับแบบประเมินนี้และสามารถ กำหนดเกณฑ์การประเมินอาคารได้ครอบคลุมทุกตัวแปร จะทำให้ได้แบบประเมินอาคารเชิง อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิผลของประเทศในอนาคต

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551-2565 [ออนไลน์]. 2551.
แหล่งที่มา: http://www2.dede.go.th/cdm/511222_2550.pdf [2552, พฤษภาคม 23]
- กัมปนาท กระภูชัช. แนวทางการสร้างแบบประเมินอาคารปรับอากาศเพื่อประสิทธิภาพการ
ประหยัดพลังงานในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชา
สถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2546.
- กาญจนา สิริภัทรวณิช. การใช้ต้นไม้ในการปรับแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อลดการใช้พลังงานใน
อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชา
สถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- เครือข่ายพัฒนา. โครงการ Cool the World [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: [www.cooltheworld-
sahagroup.com/download/CTW_Plan1.pdf](http://www.cooltheworld-sahagroup.com/download/CTW_Plan1.pdf) [2551, มีนาคม 12]
- จิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์. สาระสำคัญด้านสภาวะน่าสบายที่เสริมสร้างอรรถประโยชน์ของบ้านไทยใน
อดีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม
ศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ณัฐภณ วัชรประทีป. การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้
เป็นเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญา
โทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2550.
- ตระการ ก้าวสิกรวม. คู่มือฉนวนความร้อน. กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2537.
- บุญยฤทธิ์ เผือกผ่องสุริยะ. การพัฒนา CLTD และ SCL สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของ
อาคารในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2544.
- ปิยชาติ แก้วแดง. แนวทางการประเมินลักษณะรูปทรงภายนอก และการจัดวางทิศทางอาคารที่
เหมาะสมเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ,
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- พรพนชล์ก สุริโยธิน, คมกฤษ ชูเกียรติมั่น และ อุษณีย์ มิ่งวิมล. การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศเพื่อ

- นำไปใช้ในการออกแบบอาคาร. ใน สารศาสตร์สถาปัตยกรรมศาสตร์ 1, หน้า 110-138. 15-17 ตุลาคม 2540 ณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. เอกสารประกอบหลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพมหานคร: กองฝึกอบรมกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550.
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารพักอาศัย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551ก.
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารที่ไม่ใช่บ้านพักอาศัย(อาคารสาธารณะ). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551ข.
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2551 [ออนไลน์]. 2552ก. แหล่งที่มา: www.dede.go.th [2552, มิถุนายน 9]
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. การใช้พลังงานในสาขาบ้านอยู่อาศัยจำแนกตามชนิดพลังงาน [ออนไลน์]. 2552ข. แหล่งที่มา: www.dede.go.th [2552, มิถุนายน 9]
- รวิข ครอบประเสริฐ. การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในภูมิภาคอีสานชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. อิทธิพลของการห่วงใยความยั่งยืนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- วรภัทร ดินทกานันท์. แนวทางการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานในส่วนผนังอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และ สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์. หลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว ฉบับร่าง-มิถุนายน 2552 [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://download.asa.or.th/GreenBuilding_Draft%20-%20July25520701.pdf [2552, สิงหาคม 28]
- ศศิณ วิบูลย์บัณฑิตยกิจ. อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศ

ผ่านทางผ่านผนังและช่องเปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยี
อาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2543.

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย. การประเมินผลกระทบ
สิ่งแวดล้อม [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา:

<http://www.mtec.or.th/ecodesign2009/images/stories/docs/016.pdf> [2552, มีนาคม
7]

ศูนย์ความเป็นเลิศเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. แนวคิดในการออกแบบเชิง
สิ่งแวดล้อมที่เน้นการพิจารณาด้านระบบนิเวศเป็นหลัก [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา:

<http://www.mtec.or.th/ecodesign2009/images/stories/docs/015.pdf> [2552,
สิงหาคม 21]

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. พจนานุกรมศัพท์วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่
2. กรุงเทพมหานคร: (ม.ป.ท.), 2548.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. การประเมินวัฏจักรชีวิต [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา:

<http://www2.mtec.or.th/website/backend/app/filemn/uploads/LCA.pdf> [2552,
กุมภาพันธ์ 18]

สมพงษ์ นามทวีสุข. แนวทางการสร้างแบบประเมินค่าการรั่วซึมอากาศผ่านประตูหน้าต่าง และ
ผนังอาคารพักอาศัยที่มีการปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชา
สถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2546.

สรารุณ จิตต์เจริญ. แนวทางการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของ
หลังคาอาคารในภูมิภาคเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชา
สถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2546.

สฤกกา พงษ์สุวรรณ. การวิเคราะห์ระดับเอนทัลปีเพื่อหาแนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศ
สำหรับภูมิภาคเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2545.

สฤกกา พงษ์สุวรรณ. แนวทางการใช้ขนวนเชิงบูรณาการสำหรับอาคารในภูมิภาคเขตร้อนชื้น.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

- คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- สุกมล ใหญ่ชีระนันท์. การคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการผลิตไฟฟ้า ของประเทศไทยในปี 2550 [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา:
http://www2.dede.go.th/cdm/511222_2550.pdf [2551, ธันวาคม 8]
- สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ. การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- สุนทร บุญญาธิการ และธนิศ จินดาวงนิค. การใช้แผ่นสะท้อนรังสีความร้อนซีแพคโมเนียกับบ้านพักอาศัยและอาคารทั่วไป. กรุงเทพมหานคร: บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด, 2538.
- สุนทร บุญญาธิการ. การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในอาคาร. วารสารอาษา 7 (มิถุนายน 2541): 94-105.
- สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- สุนทร บุญญาธิการ. การออกแบบประสานระบบ มหาวิทยาลัยชินวัตร. กรุงเทพมหานคร: จีเอ็มแม็ก มีเดีย, 2545.
- สุนทร บุญญาธิการ. บ้านชีวาติตย์ บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- สุนทร บุญญาธิการ. นวัตกรรมการใช้กระจกสำหรับเมืองร้อนขึ้น. กรุงเทพมหานคร: คูลพรีนท์, 2551.
- อโณทัย ธนะเจริญกิจ. การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับโชนสบาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- อุษณีย์ มิ่งวิมล. แนวทางในการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานในอาคารพักอาศัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ภาษาอังกฤษ

- American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineering. 1993
ASHRAE Fundamentals Handbook IP Edition. Atlanta Georgia: ASHRAE, 1993.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineering. 2001
ASHRAE Fundamentals Handbook IP Edition. Atlanta Georgia: (n.p.), 2001.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineering.
ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. Atlanta Georgia: ASHRAE, 2004.
- Bai, X. Industrial ecology and the global impacts of cities. Journal of Industrial Ecology
 11 (April 2007): 1–6.
- Bangkok Metropolitan Administration. Bangkok Metropolitan Administration Action Plan
 on Global Warming Mitigation 2007 – 2012 [Online]. 2007. Available from:
<http://www.baq2008.org/system/files/BMA+Plan.pdf> [2008, May 5]
- Bobenhausen, W. Simplified design of HVAC systems. Parker-ambrose series of
 simplified design guides. New York: Wiley, 1994.
- Brown, M.T., and Buranakarn, V. Emergy indices and ratios for sustainable material
 cycles and recycle options resources. Resources, Conservation and Recycling
 38 (April 2003): 1–22.
- Building Research Establishment. BREEAM 2008 Pre Assessment Est rev03 FINAL
 [Online]. 2008. Available from: <http://www.breeam.org> [2009, June 4]
- Carlson, P.O., and Lundgren, J. Environmental status of buildings, new features in the
 Swedish system for environmental auditing and assessment of building.
Proceedings: Sustainable Building Conference, Oslo, Norway, 23-25 September
 2002. Canada: IISBE, 2002.
- Center for Building Performance Research. Embodied Energy and CO2 Coefficients for
 New Zealand Building Materials [Online]. 2007. Available from:
http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-co2_report_2003.pdf [2009,
 April 22]
- Cole, R. J., and Kernan, P. C. Life-Cycle Energy Use in Office Buildings. Building and
 Environment 31 (July 1996): 307-317.

- Cole, R.J. Building environmental methods: redefining intentions. Building Research & Information 35 (September 2005): 455-467.
- Consoli, F., et al. (eds.), Guidelines for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice", the SETAC Workshop, pp. 1-73. Sesimbra, Portugal, 31 March-3 April, 1993. Brussels, 1993.
- Crawley, D., and Aho, I. Building environmental assessment methods: applications and development trends. Building Research & Information 27 (July 1999): 300-308.
- Ding, C.K.C. Sustainable construction: The role of environmental assessment tools. Journal of Environmental Management 86 (February 2008): 451-464.
- Dudley, Liliana C. Campos. In Conservation of Neotropical Forests: Working from Traditional Resource Use. In Redford, Kent H., and Padoch, C. (eds.), Our Common Future. pp. 228-244. New York: Oxford University Press, 1987.
- Duffie Beckman. Solar Engineering of Thermal Process. New York: A Wiley-Interscience Publication, 1991.
- EM-DAT OFDA/WHO Collaborating Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). International Disaster Database at the Université Catholique de Louvain Brussels, Belgium [Online]. 2007. Available from: <http://www.em-dat.net> [2007, June 4]
- Fanger, P. O. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. New York: McGraw-Hill, 1970.
- Forsberg, A., and von Malmberg, F. Tools for environmental assessment of the built environment. Building and Environment 39 (February 2004): 223-228.
- Global Footprint Network. Ecological Footprint Atlas [Online]. 2008. Available from: http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/ecological_footprint_atlas_2008 [2008, May 18]
- Grace, M. BREEAM – A practical method for assessing the sustainability of buildings for the new millennium. Proceedings of Sustainable Building 2000, pp. 676. Maastricht, the Netherlands. 22-25 October, 2000. the Netherlands: Eneas technical publishers, 2000.
- Green Building Council of Australia. Green Star PILOT rating tools for Multi Unit

- Residential [Online]. 2009. Available from: <http://www.gbca.org.au/> [2009, June 9]
- Haselbach, Liv. The Engineering Guide to LEED-New Construction: Sustainable Construction for Engineers. United State of America: The McGraw-Hill, 2008.
- IUCN-The World Conservation Union, UNEP-United Nations Environment Programme and WWF-World Wide Fund for Nature. Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living. Switzerland: IUCN, 1991.
- Japan Sustainable Building Consortium. CASBEE for New Construction (2008 edition) [Online]. 2009. Available from: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/> [2009, June 9]
- Kofoworola, O. F., and Gheewala, S. H. Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand. The International Journal of Life Cycle Assessment 13 (September 2008): 498-511.
- Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G., and Li, B.-L. Energy budget of the biosphere and civilization: rethinking environmental security of global renewable and non-renewable resources. Ecological Complexity 5 (August 2008): 281–288.
- Odum, H.T. Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making. New York: Wiley, 1996.
- Office of Environmental Policy and Planning. Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Bangkok: Integrated Promotion Technology, 2000.
- Olgay, V. Design with Climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism 4th edition. New Jersey: Princeton University Press, 1973.
- Pataki, D.E., Emmi, P.C., Forster, C.B., Mills, J.I., Pardyjak, E.R., Peterson, T.R., Thompson, J.D., and Dudley-Murphy, E. An integrated approach to improving fossil fuel emissions scenarios with urban ecosystem studies. Ecological Complexity 6 (March 2009): 1–14.
- Reijnders, L., and van Roekel, A. Comprehensive and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. Journal of Cleaner Production 7 (March 1999): 221–225.

- Sarja, A. Predictive and Optimised Life Cycle Management: Buildings and Infrastructure Introduction. New York: Taylor & Francis, 2006.
- Singapore Building Construction Authority. BCA Green Mark Assessment Criteria for New Building [Online]. 2009. Available from: <http://www.gbca.org.au/> [2009, June 9]
- Stein, B., Reynolds, J. S., and McGuiness, W. J. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 7th edition. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- The World Resources Institute. World Resources 1992-93: A Guide to the Global Environment Toward Sustainable Development. New York: Oxford University Press, 1992.
- U.S. Green Building Council. Green Building Rating System for New Construction & Major Renovations (LEED-NC) Version 2.2 [Online]. 2009. Available from: <http://www.usgbc.org/> [2009, June 15]
- Ulgiati, S., Raugei, M., and Bargigli, S. Overcoming the inadequacy of single criterion approaches to life cycle assessment. Ecological Modelling 190 (January 2006): 432–442.
- Wackernagel, M., and Rees, W. Our ecological footprint: reducing human Impact on the Earth. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- WWF Thailand. Witness for Climate Change [Online]. 2006. Available from: <http://www.thaingo.org/cgi-bin/content/content1/show.pl?0305> [2009, June 30]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสะสมของวัสดุ

ตารางแสดงค่าพลังงานสะสมของวัสดุต่างๆในการก่อสร้าง และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุต่าง (ที่มา: จาก Victoria University of Wellington โดยหน่วยงาน Research and Publication by the Center for Building Performance Research ร่วมกับ Building Research Association of New Zealand Wellington)

วัสดุ	MJ/kg	g CO ₂ /kg
ส่วนผสมของแร่หรือเศษหิน (Aggregate, general)	0.04	2.3
แม่น้ำ (river)	0.03	1.6
หินบริสุทธิ์ (virgin rock)	0.06	3.1
อลูมิเนียม บริสุทธิ์ (Aluminium, virgin)	192	8000
อลูมิเนียมแบบอัดรีด (extruded)	202	8354
อลูมิเนียมแบบอัดรีดเคลือบสาร anodized (extruded, anodized)	226	9359
อลูมิเนียมแบบอัดรีดเคลือบสี (extruded, powder coat)	218	9205
อลูมิเนียม นำกลับมาใช้ใหม่ (Aluminium, recycled)	9	622
อลูมิเนียมแบบอัดรีด (extruded)	14.6	721
อลูมิเนียมแบบอัดรีดเคลือบสาร anodized (extruded, anodized)	23.8	887
อลูมิเนียมแบบอัดรีดเคลือบสี (extruded, powder coat)	15.2	731
แอสฟัลต์ (พื้น) (Asphalt paving)	0.2	14.6
ยางมะตอย (วัตถุดิบตั้งต้น) (Bitumen, feedstock)	2.4	171
ยางมะตอย (เชื้อเพลิง) (Bitumen-fuel)	44.3	3020
เยื่อเซลลูโลส (Cellulose)	19.6	612
ซีเมนต์ (Cement)	6.2	994
ซีเมนต์แบบแห้ง (Cement dry)	5.8	967
ซีเมนต์แบบเปียก (Cement wet)	6.5	1021
ซีเมนต์ไฟเบอร์บอร์ด (Cement fibre board)	9.4	629
อิฐเคลือบเซรามิก เทคโนโลยีใหม่ (Ceramic brick, new tech.)	2.7	138
อิฐ เทคโนโลยีเก่า โดยเฉลี่ย (brick, old tech, av.)	6.7	518
อิฐ เทคโนโลยีเก่า โดยถ่าน (brick, old tech, coal)	7.6	684

อิฐ เทคโลยีเก่า โดยก๊าซ (brick, old tech, gas)	5.8	353
ดิน ไม่เผา (Clay unfired)	0.07	4.7
คอนกรีตบล็อก (Concrete block, 200)	0.9	106
บล็อก (block fill)	1.2	156
บล็อก ปั่นแบบ (block fill, pump mix)	1.2	163
คอนกรีตอัดแรง (precast double T)	1.9	214
ซีเมนต์ ปูนฉาบ (grout)	1.5	209
คอนกรีต 17.5 Mpa (Concrete 17.5 Mpa)	0.9	114
คอนกรีต 30 Mpa (Concrete 30 MPa)	1.2	159
คอนกรีต 40 Mpa (Concrete 40 MPa)	1.4	189
ทองแดง บริสุทธิ์แบบแผ่น (Copper, virgin, sheet)	97.6	7738
ทองแดง บริสุทธิ์แบบท่อน และสาย (Copper, virgin, rod, wire)	92.5	7477
ทองแดง นำกลับมาใช้ใหม่แบบท่อ (Copper, recycled, tube)	2.4	112
กระจกใส (Glass, float/tint)	15.9	1735
กระจกลามิเนต (Glass, laminated)	16.3	1743
กระจกเทมเปอร์ (Glass, toughened)	26.4	1918
ปูนฉาบยิปซัม (Gypsum plaster)	3.6	218
แผ่นกระดาษปิดฝาผนัง (plaster board)	7.4	421
โพลีเอทิลีนที่มีค่าความหนาแน่นสูง (HDPE)	51	3447
ฉนวนเซลลูโลส (Insulation cellulose)	4.3	140
ไฟเบอร์กลาส (fibreglass)	32.1	770
โพลีสไตรีน (polystyrene)	58.4	2495
โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	51	3540
ไม้ MDF	11.9	-568
โพลีสไตรีนแบบขยายตัว (Polystyrene-expanded)	58.4	2495
โพลีสไตรีนแบบอัดรีด (Polystyrene-extruded)	58.4	2495
พีวีซีแบบอัดรีด (PVC)	60.9	4349

ทราย (Sand)	0.1	6.9
เหล็กบริสุทธิ์ งานโครงสร้าง (Steel, virgin, structural)	31.3	1242
เหล็กนำกลับมาใช้ใหม่ เหล็กเสริม (Steel recycled, reinf, sections)	8.6	352
เหล็กนำกลับมาใช้ใหม่ เหล็กเส้น (Steel recycled, wire)	12.3	526
สแตนเลส (stainless)	74.8	5457
ไม้สนแปรรูป (Timber, pine)	2.8	-1665
ไม้สนแปรรูป อบแห้งโดยอากาศ (Timber pine, air dri, rough, treat)	3	-1657
ไม้สนแปรรูป อบแห้งโดยอากาศ (Timber pine, air dried, dressed)	3	-1662
ไม้สนแปรรูป อบแห้งโดยแก๊ซ (Timber pine, gas dried, dressed)	9.5	-1349
ไม้สนแปรรูป อบแห้งโดยชีวภาพ (Timber pine, bio dried, dressed)	4.1	-1644
ไม้สนแปรรูป อบแห้งโดยแก๊ซ (Timber pine, gas dried, dressed)	9.7	-1342
ไม้ประกอบจากเศษไม้ (glulam)	13.6	-1141

ภาคผนวก ข
คำสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนวัสดุกรอบอาคาร
(ผนัง หลังคา พื้น กระจก)

ตารางแสดงข้อมูลค่า Resistance และ Coefficient of Transmission (ΣR) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ของวัสดุที่ก่อสร้างอาคารประเภทผนัง

ลำดับ	ประเภทหลังคา	ΣR h ft ² F/Btu	ΣR m ² K/W	U Btu/(h ft ² F)	U W/(m ² K)
1	ผนังโลหะลูกฟูก				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังโลหะลูกฟูก	0.00057	0.00010		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	0.93	0.16	1.075	6.10
2	ผนังไม้ชั้นเดียว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังไม้ชั้นเดียว	0.52	0.09141		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	1.45	0.26	0.690	3.92
3	ผนังไม้ ปิดด้วยไม้อัดหนา 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังไม้	0.85	0.14970		
	ช่องว่างอากาศ 5 ซม.	0.87	0.15		
	ไม้อัดหนา 12 มม.	0.62			
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	3.27	0.47	0.306	2.14
4	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 นิ้ว (0.10 เมตร)				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 นิ้ว (0.10 เมตร)	0.6	0.10567		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	1.53	0.27	0.654	3.71
5	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 6 นิ้ว (0.15 เมตร)				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 6 นิ้ว (0.15 เมตร)	0.90	0.16		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	1.83	0.32	0.546	3.10
6	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 นิ้ว (0.20 เมตร)				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 นิ้ว (0.20 เมตร)	1.20	0.21		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		

	รวม	2.13	0.38	0.469	2.67
7	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 นิ้ว (0.10 เมตร) ใต้ EPS หนา 1 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 นิ้ว (0.10 เมตร)	0.60	0.11		
	EPS หนา 1 นิ้ว	3.85	0.68		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	5.38	0.95	0.186	1.06
8	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 นิ้ว (0.10 เมตร) ใต้ EPS หนา 2 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 นิ้ว (0.10 เมตร)	0.60	0.11		
	EPS หนา 2 นิ้ว	7.70	1.36		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	9.23	1.63	0.108	0.62
9	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 นิ้ว (0.10 เมตร) ใต้ EPS หนา 3 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 นิ้ว (0.10 เมตร)	0.60	0.11		
	EPS หนา 3 นิ้ว	11.50			
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	13.03	0.27	0.077	3.71
10	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.10 เมตร)				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.10 เมตร)	0.45	0.08		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	1.68	0.30	0.595	3.38
11	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.175 เมตร)				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.175 เมตร)	0.90	0.16		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	2.13	0.38	0.469	2.67

12	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 เมตร				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา (0.175 เมตร)	1.80	0.32		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	3.03	0.53	0.330	1.87
13	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.45 เมตร				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.45 เมตร	2.70	0.48		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	3.93	0.69	0.254	1.44
14	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.60 เมตร				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.45 เมตร	3.60	0.63		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	4.83	0.85	0.207	1.18
15	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ใต้ EPS หนา 1 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร	0.45	0.08		
	EPS หนา 1 นิ้ว	3.85	0.68		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	5.53	0.97	0.181	1.03
16	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ใต้ EPS หนา 2 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร	0.45	0.08		
	EPS หนา 2 นิ้ว	7.70	1.36		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		

	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	9.38	1.65	0.107	0.61
17	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ใต้ EPS หนา 3 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร	0.45	0.08		
	EPS หนา 3 นิ้ว	11.55	2.03		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	13.23	2.33	0.076	0.43
18	ก่ออิฐสองชั้นมีช่องว่างตรงกลาง				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร	0.45	0.08		
	ช่องว่างอากาศ 5 ซม.	0.87	0.15		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร	0.45	0.08		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	3.00	0.53	0.333	1.89
19	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ตกแต่งด้วยวิวบอร์ด				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วิวบอร์ด	1.58	0.28		
	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ตกแต่งด้วยวิว				
	บอร์ด	0.45	0.08		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	3.11	0.55	0.322	1.83
20	ผนังอิฐบุลึบหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังอิฐบุลึบหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	0.61	0.11		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	1.84	0.32	0.543	3.09
21	ผนังอิฐบุลึบหนา 4 นิ้ว (0.12-0.13 เมตร)				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		

	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังอิฐบุลึอกหนา 4 นิ้ว (0.12-0.13 เมตร)	0.71	0.13		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	1.94	0.34	0.515	2.93
22	ผนังอิฐบุลึอกหนา 8 นิ้ว (0.19-0.20เมตร)				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังอิฐบุลึอกหนา 8 นิ้ว (0.19-0.20เมตร)	1.11	0.20		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	2.34	0.41	0.427	2.43
23	ผนังอิฐบุลึอกหนา 0.10 เมตร ใต้ EPS หนา 1 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังอิฐบุลึอกหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	0.61	0.11		
	EPS หนา 1 นิ้ว	3.85	0.68		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	5.69	1.00	0.176	1.00
24	ผนังอิฐบุลึอกหนา 0.10 เมตร ใต้ EPS หนา 2 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังอิฐบุลึอกหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	0.61	0.11		
	EPS หนา 2 นิ้ว	7.70	1.36		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	9.54	1.68	0.105	0.60
25	ผนังอิฐบุลึอกหนา 0.10 เมตร ใต้ EPS หนา 3 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังอิฐบุลึอกหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	0.61	0.11		
	EPS หนา 3 นิ้ว	11.55	2.03		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		

	รวม	13.39	2.36	0.075	0.42
26	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร) ฟิล์มอากาศภายนอก ปูนฉาบ ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร) ปูนฉาบ ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.15 1.86 0.15 0.68	0.04 0.03 0.33 0.03 0.12		
	รวม	3.09	0.54	0.324	1.84
27	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 4 นิ้ว (0.12-0.13 เมตร) ฟิล์มอากาศภายนอก ปูนฉาบ ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 4 นิ้ว (0.12-0.13 เมตร) ปูนฉาบ ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.15 2.48 0.15 0.68	0.04 0.03 0.44 0.03 0.12		
	รวม	3.71	0.65	0.270	1.53
28	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 8 นิ้ว (0.19-0.20 เมตร) ฟิล์มอากาศภายนอก ปูนฉาบ ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 8 นิ้ว (0.19-0.20 เมตร) ปูนฉาบ ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.15 4.96 0.15 0.68	0.04 0.03 0.87 0.03 0.12		
	รวม	6.19	1.09	0.162	0.92
29	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 เมตร ใส้ EPS หนา 1 นิ้ว ฟิล์มอากาศภายนอก ปูนฉาบ ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร) EPS หนา 1 นิ้ว ปูนฉาบ ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.15 1.86 3.85 0.15 0.68	0.04 0.03 0.33 0.68 0.03 0.12		
	รวม	6.94	1.22	0.144	0.82
30	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 เมตร ใส้ EPS หนา 2 นิ้ว ฟิล์มอากาศภายนอก ปูนฉาบ ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร) EPS หนา 2 นิ้ว	0.25 0.15 1.86 7.70	0.04 0.03 0.33 1.36		

	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	10.79	1.90	0.093	0.53
31	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 เมตร ใต้ EPS หนา 3 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 3 นิ้ว (0.90-0.10 เมตร)	1.86	0.33		
	EPS หนา 3 นิ้ว	11.55	2.03		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	14.64	2.58	0.068	0.39
32	แผ่นผนังสำเร็จกรูด้วยแผ่นอลูมิเนียม				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	แผ่นอลูมิเนียม	0.834	0.15		
	แผ่นผนังสำเร็จ	0.086	0.02		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	2.00	0.35	0.500	2.84
33	แผ่นผนังสำเร็จกรูด้วยแผ่นวีว้าบอร์ด				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	แผ่นวีว้าบอร์ด	1.578	0.28		
	แผ่นผนังสำเร็จ	0.086	0.02		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	2.74	0.48	0.364	2.07
34	Sandwich Panel 6 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	หลังคาแผ่นโลหะ	0.00057	0.00		
	EPS 6 นิ้ว	23.10	4.07		
	หลังคาแผ่นโลหะ	0.00057	0.00		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	24.03	4.23	0.042	0.24
35	แผ่นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใต้ EPS หนา 1 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	BASE COAT	0.15	0.03		

	EPS หน้า1 นิ้ว	3.85	0.68		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ช่องว่างอากาศ 5 ซม.	0.87	0.15		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	6.85	1.21	0.146	0.83
36	แผ่นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใต้ EPS หน้า 2 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	BASE COAT	0.15	0.03		
	EPS หน้า 2 นิ้ว	7.70	1.36		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ช่องว่างอากาศ 5 ซม.	0.87	0.15		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	10.70	1.88	0.093	0.53
37	แผ่นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใต้ EPS หน้า 3 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	BASE COAT	0.15	0.03		
	EPS หน้า 3 นิ้ว	11.55	2.03		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ช่องว่างอากาศ 5 ซม.	0.87	0.15		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	<u>รวม</u>	14.55	2.56	0.069	0.39
38	แผ่นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใต้ EPS หน้า 4 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	BASE COAT	0.15	0.03		
	EPS หน้า 4 นิ้ว	15.40	2.71		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ช่องว่างอากาศ 5 ซม.	0.87	0.15		

	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	18.40	3.24	0.054	0.31
39	แผ่นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใต้ EPS หนา 6 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	BASE COAT	0.15	0.03		
	EPS หนา 6 นิ้ว	23.10	4.07		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ช่องว่างอากาศ 5 ซม.	0.87	0.15		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ปูนฉาบ	0.15	0.03		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.68	0.12		
	รวม	26.10	4.60	0.038	0.22

ตารางแสดงข้อมูลค่า Resistance และ Coefficient of Transmission (ΣR) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ของวัสดุก่อสร้างอาคารประเภทหลังคา

ลำดับ	ประเภทหลังคา	ΣR	ΣR	U	U
		h ft ² F/Btu	m ² K/W	Btu/(h ft ² F)	W/(m ² K)
1	หลังคาสังกะสีไม่มีฝ้าเพดาน				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	หลังคาสังกะสี	0.00057	0.00010		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	1.01	0.18	0.990	5.62
2	หลังคาสังกะสี มีฝ้าเพดาน 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	หลังคาสังกะสี	0.00057	0.00010		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	1.37	0.24		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	2.83	0.50	0.353	2.01
3	หลังคาแผ่นโลหะไม่มีฝ้าเพดาน				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	หลังคาแผ่นโลหะ	0.00057	0.00010		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	1.01	0.18	0.990	5.62
4	หลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	หลังคาแผ่นโลหะ	0.00057	0.00010		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	1.37	0.24		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	2.83	0.50	0.353	2.01
5	หลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	หลังคาแผ่นโลหะ	0.00057	0.00		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	4.62	0.81		
	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	11.00	1.94		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		

	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	17.08	3.01	0.059	0.33
6	หลังคากระเบื้องดินเผา ไม่มีฝ้าเพดาน ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องดินเผา ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.03 0.76	0.04 0.01 0.13		
	รวม	1.04	0.18	0.962	5.46
7	หลังคากระเบื้องดินเผา มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องดินเผา ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. ยิปซัมบอร์ด 12 มม. ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.03 1.37 0.45 0.76	0.04 0.01 0.24 0.08 0.13		
	รวม	2.86	0.50	0.350	1.99
8	หลังคากระเบื้องดินเผา มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องดินเผา ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ยิปซัมบอร์ด 12 มม. ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.03 4.62 11.00 0.45 0.76	0.04 0.01 0.81 1.94 0.08 0.13		
	รวม	17.11	3.01	0.058	0.33
9	หลังคากระเบื้องลอนคู่ ไม่มีฝ้าเพดาน ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องลอนคู่ ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.03 0.76	0.04 0.01 0.13		
	รวม	1.04	0.18	0.962	5.46
10	หลังคากระเบื้องดินเผา มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องดินเผา ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. ยิปซัมบอร์ด 12 มม. ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.03 1.37 0.45 0.76	0.04 0.01 0.24 0.08 0.13		
	รวม	2.86	0.50	0.350	1.99

11	หลังคากระเบื้องดินเผา มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องดินเผา ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ยิปซัมบอร์ด 12 มม. ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.03 4.62 11.00 0.45 0.76	0.04 0.01 0.81 1.94 0.08 0.13		
	รวม	17.11	3.01	0.058	0.33
12	หลังคากระเบื้องคอนกรีต หน้า 6 มม. ไม่มีฝ้าเพดาน ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องคอนกรีต ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.04 0.76	0.04 0.01 0.13		
	รวม	1.05	0.18	0.956	5.43
13	หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องคอนกรีต ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. ยิปซัมบอร์ด 12 มม. ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.04 1.37 0.45 0.76	0.04 0.01 0.24 0.08 0.13		
	รวม	2.87	0.50	0.349	1.98
14	หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม.แผ่นอลูมิเนียม พอยด์ ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องคอนกรีต ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. พอยด์ ยิปซัมบอร์ด 12 มม. ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.25 0.04 4.62 0.000029 0.45 0.76	0.04 0.01 0.81 0.00 0.08 0.13		
	รวม	6.12	1.08	0.164	0.93
15	หลังคากระเบื้องคอนกรีต มีฝ้าเพดาน 12 มม.ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ฟิล์มอากาศภายนอก หลังคากระเบื้องคอนกรีต ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม. ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.25 0.04 4.62 11.00	0.04 0.01 0.81 1.94		

	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	17.12	3.01	0.058	0.33
16	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร ไม่มีฝ้าเพดาน				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร	0.60	0.11		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	1.91	0.34	0.524	2.97
17	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร ไม่มีฝ้าเพดาน				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร	0.90	0.16		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	2.21	0.39	0.452	2.57
18	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.20 เมตร ไม่มีฝ้าเพดาน				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.20 เมตร	1.20	0.21		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	2.51	0.44	0.398	2.26
19	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร	0.60	0.11		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	1.51	0.27		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	3.87	0.68	0.258	1.47
20	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร	0.90	0.16		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	1.51	0.27		

	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	4.17	0.73	0.240	1.36
21	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.20 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.20 เมตร	1.20	0.21		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	1.51	0.27		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	4.47	0.79	0.224	1.27
22	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร	0.60	0.11		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	6.66	1.17		
	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	11.00	1.94		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.92	0.16		
	รวม	20.18	3.55	0.050	0.28
23	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.15 เมตร	0.90	0.16		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	6.66	1.17		
	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	11.00	1.94		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.92	0.16		
	รวม	20.48	3.61	0.049	0.28
24	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.20 เมตร มีฝ้าเพดาน 12 มม.				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05		

	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.20 เมตร	1.20	0.21		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	6.66	1.17		
	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	11.00	1.94		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.92	0.16		
	<u>รวม</u>	20.78	3.66	0.048	0.27
25	หลังคาแอสฟัลท์ มีฝ้าเพดาน 12 มม. ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	หลังคาแอสฟัลท์	0.44	0.08		
	ไม้ฉัดหนา 18 มม.	0.93	0.16		
	ช่องว่างอากาศ 8.75 ซม.	4.62	0.81		
	ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	22.00	3.87		
	ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.45	0.08		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	<u>รวม</u>	29.45	5.19	0.034	0.19

ตารางแสดงข้อมูลค่า Resistance และ Coefficient of Transmission (ΣR) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ของวัสดุก่อสร้างอาคารประเภทพื้น

ลำดับ	ประเภทหลังคา	ΣR h ft ² F/Btu	ΣR m ² K/W	U Btu/(h ft ² F)	U W/(m ² K)
1	พื้นไม้				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	พื้นไม้	0.85	0.14970		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.61	0.11		
	รวม	1.71	0.30	0.585	3.32
2	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ปูกระเบื้อง				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05284		
	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว	0.60	0.11		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	1.91	0.34	0.524	2.97
3	พื้นคอนกรีตหนา 6 นิ้ว ปูกระเบื้อง				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05284		
	พื้นคอนกรีตหนา 6 นิ้ว	0.90	0.16		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	2.21	0.39	0.452	2.57
4	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว ปูกระเบื้อง				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05284		
	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว	1.20	0.21		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	2.51	0.44	0.398	2.26
5	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ปูกระเบื้องยาง				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.20	0.03522		
	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว	0.60	0.11		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	1.81	0.32	0.552	3.14
6	พื้นคอนกรีตหนา 6 นิ้ว ปูกระเบื้องยาง				

	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.20	0.03522		
	พื้นคอนกรีตหนา 6 นิ้ว	0.90	0.16		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	2.11	0.37	0.474	2.69
7	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว ปูกระเบื้องยาง				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.20	0.03522		
	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว	1.20	0.21		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	2.41	0.42	0.415	2.36
8	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ปูพรม				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	2.23	0.39274		
	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว	0.60	0.11		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	3.84	0.68	0.260	1.48
9	พื้นคอนกรีตหนา 6 นิ้ว ปูพรม				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	2.23	0.39274		
	พื้นคอนกรีตหนา 6 นิ้ว	0.90	0.16		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	4.14	0.73	0.242	1.37
10	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว ปูพรม				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	2.23	0.39274		
	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว	1.20	0.21		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	รวม	4.44	0.78	0.225	1.28
11	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ปูกระเบื้อง ฉนวน EPS 2 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	0.30	0.05284		
	EPS หนา 2 นิ้ว	8.70	1.53		
	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว	0.60	0.11		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		

		<u>รวม</u>	10.61	1.87	0.094	0.54
12	พื้นที่คอนกรีตหนา 6 นิ้ว ปูกระเบื้อง จำนวน EPS 2 นิ้ว					
	ฟิล์มอากาศภายนอก		0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว		0.30	0.05284		
	EPS หนา 2 นิ้ว		8.70	1.53		
	พื้นที่คอนกรีตหนา 6 นิ้ว		0.90	0.16		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศหนึ่ง)		0.76	0.13		
		<u>รวม</u>	10.91	1.92	0.092	0.52
13	พื้นที่คอนกรีตหนา 8 นิ้ว ปูกระเบื้อง จำนวน EPS 2 นิ้ว					
	ฟิล์มอากาศภายนอก		0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว		0.30	0.05284		
	EPS หนา 2 นิ้ว		8.70	1.53		
	พื้นที่คอนกรีตหนา 8 นิ้ว		1.20	0.21		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศหนึ่ง)		0.76	0.13		
		<u>รวม</u>	11.21	1.97	0.089	0.51
14	พื้นที่คอนกรีตหนา 4 นิ้ว ปูกระเบื้องยาง จำนวน EPS 2 นิ้ว					
	ฟิล์มอากาศภายนอก		0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว		0.20	0.03522		
	EPS หนา 2 นิ้ว		8.70	1.53		
	พื้นที่คอนกรีตหนา 4 นิ้ว		0.60	0.11		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศหนึ่ง)		0.76	0.13		
		<u>รวม</u>	10.51	1.85	0.095	0.54
15	พื้นที่คอนกรีตหนา 6 นิ้ว ปูกระเบื้องยาง จำนวน EPS 2 นิ้ว					
	ฟิล์มอากาศภายนอก		0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว		0.20	0.03522		
	EPS หนา 2 นิ้ว		8.70	1.53		
	พื้นที่คอนกรีตหนา 6 นิ้ว		0.90	0.16		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศหนึ่ง)		0.76	0.13		
		<u>รวม</u>	10.81	1.90	0.093	0.53
16	พื้นที่คอนกรีตหนา 8 นิ้ว ปูกระเบื้องยาง จำนวน EPS 2 นิ้ว					
	ฟิล์มอากาศภายนอก		0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว		0.20	0.04		
	EPS หนา 2 นิ้ว		8.70	1.53		

	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว	1.20	0.21		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	<u>รวม</u>	11.11	1.96	0.090	0.51
17	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ปูพรม ฉนวน EPS 2 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	2.23	0.39274		
	EPS หนา 2 นิ้ว	8.70	1.53		
	พื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว	0.60	0.11		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	<u>รวม</u>	12.54	2.21	0.080	0.45
18	พื้นคอนกรีตหนา 6 นิ้ว ปูพรม ฉนวน EPS 2 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	2.23	0.39274		
	EPS หนา 2 นิ้ว	8.70	1.53		
	พื้นคอนกรีตหนา 6 นิ้ว	0.90	0.16		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	<u>รวม</u>	12.84	2.26	0.078	0.44
19	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว ปูพรม ฉนวน EPS 2 นิ้ว				
	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	0.04		
	วัสดุปูผิว	2.23	0.39274		
	EPS หนา 2 นิ้ว	8.70	1.53		
	พื้นคอนกรีตหนา 8 นิ้ว	1.20	0.21		
	ฟิล์มอากาศภายใน (อากาศนิ่ง)	0.76	0.13		
	<u>รวม</u>	13.14	2.31	0.076	0.43

ตารางแสดงข้อมูลค่า Resistance และ Coefficient of Transmission (ΣR) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ของวัสดุก่อสร้างอาคารประเภทกระจก

ลำดับ	ประเภทหลังคา	ΣR h ft ² F/Btu	ΣR m ² K/W	U Btu/(h ft ² F)	U W/(m ² K)
1	กระจกใส				
	กระจกใส หนา 3 มม.	0.948	0.17	1.055	5.99
	กระจกใส หนา 4 มม.	0.953	0.17	1.049	5.96
	กระจกใส หนา 6 มม.	0.964	0.17	1.037	5.89
	กระจกใส หนา 8 มม.	0.975	0.17	1.026	5.82
	กระจกใส หนา 10 มม.	0.986	0.17	1.014	5.76
2	กระจกที่มีการแผ่รังสีต่ำ (Low-E)				
	กระจกLow-E หนา 3 มม.	1.568	0.28	0.638	3.62
	กระจกLow-E หนา 4 มม.	1.574	0.28	0.635	3.61
	กระจกLow-E หนา 6 มม.	1.586	0.28	0.631	3.58
	กระจกLow-E หนา 10 มม.	1.598	0.28	0.626	3.55
3	กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Reflective)				
	กระจกHeat-Reflective หนา 6 มม.	1.849	0.33	0.541	3.07
	กระจกHeat-Reflective หนา 10 มม.	1.866	0.33	0.536	3.04
	กระจกHeat-Reflective หนา 24 มม.	2.941	0.52	0.340	1.93
4	กระจกนิรภัยหลายชั้น (Laminated)				
	กระจกLaminated 6 มม. (กระจกใส 3 + 3 มม.)	1.591	0.28	0.629	3.57
	กระจกLaminated 8 มม. (กระจกใส 4 + 4 มม.)	1.603	0.28	0.624	3.54
	กระจกLaminated 10 มม. (กระจกใส 6 + 4 มม.)	1.615	0.28	0.619	3.52
	กระจกLaminated 12 มม. (กระจกใส 6 + 6 มม.)	1.627	0.29	0.615	3.49
5	กระจกฮีตสต็อป (Heat-Stop)				
	กระจกHeat-Stop 24 มม.	2.941	0.52	0.340	1.93
	กระจกHeat-Stop 26 มม.	3.030	0.53	0.330	1.87
	กระจกHeat-Stop 28 มม.	3.125	0.55	0.320	1.82

ภาคผนวก ค
แบบสอบถาม

แบบสอบถาม

โครงการประเมินการใช้โปรแกรมการสร้างแบบประเมินบ้านรัชนีเวชสำหรับภูมิภาคอื่นขึ้น

แบบสอบถามนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม สำหรับเป็นข้อมูลในการปรับปรุงและขอความคิดเห็นเพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมนี้ต่อไป

ชื่อ

อาชีพ

ความเชี่ยวชาญพิเศษ

วันและเวลา ที่ประเมิน

คำถามส่วนที่ 1

1. ท่านมีประสบการณ์ด้านการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานหรือไม่

ไม่มีประสบการณ์

มีประสบการณ์.....ปี

2. ท่านเคยใช้โปรแกรมอนุรักษ์พลังงานเพื่อการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารหรือไม่

ไม่เคย

เคย (โปรดระบุโปรแกรมที่ท่านเคยใช้งาน)

1).....

2).....

3).....

3. ท่านคิดว่าอะไรคืออุปสรรคต่อการใช้โปรแกรมอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำหรับท่าน

1).....

2).....

3).....

คำถามส่วนที่ 2

โปรดทำเครื่องหมาย X ในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมนี้มากนักน้อยเพียงใด

ความคิดเห็นโปรแกรมที่ทดสอบ	ระดับคะแนน				
	มาก	ค่อนข้างมาก	ปานกลาง	ค่อนข้างน้อย	น้อย
1. โปรแกรมเข้าใจง่าย					
2. โปรแกรมใช้งานง่าย					
3. ท่านคิดว่าโปรแกรมนี้สามารถใช้ในการตรวจสอบการออกแบบอาคารของท่านได้					
4. ท่านคิดว่าโปรแกรมนี้ช่วยท่านตัดสินใจและเป็นทางเลือกในการออกแบบงานจริงได้					

เวลาในการใช้โปรแกรม

- 1) การถอดแบบก่อสร้างอาคารตัวอย่าง..... นาที/ชั่วโมง
- 2) การกรอกข้อมูลในโปรแกรมเพื่อการประมวลผล..... นาที/ชั่วโมง

ข้อเสนอแนะ

1. ท่านคิดว่าโปรแกรมนี้มีข้อดี และข้อด้อยอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ท่านคิดว่าโปรแกรมนี้ควรมีการปรับปรุงอย่างไร

ด้านการกรอกข้อมูล

.....

.....

.....

ด้านการประมวลผล

.....

.....

.....

อื่นๆ

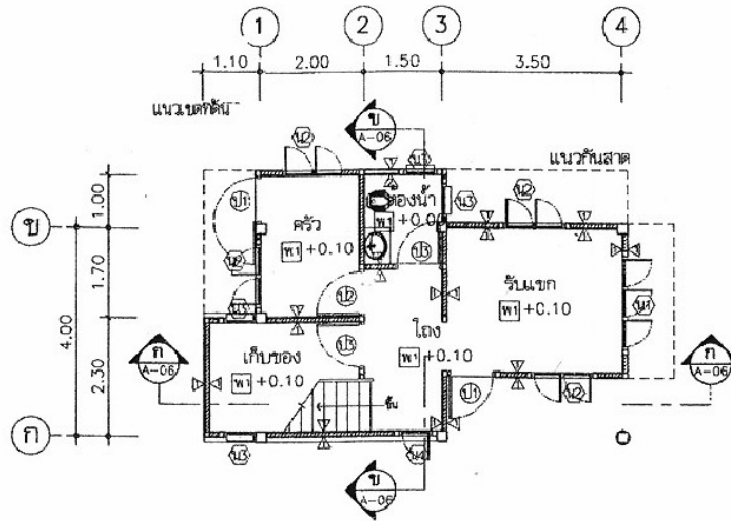
.....

.....

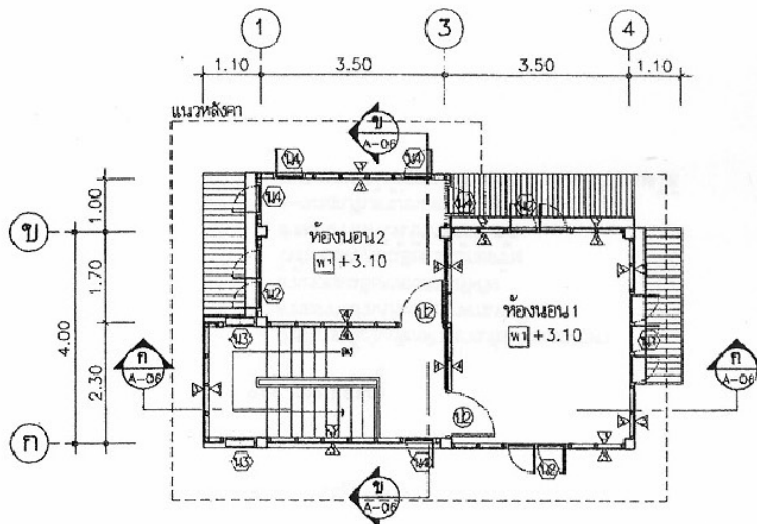
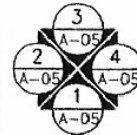
.....

-ขอบพระคุณ-

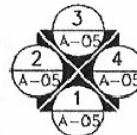
การทดสอบแบบประเมินบ้านพักอาศัยแบบประหยัด 3(กรมโยธาธิการและผังเมือง)

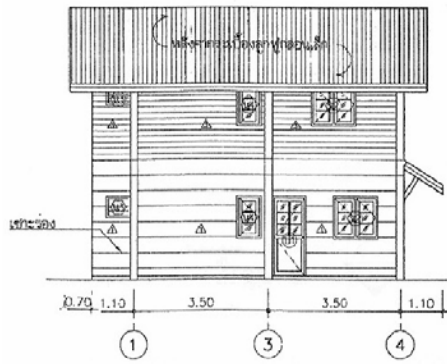


แปลนพื้นที่ 1
มาตราส่วน 1:100

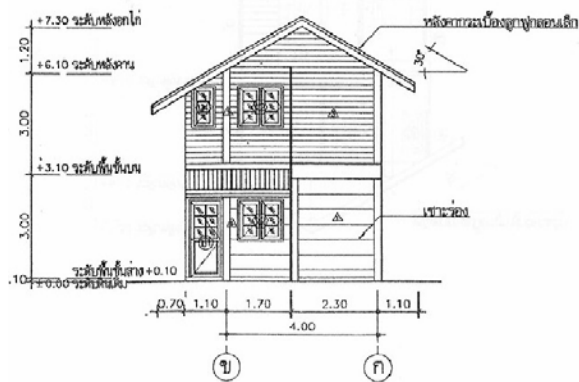


แปลนพื้นที่ 2
มาตราส่วน 1:100

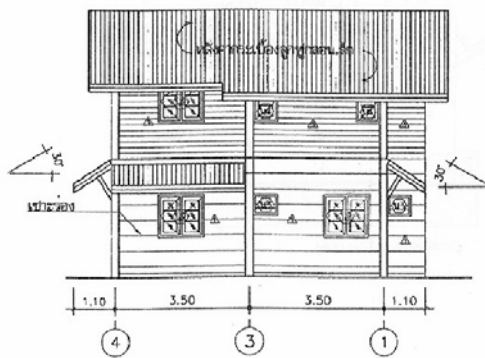




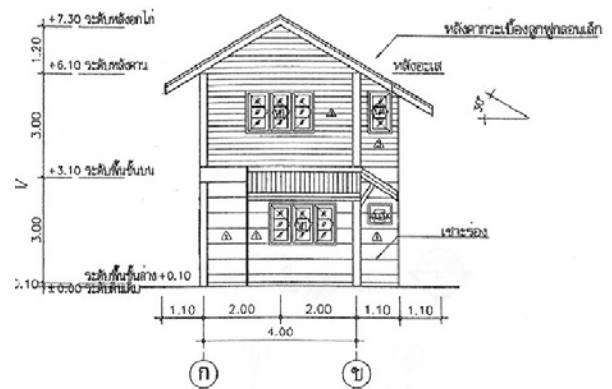
รูปด้าน 1
มาตราส่วน 1:100



รูปด้าน 2
มาตราส่วน 1:100



รูปด้าน 3
มาตราส่วน 1:100



รูปด้าน 4
มาตราส่วน 1:100

รายละเอียดของอาคาร

พื้นที่การใช้งาน.....ตารางเมตร

พื้นที่หลังคา.....ตารางเมตร

ผู้พักอาศัย.....คน

รายละเอียดของวัสดุก่อสร้าง

หลังคากระเบื้องคอนกรีตมี ฝ้าเพดาน พร้อมยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม.

ผนัง ก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูน 2 ด้าน

พื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก 0.15 ปูกระเบื้องเซรามิก

กระจกบานเปิด ความหนากระจก 6 มม.

การคำนวณพื้นที่อาคาร

พื้นที่	ความสูงของห้อง (ม.)	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)
ชั้นที่ 1			
ชั้นที่ 2			

ผนังด้านทิศเหนือ				
ผนังทับ	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1				
ชั้นที่ 2				
ชั้นที่ 3				
ผนังด้านทิศใต้				
ผนังทับ	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1				
ชั้นที่ 2				
ชั้นที่ 3				
ผนังด้านทิศออก				
ผนังทับ	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1				
ชั้นที่ 2				
ชั้นที่ 3				
ผนังด้านทิศตก				
ผนังทับ	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1				
ชั้นที่ 2				
ชั้นที่ 3				

ตัวอย่างการทดสอบแบบประเมินบ้านแบบที่ 3(กรมโยธาธิการและผังเมือง)

บ้านแบบที่ 3
บ้าน 2 ชั้น 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ

พื้นที่ใช้สอย 197 ตร.ม.
ขนาดบ้าน 10 ม. x 16 ม.
เนื้อที่ดิน อย่างน้อย 71 ตร.วา.
หน้ากว้างอย่างน้อย 14.2 ม.
ค่าก่อสร้าง (ไม่รวมภาษี ค่าโง่และค่าดำเนินการ: ฌ.ย.2551)
รวม 2,623,022 บาท แบ่งเป็น

งานโครงสร้าง 1,092,982 บาท
งานตกแต่งสถาปัตยกรรม 1,258,490 บาท
งานระบบไฟฟ้า 62,950 บาท
งานประปา สุขาภิบาล A/C 208,800 บาท



บ้านแบบที่ 3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง: 23.2 วัตต์/ตร.ม.



แปลนชั้น 1



แปลนชั้น 2

พื้นที่ใช้สอย 197 ตารางเมตร

ห้องนอน 1 (ชั้นบน)	31 ตร.ม.
ห้องนอน 2 (ชั้นบน)	20 ตร.ม.
ห้องนอน 3 (ชั้นล่าง)	20 ตร.ม.
ห้องนั่งเล่น-ทานอาหาร	28 ตร.ม.
ห้องน้ำชั้นบน	7 ตร.ม.
ห้องน้ำชั้นล่าง 7 ตร.ม.	7 ตร.ม.
ห้องครัว เตรียมอาหาร	10.5 ตร.ม.
ห้องอเนกประสงค์ ทำงาน	7 ตร.ม.
เก็บของ (ชั้นบน)	7 ตร.ม.
ทางเดินภายใน+บันได	40.5 ตร.ม.
เฉลียง + ระเบียง	26 ตร.ม.






รายละเอียดของอาคาร

พื้นที่การใช้งาน.....184.....ตารางเมตร

พื้นที่หลังคา.....186.....ตารางเมตร

ผู้พักอาศัย.....3.....คน

รายละเอียดของวัสดุก่อสร้าง

หลังคา เหล็กกรีดลอน มีฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว ฝ้าเพดาน ยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม.

ผนัง ก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูน 2 ด้าน

พื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก 0.15 ปูกระเบื้องเซรามิก

กระจกบานเลื่อน ความหนากระจก 6 มม.

การคำนวณพื้นที่อาคาร

พื้นที่	ความสูงของห้อง (ม.)	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)
ชั้นที่ 1	3	8	13
ชั้นที่ 2	3	8	10

ผนังด้านทิศเหนือ				
ผนังที่	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1	3	8	19.6	
ชั้นที่ 2	3	8	0	
ชั้นที่ 3				
ผนังด้านทิศใต้				
ผนังที่	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1	3	8	30	
ชั้นที่ 2	3	8	0	
ชั้นที่ 3				
ผนังด้านทิศออก				
ผนังที่	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1	3	13	11.12	
ชั้นที่ 2	3	13	0	
ชั้นที่ 3				
ผนังด้านทิศตก				
ผนังที่	ความสูงของห้อง (ม.)	ความยาว (ม.)	พื้นที่ผนังโปร่ง แสง (ตร.ม.)	พื้นที่ประตู (ตร.ม.)
ชั้นที่ 1	3	10	11.12	
ชั้นที่ 2	3	10	0	
ชั้นที่ 3				

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว จิตพัทธ์ หนองเรือวิวัฒน์

เกิดวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2518 ที่กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

2545 ปริญญามหาบัณฑิต สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2541 ปริญญาบัณฑิต สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ประวัติการทำงาน

ปัจจุบัน ผู้จัดการส่วนบริษัทไอดีไซน์ จำกัด (ส่วนงานวิจัยและพัฒนา)

2547 สถาปนิก บริษัท DQ Property Corporation Limited

2545 สถาปนิก บริษัท Viriyah Energy Design Architecture Co., Ltd

2543 สถาปนิก บริษัท DCM 2000 จำกัด

ประสบการณ์อื่นๆ

2552 ดูงาน ณ ประเทศเนเธอร์แลนด์

2551 ดูงาน ณ ประเทศเยอรมนี (โครงการบ้านประหยัดพลังงาน และพลังงานทดแทน)

2550 ดูงาน ณ ประเทศญี่ปุ่น (ระบบการก่อสร้างบ้านแบบสำเร็จรูป)

2550 อบรมหลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของกรมพัฒนาพลังงาน
ทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน