การประเมินวัฏจักรชีวิตและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย

นางสาวอัจฉรียา ชัยยะสมุทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE-CYCLE ASSESSMENT AND CO2 EMISSIONS OF OPAQUE WALL MATERIALS IN RESIDENTIAL BUILDING

Miss Achareeya Chaiyasamut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินวัฏจักรชีวิตและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย
โดย	นางสาวอัจฉรียา ชัยยะสมุทร
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์)

…… อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

…… กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ยุวรี อินนา)

อัจฉรียา ชัยยะสมุทร : การประเมินวัฏจักรชีวิตและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย. (LIFE-CYCLE ASSESSMENT AND CO2 EMISSIONS OF OPAQUE WALL MATERIALS IN RESIDENTIAL BUILDING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 166 หน้า.

ปัจจุบันปัญหาสภาวะโลกร้อน กำลังเป็นปัญหาใหญ่ที่มีการกล่าวถึงกันเป็นจำนวนมาก เนื่องจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติมากมาย สาเหตุของสภาวะโลกร้อนเกิดจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิง เป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง ที่มีสัดส่วนเกินกว่าครึ่งหนึ่งของทั้งหมด ดังนั้นการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเป็นทางหนึ่งที่ช่วยลดสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ รวบรวมข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากปริมาณการใช้พลังงานของวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอนของวัสดุผนังทึบ ได้แก่ (1) ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ (2) การผลิตวัสดุ (3)การก่อสร้างอาคาร (4)การใช้งานอาคาร และ(5)การรื้อถอนอาคาร วัสดุผนังทึบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี 5 ชนิด ได้แก่ ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูน ผนังคอนกรีตมวลเบา ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เพื่อเสนอแนวทางการใช้งานวัสดุผนังทึบของอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 98.64 ตารางเมตร โดยศึกษาอายุอาคารช่วงระยะเวลา 1 ปี 15 ปี 30 ปี และ 50 ปี การวิจัยเริ่มจากรวบรวมข้อมูลของปริมาณพลังงานสะสมรวมของวัสดุของวัฏจักรชีวิต ส่วนขั้นตอนการใช้งานอาคารนั้นคำนวณจากภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ นำปริมาณพลังงานทั้งหมดเปรียบเทียบเป็นพลังงานไฟฟ้า และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่า ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด ในขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร และขั้นตอนการใช้งานอาคาร สำหรับขั้นตอนการรื้อถอนอาคารนั้น เมื่อนำปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของผนังวัสดุทึบแต่ละชนิด มาเปรียบเทียบเป็นพื้นที่ป่าปลูกเทียบเท่าทดแทนพบว่า ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน มีปริมาณพื้นที่ป่าปลูกเทียบเท่าทดแทนมากที่สุด ผนังโฟมคอนกรีตบล็อกและผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก มีปริมาณพื้นที่ป่าปลูกเทียบเท่าทดแทนน้อยที่สุด ดังนั้นวัสดุผนังทึบที่เหมาะสมในการนำมาใช้ออกแบบและก่อสร้างบ้านพักอาศัยมากที่สุด คือ ผนังโฟมคอนกรีตบล็อกและผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก เพราะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2551 .....

4974173025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: CO2 EMISSIONS / LIFE CYCLE ASSESSMENT / OPAQUE WALL MATERIALS / ENERGY CONSUMPTION

ACHAREEYA CHAIYASAMUT: LIFE-CYCLE ASSESSMENT AND CO2 EMISSIONS OF OPAQUE WALL MATERIALS IN RESIDENTIAL BUILDING. ADVISOR: ASSOC. PROF. VORASUN BURANAKARN Ph.D., 166 pp.

Global warming is an important problem today with its influence in causing the climate change and natural disaster. The increase of green house gases (GHGs) has a huge impact in causing global warming with the most prevalent GHGs substance being Carbon dioxide (CO_2). The majority of CO_2 emissions come from the combustion of fuel. An increase of CO_2 emissions from places of residence plays an important role in global warming.

The objective of this research is to evaluate energy consumption data of five life-cycle processes as extracting, raw materials processing, manufacturing, building construction, building usage and demolition. Opaque wall materials include common brick, cement block, autoclaved aerated concrete, EPS foam concrete block and Exterior Insulation Finished System (EIFS). Then, for environmental impact concern, data were analyzed and compared to provide the suggestion of opaque wall to designer. The building lifetime of two-story houses of 1 year, 15 years, 30 years and 50 years were compared. Embodied energy of five life-cycle stages were analyzed while cooling load calculations were used as the energy consumption in kWh of electricity during building operation as well as CO_2 emissions respectively.

It was found common brick has the most CO_2 emission in the building construction and using process for 50 year lifetime. Considering greenhouse gas emission as the area to grow the tree, Common brick requires maximum green area in the forest while EPS foam concrete block and EIFS need minimum of green area. Then, the best opaque wall material for residential buildings is EPS foam concrete block and EIFS which can reduce the amount of CO_2 emissions contributing to global warming.

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

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

Academic Year : 2008 .

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งจากอาจารย์และผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ ผู้อำนวยการศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม อีกทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร และรองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมถึงความช่วยเหลือต่างๆ ต่อผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องชาย สำหรับความเข้าใจ ความอดทน และกำลังใจ กำลังกาย กำลังทรัพย์ที่ให้เสมอมา อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมชั้น 11 สำหรับคำแนะนำ กำลังใจ ความช่วยเหลือต่างๆ ที่มากมายจนไม่สามารถเขียนบรรยายขอบคุณได้หมด และขอบคุณ คุณมหาคุโณ (ปริญญา) ทุกกำลังใจ เวลา และคำปรึกษา อีกทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฐ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฒ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 กระบวนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2 Emissions) 7
2.1.1 วัฏจักรคาร์บอน (Carbon Life-Cycle) 7
2.1.2 การกักเก็บคาร์บอน (Carbon Sink) 10
2.1.3 ประเภทของป่าไม้ 12
2.2 ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) 14
2.2.1 ความหมายของก๊าซเรือนกระจก 14
2.2.2 พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) 17
2.3 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Assessment) 18
2.3.1 ขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิต 20
2.4 วัฏจักรชีวิตของสถาปัตยกรรม 22
2.5 ระบบผนังทึบประเภทต่างๆ 22
2.5.1 ผนังก่ออิฐมอญ 22
2.5.2 ผนังก่อซีเมนต์บล็อก 24
2.5.3 ผนังก่ออิฐมวลเบา 25

หน้า

2.5.4 ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต (EPS Foam Concrete) 26
2.5.5 ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS)..... 27
2.6 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากภาระการทำความเย็นของอาคาร.... 31
2.6.1 ค่าความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอกอาคาร (External Load)..... 31
2.6.2 ค่าความร้อนจากแหล่งความร้อนภายในอาคาร (Internal Load)..... 33
2.7 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย..... 34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 37
3.1 รายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัย.....37
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตวัสดุผนังทึบ.....40
3.2.1 ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....40
3.2.2 ขั้นตอนการผลิตวัสดุ.....41
3.2.3 ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร.....41
3.2.4 ขั้นตอนการใช้งานอาคาร.....42
3.2.5 ขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร.....43
3.3 ขั้นตอนเรียบเรียงปริมาณสารขาเข้า และสารขาออก ของวัสดุก่อสร้างทั้ง 5 ชนิด 44
3.3.1 ผนังก่ออิฐมอญ 44
3.3.2 ผนังก่อซีเมนต์บล็อก 44
3.3.3 ผนังคอนกรีตมวลเบา.....45
3.3.4 ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต.....45
3.3.5 ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS).....46
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....46
3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....46
3.4.2 การคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศอันเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Cooling Load Temperature Differential).....46
3.4.3 หน่วยการแปลงค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เป็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 47

หน้า

3.4.4 การแปลงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นพื้นที่สีเขียว....48
3.5 รูปแบบอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ในการวิจัย....48
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล....53
4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า....53
4.1.1 ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ....53
4.1.2 ขั้นตอนการผลิตของวัสดุ....59
4.1.3 ขั้นตอนการก่อสร้าง....63
4.1.4 ขั้นตอนการใช้งานอาคาร....69
4.1.5 ขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร....73
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบ....79
4.3 การวิเคราะห์แนวทางการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์....85
4.4 แนวทางประยุกต์ใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรม....87
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ....88
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด....88
5.2 ข้อเสนอแนะ....92
รายการอ้างอิง....93
ภาคผนวก....98
ภาคผนวก ก....99
ภาคผนวก ข....114
ภาคผนวก ค....156
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....166

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ พ.ศ. 2548..... 2
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนค่าความต้านทานความร้อนวัสดุ (Resistance; R-value) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (U-Value) เปรียบเทียบของผนังทั้ง 5 ชนิด..... 29
ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคารทั่วไปที่ใช้ในการวิจัย แบบก่อ กับวัสดุก่อผนังแบบแผ่น..... 29
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุผนัง (Resistance; R-value) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (U-Value) สรุปหลังคา พื้น และกระจก.....43
ตารางที่ 4.1 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....54
ตารางที่ 4.2 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....54
ตารางที่ 4.3 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....55
ตารางที่ 4.4 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....55
ตารางที่ 4.5 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน หนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....56
ตารางที่ 4.6 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....56
ตารางที่ 4.7 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....57
ตารางที่ 4.8 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....57
ตารางที่ 4.9 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ.....58

หน้า

ตารางที่ 4.10 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ 58
ตารางที่ 4.11 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ.....60
ตารางที่ 4.12 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ 60
ตารางที่ 4.13 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ.....61
ตารางที่ 4.14 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีต หนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ.....61
ตารางที่ 4.15 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ.....62
ตารางที่ 4.16 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร 64
ตารางที่ 4.17 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร.....65
ตารางที่ 4.18 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร.....66
ตารางที่ 4.19 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังโฟมคอนกรีตหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร.....67
ตารางที่ 4.20 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก หนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร 68
ตารางที่ 4.21 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม.....73
ตารางที่ 4.22 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม.....74
ตารางที่ 4.23 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม. 74

หน้า

ตารางที่ 4.24 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม. 75
ตารางที่ 4.25 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม. 75
ตารางที่ 4.26 สรุปปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอนของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 77
ตารางที่ 4.27 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน (ช่วงการใช้งานอาคาร 1 ปี) ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด.....81
ตารางที่ 4.28 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน (ช่วงการใช้งานอาคาร 15 ปี) ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด.....82
ตารางที่ 4.29 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน (ช่วงการใช้งานอาคาร 30 ปี) ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด.....83
ตารางที่ 4.30 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน (ช่วงการใช้งานอาคาร 50 ปี) ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด.....84
ตารางที่ 5.1 แสดงพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด และพื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทนของผนังวัสดุทึบทั้ง 5 ชนิด 89

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดอกไซด์ในชั้นบรรยากาศ กับระดับอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกตั้งแต่ พ.ศ.2423-2549 2
รูปที่ 1.2 แสดงวัฏจักรชีวิตของวัสดุก่อสร้างของอาคาร 4
รูปที่ 2.1 แสดงวัฏจักรคาร์บอน (Carbon Life Cycle) 8
รูปที่ 2.2 แสดงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแหล่งกักเก็บคาร์บอน.....10
รูปที่ 2.3 แสดงความเร็ว-ช้าในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรคาร์บอน.....11
รูปที่ 2.4 แสดงปรากฏการณ์เรือนกระจก 15
รูปที่ 2.5 แสดงก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ.....15
รูปที่ 2.6 แสดงแนวโน้มของอุณหภูมิพื้นผิวโลกตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน 16
รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนวัฏจักรชีวิตของตัวอย่างวัสดุกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....19
รูปที่ 2.8 แสดงวัฏจักรชีวิตของวัสดุอาคาร.....22
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของอิฐมอญ 23
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว 23
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของคอนกรีตบล็อก 24
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว.....25
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของคอนกรีตมวลเบาแบบบล็อก.....26
รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของอิฐมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว 26
รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของโฟมคอนกรีต 27
รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว.....27
รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS).....28
รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว 29
รูปที่ 3.4 แสดงแบบผังพื้นชั้นล่างอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 49
รูปที่ 3.5 แสดงแบบผังพื้นชั้นบนอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 50

หน้า

รูปที่ 3.6 แสดงแบบรูปด้าน 1 ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ 51
รูปที่ 3.7 แสดงแบบรูปด้าน 2 ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ 51
รูปที่ 3.8 แสดงแบบรูปด้าน 3 ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ 52
รูปที่ 3.9 แสดงแบบรูปด้าน 4 ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ 52
รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของหลังคา
กระเบื้องลอนคู่.....70
รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของพื้นกระเบื้อง
ภายในอาคาร.....70
รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของกระจกใสหนา
6 มิลลิเมตร.....71

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1.1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ พ.ศ. 2548 3
แผนภูมิที่ 2.1 แสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ปลายทาง 21
แผนภูมิที่ 2.2 แสดงกรอบการดำเนินงาน LCA ตามมาตรฐานของ ISO 14040 21
แผนภูมิที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 39
แผนภูมิที่ 4.1 สรุปการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดขนาดพื้นที่ 159.31 ใน ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ 59
แผนภูมิที่ 4.2 สรุปการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดขนาดพื้นที่ 159.31 ใน ขั้นตอนการผลิตของวัสดุ....63
แผนภูมิที่ 4.3 สรุปการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดขนาดพื้นที่ 159.31 ใน ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร 69
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของผนังอาคาร จำแนก ตามวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ที่ความหนา 4 นิ้ว ในช่วงการใช้งานอาคาร 1 ปี 72
แผนภูมิที่ 4.5 สรุปการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ขนาดพื้นที่ 159.31 ใน ขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร 76
แผนภูมิที่ 4.6 สรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง ของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด กรณีใช้อาคาร 1 ปี (วัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน)....78
แผนภูมิที่ 4.7 สรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง ของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด กรณีใช้อาคาร 15 ปี (วัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน)....79
แผนภูมิที่ 4.8 สรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง ของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด กรณีใช้อาคาร 30 ปี (วัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน)....80
แผนภูมิที่ 4.9 สรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง ของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด กรณีใช้อาคาร 50 ปี (วัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน)....80
แผนภูมิที่ 4.10 สรุปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการประเมินวัฏจักร ชีวิต 5 ขั้นตอน ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด กรณีใช้งานอาคาร 1 ปี....86
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงพื้นที่ป่าไม้เทียบเท่าทดแทนจากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ของอาคารกรณีศึกษา 86

หน้า

แผนภูมิที่ 5.1 สรุปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน ต่อพื้นที่ผนัง 1 ตารางเมตร กรณีใช้งานอาคาร 1 ปี.....90
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผนังทั้ง 5 ชนิด เปรียบเทียบกับพื้นที่ป่าไม้ทดแทน 91

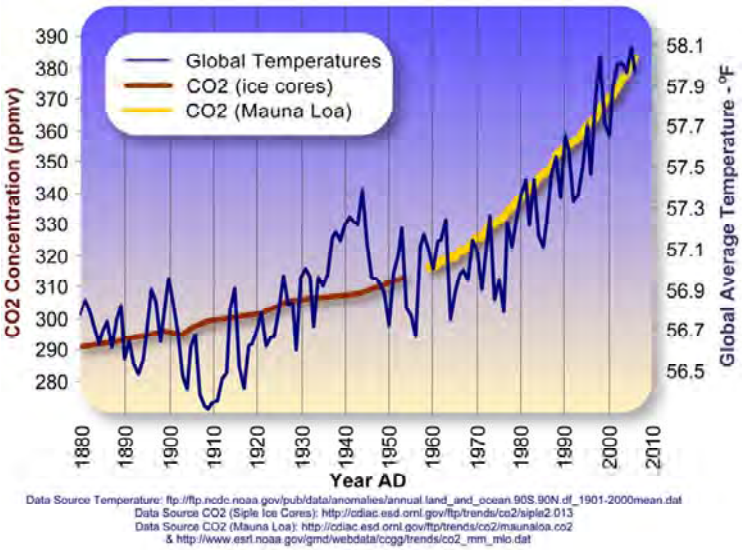
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสภาวะโลกร้อน (Global Warming) เป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจและมีการกล่าวถึงเป็นอย่างมาก สังเกตได้จากการรณรงค์จากหน่วยงานต่างๆ ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ เนื่องจากปัญหาสภาวะโลกร้อนนั้นส่งผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ทำให้เกิดความแปรปรวนของสภาพอากาศ ทำให้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น อุทกภัย ภัยแล้ง ไฟป่า การกัดเซาะชายฝั่ง หรือทำให้การกลับมาแพร่ระบาดของโรคที่ครั้งหนึ่งเคยควบคุมได้แล้ว เป็นต้น

สภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ในปัจจุบัน มีสาเหตุหลักเกิดจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases; GHGs) ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งปกติก๊าซเรือนกระจกจะอยู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณที่เหมาะสมไม่เกินร้อยละ 1 ของบรรยากาศ ซึ่งทำให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกอบอุ่นเหมาะสมต่อการดำรงชีวิต ประกอบด้วย ไอน้ำ (H_2O) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โอโซน (O_3) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) แต่ในปัจจุบันปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น โดยก๊าซเรือนกระจกชนิดสำคัญที่มนุษย์ผลิตออกมาเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจากยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรม ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ (สุขประโชค เอื้อกฤดาธิการ, 2549: 35) อีกทั้งความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิของโลกก็จะสูงขึ้นด้วย (กอร์ อัล, 2550: 66) ดังรูปที่ 1.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศกับระดับอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกในอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2423-2549 โดยสาเหตุของการเกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น เกิดจากการใช้พลังงานในการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง (Fossil Fuels) รองลงมาคือพลังงานที่นำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548: 15) ดังนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่เกิดขึ้น จึงสามารถสอดคล้องกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้



รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศกับระดับอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกตั้งแต่ พ.ศ.2423-2549

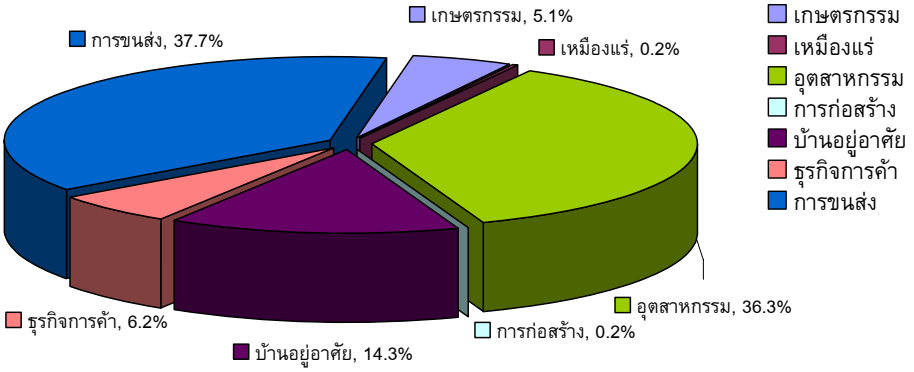
(Woods Hole Research Center, 2008)

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ตามการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ของรายงานการใช้พลังงานของประเทศไทย พ.ศ.2544-2548 (รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2544-2548, 2548: 16) พบว่าการใช้พลังงานอันดับ 1 คือภาคการขนส่ง รองลงมาคือ อุตสาหกรรมการผลิต บ้านอยู่อาศัย ธุรกิจการค้า เกษตรกรรม และการก่อสร้าง ตามลำดับ ดังตารางที่ 1.1 เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานภาคครัวเรือนซึ่งไม่คิดรวมภาคการขนส่งเข้าไปนั้น สาขาการก่อสร้างและที่อยู่อาศัยมีการใช้พลังงานรวมกันอยู่ในอันดับที่สองรองจากสาขาอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นสาขาที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสถาปนิก ดังนั้นการนำปริมาณการใช้พลังงานเข้ามาพิจารณาร่วมในการออกแบบ จึงเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยลดปัญหาสภาวะโลกร้อน

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ พ.ศ. 2548

(รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2544-2548, 2548: 16)

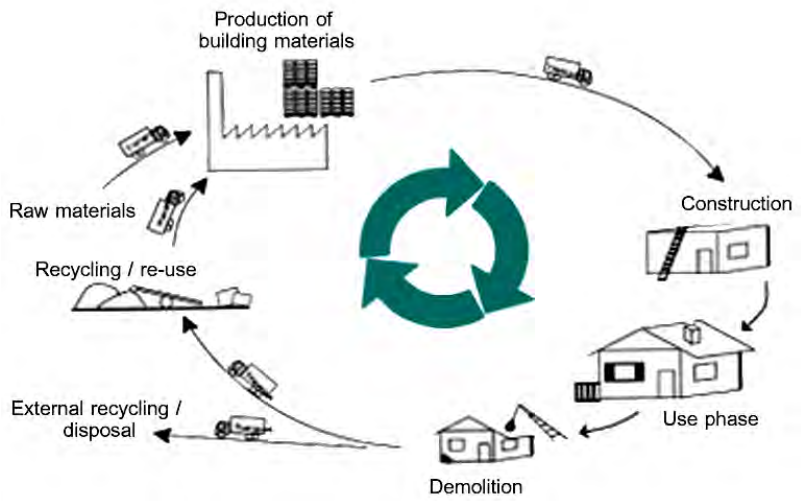
สาขาของการใช้พลังงาน (ตามสาขาเศรษฐกิจ)	เปอร์เซ็นต์
การขนส่ง	37.7
อุตสาหกรรม	36.3
บ้านอยู่อาศัย	14.3
ธุรกิจการค้า	6.2
เกษตรกรรม	5.1
เหมืองแร่	0.2
การก่อสร้าง	0.2



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ พ.ศ. 2548

(รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2544-2548, 2548: 16)

แนวคิดของการประหยัดพลังงานในอาคาร ไม่ใช่คำนึงถึงทิศทางแดดลม การบังแดด การใช้ระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งการใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนเท่านั้น ในปัจจุบันต้องพิจารณาถึงการใช้พลังงานทั้งระบบของวัสดุนั้นๆ หรือการคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของวัสดุ (Life-Cycle) ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุจากธรรมชาติ (Raw Materials Acquisition) ขั้นตอนการผลิตของวัสดุ (Manufacturing) การใช้งานอาคาร (Use/ Reuse/ Maintenance) การรื้อถอนอาคาร (Demolition) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการจัดการของเสียของวัสดุต่างๆ (Waste Management) ดังรูปที่ 1.2 แสดงวัฏจักรชีวิตของวัสดุก่อสร้างของอาคาร โดยในการวิจัยนี้จะศึกษาวัสดุผนังทึบของอาคาร ที่มีการใช้งานโดยทั่วไปภายในประเทศไทย ได้แก่ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว โดยเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีการพัฒนาประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้น ได้แก่ ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต (EPS Foam Concrete) ฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก หรือ Exterior Insulation and Finished System (EIFS) โดยใช้ความหนาของโฟม 4 นิ้ว



รูปที่ 1.2 แสดงวัฏจักรชีวิตของวัสดุก่อสร้างของอาคาร

(The department Life Cycle Engineering, 2007)

การใช้วัสดุก่อสร้างประเภทต่างๆ จึงมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในประเทศที่จะส่งผลถึงสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาขั้นตอนต่างๆ ในการใช้พลังงานของวัสดุผนังทึบที่ใช้ทั่วไปภายในประเทศ ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ การผลิตวัสดุ การก่อสร้างอาคาร การใช้งานอาคาร และการรื้อถอนอาคาร เพื่อหาปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของวัสดุผนังผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกแบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกโฟมหนา 4 นิ้ว แล้วนำปริมาณการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ มาเปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศของแต่ละวัสดุ เพื่อประหยัดการใช้พลังงาน และลดสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปริมาณการใช้งานพลังงานไฟฟ้า ในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบ ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ การผลิตวัสดุ การก่อสร้างอาคาร การใช้งานอาคาร และการรื้อถอนอาคาร

1.2.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบ

1.2.3 เสนอแนวทางการนำไปใช้ของวัสดุผนังทึบในงานออกแบบสถาปัตยกรรม เพื่อช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเฉพาะวัสดุผนังทึบที่ใช้ทั่วไปในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย 5 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกแบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกโฟมหนา 4 นิ้ว (EIFS)

1.3.2 ศึกษาขั้นตอนและวิเคราะห์ข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบ 5 ขั้นตอน ได้แก่ การได้มาของวัสดุ การผลิตวัสดุ การก่อสร้างอาคาร การใช้งานอาคาร และการรื้อถอนอาคาร

1.3.3 เปรียบเทียบในบ้านพักอาศัย 1 หลัง ขนาดพื้นที่ใช้สอยไม่เกิน 100 ตารางเมตร

1.3.4 กำหนดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารคงที่ ที่ 25 องศาเซลเซียส (°C) จากการปรับอากาศ

1.3.5 ศึกษาอายุอาคารในช่วงระยะเวลา 15 ปี 30 ปี และ 50 ปี

1.3.6 เปรียบเทียบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้ง 5 ขั้นตอน

1.4.2 สามารถเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้ง 5 ขั้นตอน

1.4.3 แนวทางการนำไปใช้ของวัสดุผนังทึบในงานออกแบบสถาปัตยกรรม เพื่อช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น จากการเลือกใช้วัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดในบ้านพักอาศัย

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ขั้นตอนการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้พลังงาน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในแต่ละขั้นตอนของการประเมิน วัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบ ได้แก่

1) <u>ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ</u> เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งที่อยู่ตามธรรมชาติ และการได้มาของวัสดุผนังทึบอาคาร เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการกักเก็บหรือปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติของวัสดุนั้นๆ

2) ขั้นตอนการผลิตวัสดุ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตวัสดุจากผู้ผลิต โดยอ้างอิงจากข้อมูลในขั้นตอนของการก่อสร้าง เพื่อทราบถึงชนิดของวัสดุที่ต้องใช้ และนำมาพิจารณาหาปริมาณพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนของการผลิตวัสดุต่อไป

3) ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร เก็บรวบรวมข้อมูลขั้นตอนการก่อสร้างผนังทึบของบ้านพักอาศัย และคำนวณหาปริมาณและจำนวนวัสดุแต่ละชนิด ที่ใช้ในการก่อสร้าง เพื่อนำมาหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4) ขั้นตอนการใช้งานอาคาร เก็บข้อมูลจากการจำลองการใช้พลังงานรวมทั้งหมดในแต่ละวัสดุผนังทึบของบ้านพักอาศัย แล้วคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในแต่ละช่วงปีของการใช้งานอาคารที่กำหนด ได้แก่ 15 ปี 30 ปี และ 50 ปี เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ของการใช้งานอาคารกรณีศึกษา

5) ขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร ศึกษาข้อมูลขั้นตอนของการรื้อถอนอาคารโดยวิธีการทุบทำลาย เพื่อนำมาพิจารณาและคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบ

1.5.2 นำข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

1.5.3 วิเคราะห์หาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดตามมา ในขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด

1.5.4 สรุปผลและเสนอแนวทางการนำไปใช้ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดในงานออกแบบสถาปัตยกรรม จากการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตทั้ง 5 ขั้นตอน ของวัสดุผนังทึบในบ้านพักอาศัย เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

บทที่ 2

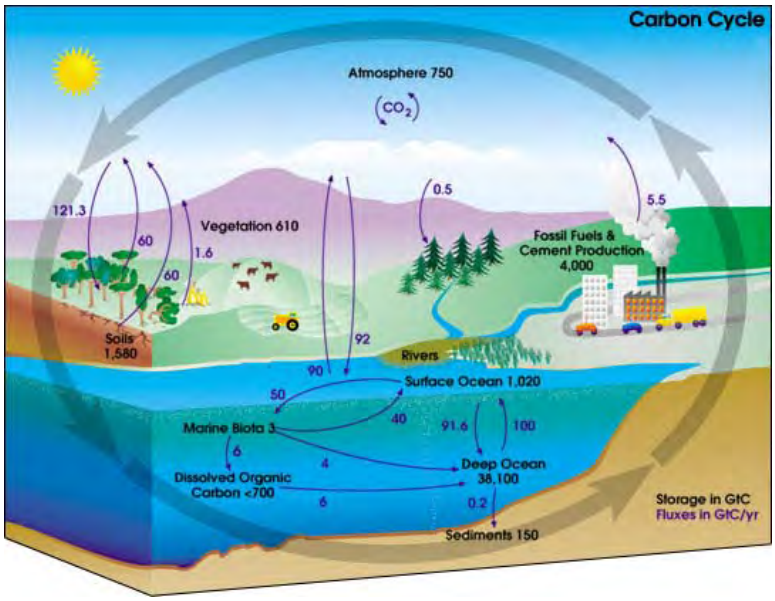
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย ในหัวข้อของการประเมินวัฏจักรชีวิตและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย จำเป็นต้องศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องมากมาย โดยเฉพาะความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้พลังงานภายในอาคาร ที่จะนำไปสู่หัวข้อของการหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ จำเป็นต้องทราบถึงพื้นฐานของความสำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลกระทบจากการเกิดก๊าซเรือนกระจก ส่วนประกอบต่างๆ ของก๊าซเรือนกระจก และการศึกษารวบรวมข้อมูลขั้นตอนต่างๆ ของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งสถาปัตยกรรมถือเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่มีองค์ประกอบจำนวนมากที่ไม่ตายตัว ดังมีหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 **กระบวนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์** (CO_2 Emissions)

2.1.1 **วัฏจักรคาร์บอน** (Carbon Life-Cycle)

วัฏจักรคาร์บอนเป็นวัฏจักรชีวธรณีเคมี เกิดจากคาร์บอนถูกแลกเปลี่ยนระหว่างสิ่งมีชีวิต พื้นดิน น้ำ และบรรยากาศของโลกคาร์บอนเป็นธาตุสำคัญธาตุหนึ่งของสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบประมาณ 50%ของเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังรูปที่ 2.1 โดยการหมุนเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศแบ่งได้เป็น 3 แบบ ตามระยะเวลาที่ใช้ในการหมุนเวียนให้ครบรอบคือ ระยะสั้น ระยะกลางและระยะยาว (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2551)



รูปที่ 2.1 แสดงวัฏจักรคาร์บอน (Carbon Life Cycle)

(วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2551)

1) การหมุนเวียนระยะสั้น

การหมุนเวียนของคาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ เริ่มจากพืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์ คาร์บอนจากบรรยากาศจึงเคลื่อนย้ายเข้าสู่พืช เกิดขึ้นได้ทั้งบนบกและในน้ำ ดังสมการ

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

การสังเคราะห์ด้วยแสง พืชจะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี บางส่วนถูกใช้ไป บางส่วนถูกเก็บสะสมในรูปคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร คาร์บอนเหล่านี้จะกลับสู่บรรยากาศโดยการหายใจ และการย่อยสลายหลังจากสิ่งมีชีวิตตายลงไป การย่อยสลายนี้อาจได้คาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซมีเทน กลับคืนสู่บรรยากาศ โดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้สองสภาวะคือ สภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจน คาร์บอนในสารอินทรีย์จะถูกปล่อยออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนในสภาวะไม่มีออกซิเจน คาร์บอนถูกปล่อยออกมาในรูปก๊าซมีเทน

คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นรูปหนึ่งของคาร์บอน ที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีแสงของมีเทน หรือจากการเผาไหม้ของมวลชีวภาพ ปกติคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นสารพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่ก็มีสิ่งมีชีวิตบางกลุ่มใช้คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นแหล่งพลังงานได้ โดยเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์

ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะที่มีออกซิเจน ส่วนในสภาวะไม่มีออกซิเจน จะเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซมีเทน หรือเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นกรดอะซีติก

2) **การหมุนเวียนระยะกลาง**

การหมุนเวียนของคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ในดินตะกอน ถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ เกิดจากคาร์บอนในรูปสารอินทรีย์ในพืชและสัตว์ที่ตายแล้ว ถูกทับถมจนกลายเป็นถ่านหิน คาร์บอนในรูปนี้จะกลับคืนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่บรรยากาศโดยการเผาไหม้

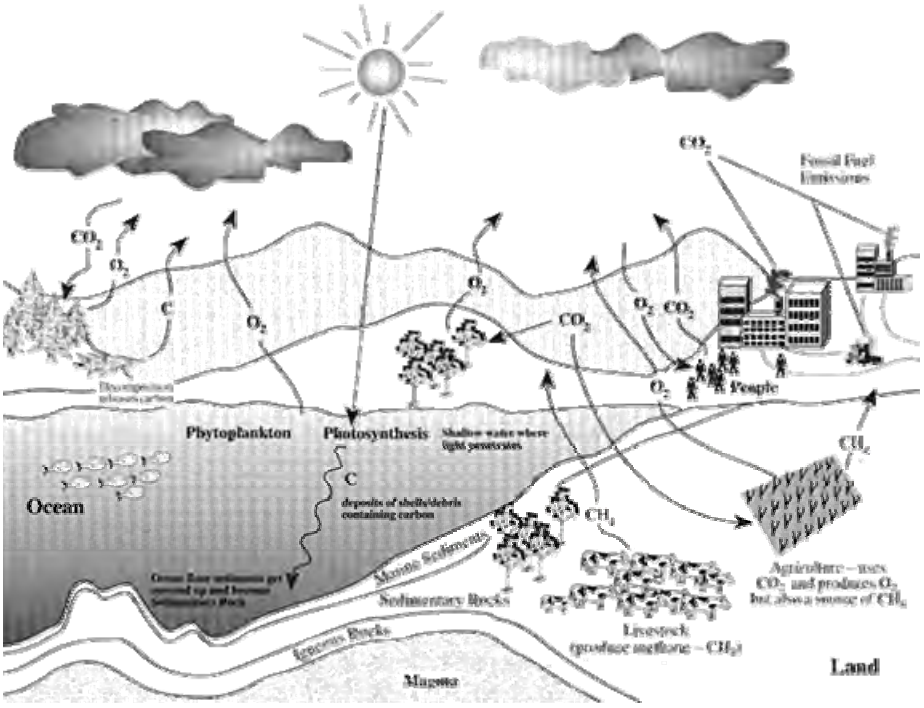
3) **การหมุนเวียนระยะยาว**

การหมุนเวียนของคาร์บอนผ่านระบบโครงสร้างของโลกทั้งในแผ่นดิน มหาสมุทร และหินปูน องค์ประกอบสำคัญของหินปูนคือแคลเซียมคาร์บอเนต หินปูนเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญของพื้นโลก การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและการกัดเซาะจะชะแคลเซียม ซิลิกา และคาร์บอนออกจากหินปูนดังสมการ

$$CaCO_3 + CO_2 \longrightarrow Ca_2+ + 2HCO_3^-$$

$$CaSiO_3 + 2CO_2 + H_2O \longrightarrow 2HCO_3^- + SiO_2$$

สิ่งที่ได้จากการกัดเซาะจะลงสู่แม่น้ำและไปยังมหาสมุทร Ca_2^+ และ HCO_3^- บางส่วนจะถูกไปใช้ในการสร้างโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ เช่น เปลือกหอย บางส่วนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่บรรยากาศ เมื่อสิ่งมีชีวิตตาย จะถูกย่อยสลายได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลึก ซึ่งจะกลับสู่บรรยากาศเมื่อน้ำในบริเวณนั้นม้วนตัวขึ้นมา



รูปที่ 2.2 แสดงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแหล่งกักเก็บคาร์บอน

(Adler Planetarium อ้างถึง NASA, SeaWiFS Project. Available from:

http://www.adlerplanetarium.org/cyberspace/planets/earth/carbon_cycle.html [2005])

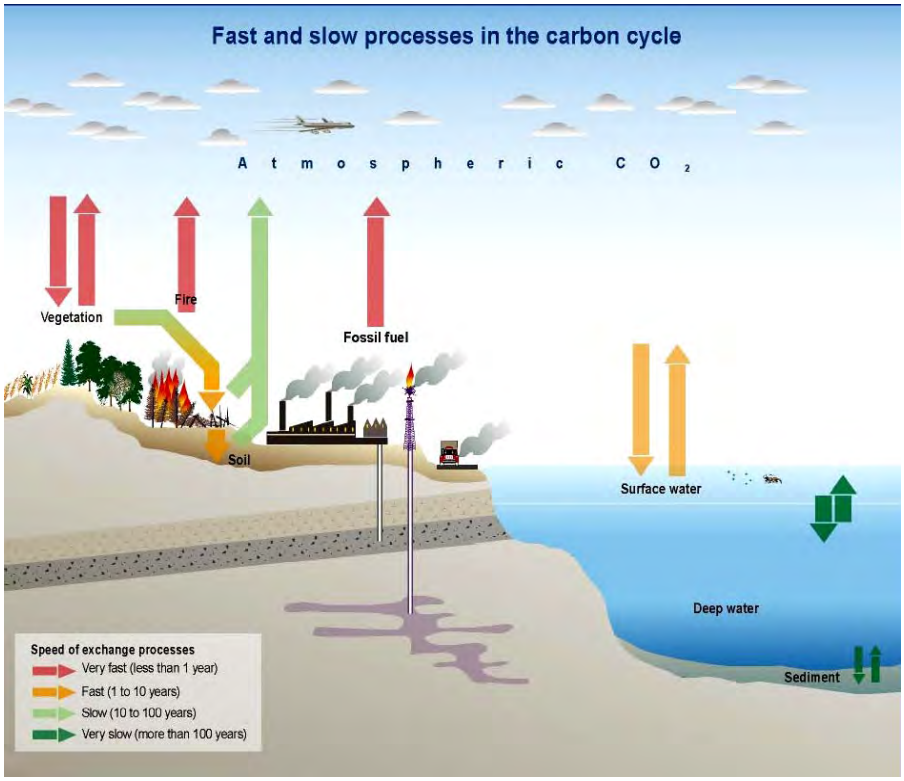
2.1.2 **การกักเก็บคาร์บอน** (Carbon Sink)

วัฏจักรคาร์บอนที่เกิดขึ้นบนโลก ที่มีการแลกเปลี่ยนสสารตอดเวลา ทั้งจากบรรยากาศสู่พื้นโลก หรือจากพื้นโลกสู่น้ำทะเล และจากน้ำทะเลขึ้นสู่บรรยากาศ วนเวียนกันอยู่เช่นนี้เป็นวัฏจักร ซึ่งปกตินั้นธรรมชาติจะสะสมไว้ในตัวเองในระดับหนึ่ง และจะเริ่มมีการแลกเปลี่ยน ต่อเมื่อต้องปรับตัวเองให้เกิดความสมดุล ดังนั้นการกักเก็บคาร์บอนของธรรมชาติ จึงอยู่ในทุกที่ที่เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะคาร์บอนเป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซออกซิเจนและธาตุคาร์บอน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต จึงมีคาร์บอนอยู่มากมายและสามารถเคลื่อนย้ายไปมาระหว่างร่างกายของสิ่งมีชีวิตและอากาศ ทั้งนี้เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นของเสียจากการหายใจของสิ่งมีชีวิต แต่เป็นแหล่งอาหารของพืช และเมื่อคาร์บอนแยกตัวออกจากอากาศ จะไปรวมกันอยู่ในสถานที่หนึ่ง โดยเรียกว่า อ่างคาร์บอนกักเก็บ (Carbon sink) ซึ่งอ่างกักเก็บคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกนี้ คือ ป่าและมหาสมุทร โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีเวลาช้าเร็วในการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนไม่เท่ากันดังเช่นรูปที่ 2.3 แสดงความเร็ว-ช้า ในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรคาร์บอน

Natural Resources Canada (2007) บัญญัติความหมายของคำว่า Carbon Sink ไว้ว่า เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนจากส่วนต่างๆ ในวัฏจักรคาร์บอนที่เกิดขึ้น และจะปลดปล่อยส่วนที่

เหลือจากการกักเก็บขึ้นสู่บรรยากาศ แหล่งกักเก็บคาร์บอนตามธรรมชาติ เช่น ป่าไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ แต่เมื่อต้นไม้นั้นตายและเริ่มเน่าเปื่อย ก็จะเปลี่ยนจากเป็นผู้กักเก็บคาร์บอนเป็นผู้ปลดปล่อยแทน

U.S. Environmental Protection Agency (2001) ได้นิยามความหมายของศัพท์คำว่า Carbon Sink ไว้ว่า อ่างกักเก็บคาร์บอนมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน และช่วยดูดซับก๊าซเรือนกระจกได้โดยเก็บไว้ในรูปของคาร์บอน โดยป่าและมหาสมุทรเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่ใหญ่ที่สุด และมีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องคือ Carbon Sequestration มีความหมายถึง การปลดปล่อยและเก็บคาร์บอน ตัวอย่างเช่น ต้นไม้ และพืชพันธ์ต่างๆ มีการแลกเปลี่ยนก๊าซโดยดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เก็บคาร์บอนไว้ และปลดปล่อยออกซิเจนออกมาในรูปของก๊าซ พลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิลก็มีการกักเก็บคาร์บอนไว้เช่นกัน และจะไม่ปลดปล่อยออกมาจนกระทั่งมีการนำมาเผาไหม้



รูปที่ 2.3 แสดงความเร็ว-ช้าในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรคาร์บอน

(Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001.)

อ่างกักเก็บคาร์บอน (Carbon Sink) ที่สำคัญในโลก นอกเหนือจากมหาสมุทรแล้ว พื้นที่ป่าไม้ในระบบนิเวศที่มีความอุดมสมบูรณ์ ยังมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในปริมาณมากเช่นกัน

2.1.3 ประเภทของป่าไม้

ป่าไม้ในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ประเภท (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2546) คือ

1) ป่าดงดิบหรือป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen Forest)

เป็นระบบนิเวศของป่าไม้ชนิดที่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้ชนิดไม่ผลัดใบ คือ มีใบเขียวตลอดเวลา แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1.1) ป่าดิบเมืองร้อน (Tropical Evergreen Forest) เป็นป่าที่อยู่ในเขตลมมรสุมพัดผ่านเกือบตลอดปี มีปริมาณน้ำฝนมาก แบ่งออกเป็น

1.1.1) <u>ป่าดงดิบชื้น (Tropical Rain Forest)</u> ป่าดงดิบชื้นในประเทศไทยมีการกระจายส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศ อาจพบในภาคอื่นบ้าง แต่มักมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นสังคมย่อยของสังคมป่าชนิดนี้ ป่าดงดิบชื้นขึ้นอยู่ในที่ราบหรือบนภูเขาที่ระดับความสูงไม่เกิน 600 เมตรจากระดับน้ำทะเล ในภาคใต้พบได้ตั้งแต่ตอนล่างของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ลงไปจนถึงชายเขตแดน ส่วนทางภาคตะวันออกพบในจังหวัดตราด จันทบุรี ระยอง และบางส่วนของจังหวัดชลบุรี

1.1.2) <u>ป่าดงดิบแล้ง (Dry Evergreen Forest)</u> ป่าดงดิบแล้งของเมืองไทยพบกระจายตั้งแต่ตอนบนของทิวเขาถนนธงชัยจากจังหวัดชุมพรขึ้นมาทางเหนือ ปกคลุมลาดเขาทางทิศตะวันตกของทิวเขาตะนาวศรีไปจนถึงจังหวัดเชียงราย ส่วนซีกตะวันออกของประเทศปกคลุมตั้งแต่ทิวเขาภูพานต่อลงมามาถึงทิวเขาบรรทัด ทิวเขาพนมดงรักลงไปจนถึงจังหวัดระยองขึ้นไปตามทิวเขาดงพญาเย็น ทิวเขาเพชรบูรณ์จนถึงจังหวัดเลยและน่าน นอกจากนี้ ยังพบในจังหวัดสกลนคร และทางเหนือของจังหวัดหนองคายเลียบลำน้ำโขงในส่วนที่ติดต่อกับประเทศลาว ป่าชนิดนี้พบตั้งแต่ระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลางประมาณ 100 เมตรขึ้นไปถึง 800 เมตร

1.1.3) <u>ป่าดงดิบเขา (Hill Evergreen Forest)</u> ป่าดงดิบเขาอาจพบได้ในทุกภาคของประเทศในบริเวณที่เป็นยอดเขาสูง พบตั้งแต่เขาหลวง จ.นครศรีธรรมราช เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง ขึ้นไปจนถึงยอดเขาสูงๆ ในภาคเหนือ เช่น ยอดดอยอินทนนท์ ดอยปุย และยอดดอยอื่นๆ ในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน เป็นต้น ส่วนทางภาคตะวันออกพบได้บนยอดดอยภูหลวง ภูกระดึง ยอดเขาสูงในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เป็นต้น

1.2) ป่าสน (Coniferous Forest) ป่าชนิดนี้ถือเอาลักษณะโครงสร้างของสังคมเป็นหลักในการจำแนกโดยเฉพาะองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้ในสังคมและไม้เด่นนำ อาจเป็นสนสองใบหรือสนสามใบ

1.3) ป่าพรุหรือป่าบึง (Swamp Forest) พบตามที่ราบลุ่มมีน้ำขังอยู่เสมอ และตามริมฝั่งทะเลที่มีโคลนเลนทั่วๆ ไป แบ่งออกเป็น

1.3.1) ป่าพรุ (Peat Swamp) เป็นสังคมป่าที่อยู่ถัดจากบริเวณสังคมป่าชายเลน โดยอาจจะเป็นพื้นที่ลุ่มที่มีการทับถมของซากพืชและอินทรียวัตถุที่ไม่สลายตัว และมีน้ำท่วมขังหรือชื้นแฉะตลอดปี จากรายงานของกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน (2525) พื้นที่ที่เป็นพรุพบในจังหวัดต่าง ๆ ดังนี้ นราธิวาส นครศรีธรรมราช ชุมพร สงขลา พัทลุง ปัตตานี และตราด ส่วนจังหวัดที่พบเล็กน้อย ได้แก่ สุราษฎร์ธานี ตรังกระบี่ สตูล ระยอง จันทบุรี เชียงใหม่ (อ.พร้าว) และจังหวัดชายทะเลอื่นๆ รวมเป็นพื้นที่ 400,000 ไร่ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ส่วนใหญ่ถูกบุกรุกทำลายระบายน้ำออกเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นสวนมะพร้าว นาข้าว และบ่อเลี้ยงกุ้งเลี้ยงปลา คงเหลือเป็นพื้นที่กว้างใหญ่ในจังหวัดนราธิวาสเท่านั้น คือ พรุโต๊ะแดง ซึ่งยังคงเป็นป่าพรุสมบูรณ์ และพรุบาเจาะ ซึ่งเป็นพรุเสื่อมสภาพแล้ว

1.3.2) ป่าชายเลน (Mangrove Swamp Forest) เป็นสังคมป่าไม้บริเวณชายฝั่งทะเลในจังหวัดทางภาคใต้ กลาง และภาคตะวันออก และมีน้ำขึ้น-น้ำลงอย่างเด่นชัดในรอบวัน

1.4) ป่าชายหาด (Beach Forest) แพร่กระจายอยู่ตามชายฝั่งทะเลที่เป็นดินกรวดทราย และโขดหิน ดินมีฤทธิ์เป็นด่าง

2) ป่าผลัดใบ (Deciduous Forest)

เป็นระบบนิเวศน์ป่าชนิดที่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้ชนิดผลัดใบหรือทิ้งใบเก่าในฤดูแล้งเพื่อจะแตกใบใหม่เมื่อเข้าฤดูฝน ยกเว้นพืชชั้นล่างจะไม่ผลัดใบ จะพบป่าชนิดนี้ตั้งแต่ระดับความสูง 50-800 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.1) **ป่าเบญจพรรณ** ลักษณะทั่วไปเป็นป่าโปร่ง พื้นที่ป่าไม้ไม่รกทึบ มีไม้ไผ่ชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่มาก มีอยู่ทั่วไปตามภาคต่างๆ ที่เป็นที่ราบ หรือตามเนินเขา พันธุ์ไม้จะผลัดใบในฤดูแล้ง การกระจายของป่าเบญจพรรณในประเทศไทย พบในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคอีสาน ครอบคลุมต่ำลงไปจนถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ตอนบน มีปรากฏที่ระดับความสูงตั้งแต่ 50 เมตร ถึง 800 เมตร หรือสูงกว่านี้ในบางจุด

2.2) **ป่าแดง ป่าแพะ หรือป่าเต็งรัง** พบขึ้นสลับกับป่าเบญจพรรณ ลักษณะเป็นป่าโปร่ง มีต้นไม้ขนาดเล็ก และขนาดกลาง ไม้เด่นอันเป็นไม้ดัชนีประกอบด้วยไม้ในวงศ์ยาง ฤดูแล้งจะผลัดใบ และมีไฟป่าเป็นประจำ ป่าเต็งรังมีถิ่นกระจายโดยกว้างๆ ซ้อนทับกันอยู่กับป่าเบญจพรรณ แต่อาจแคบกว่าเล็กน้อยทั้งนี้เนื่องจากมีปัจจัยกำหนดที่เกี่ยวข้องกับความแห้งแล้ง มีปรากฏตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรีขึ้นไปจนถึงเหนือสุดในจังหวัดเชียงราย ป่าชนิดนี้เป็นสังคมพืชเด่นในทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่ปรากฏสลับกันไปกับป่าเบญจพรรณ ในพื้นที่ที่มีความ

แห้งแล้งจัด กักเก็บน้ำได้เลว เช่น บนสันเนิน พื้นที่ราบที่เป็นทรายจัด หรือบนดินลูกรังที่มีชั้นของลูกรังตื้น ตั้งแต่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 50-1,000 เมตร

2.3) **ป่าหญ้า** เกิดจากการทำลายสภาพป่าไม้ที่อุดมสมบูรณ์ ดินมีความเสื่อมโทรม มีฤทธิ์เป็นกรด ต้นไม้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงมีหญ้าต่างๆ เข้าไปแทนที่ แพร่กระจายทั่วประเทศในบริเวณที่ป่าถูกทำลายและเกิดไฟป่าเป็นประจำทุกปี

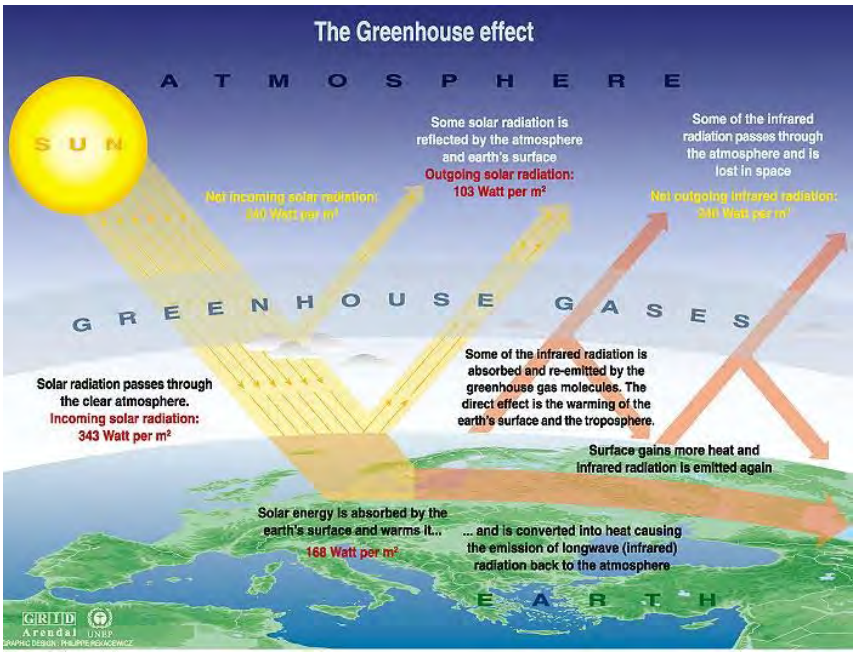
2.2 ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

ปรากฏการณ์เรือนกระจก คือ กระบวนการดูดซับรังสีอินฟาเรดโดยก๊าซเรือนกระจกไว้ภายในชั้นบรรยากาศโลก ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกมีความอบอุ่น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Resources Canada, 2007)

2.2.1 ความหมายของก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซที่ห่อหุ้มโลก มีคุณสมบัติยอมให้แสงจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศ แต่จะกักเก็บรังสีอินฟาเรดไว้ไม่ให้สะท้อนกลับออกไป ซึ่งช่วยให้อากาศบนโลกอบอุ่น โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่พอเหมาะ จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวโลกอยู่ในระดับเหมาะสมประมาณ 15 องศาเซลเซียส (กอร์, อัล, 2550: 28) ก๊าซเรือนกระจกประกอบประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ได้แก่ ไอน้ำ (H_2O), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), โอโซน (O_3), มีเทน (CH_4), ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) โดยก๊าซเหล่านี้ตามธรรมชาติมีปริมาณรวมกันไม่ถึงร้อยละ 1 ของบรรยากาศ แต่หากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาลในปัจจุบันเกิดจากการกระทำของมนุษย์ตลอดยุคสมัยใหม่ ทำให้รังสีอินฟาเรดถูกดูดซับโดยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มมากขึ้นเกินสมดุล ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก (Climate Change) อีกทั้งทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global Warming Potential: GWP) อีกด้วย

การคิดคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศที่ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกนั้น แบ่งเป็น ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 emissions) และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย ซึ่งนับรวมก๊าซมีเทน และก๊าซชนิดอื่นที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกด้วย (CO_2 emissions equivalent)



รูปที่ 2.4 แสดงปรากฏการณ์เรือนกระจก

(United Nations Environment Programme / GRID-Arendal, 2007.)

Greenhouse gases	Chemical formula	Pre-industrial concentration	Concentration in 1994	Atmospheric lifetime (years)***	Anthropogenic sources	Global warming potential (GWP)*
Carbon-dioxide	CO_2	278 000 ppbv	358 000 ppbv	Variable	Fossil fuel combustion Land use conversion Cement production	1
Methane	CH_4	700 ppbv	1721 ppbv	12.2 +/- 3	Fossil fuels Rice paddies Waste dumps Livestock	21**
Nitrous oxide	N_2O	275 ppbv	311 ppbv	120	Fertilizer industrial processes combustion	310
CFC-12	CCl_2F_2	0	0,503 ppbv	102	Liquid coolants Foams	6200-7100 ****
HCFC-22	$CHClF_2$	0	0,105 ppbv	12,1	Liquid coolants	1300-1400 ****
Perfluoromethane	CF_4	0	0,070 ppbv	50 000	Production of aluminium	6 500
Sulphur hexa-fluoride	SF_6	0	0,032 ppbv	3 200	Dielectric fluid	23 900

Note : pptv= 1 part per trillion by volume; ppbv= 1 part per billion by volume, ppmv= 1 part per million by volume

* GWP for 100 year time horizon. ** Includes indirect effects of tropospheric ozone production and stratospheric water vapour production. *** On page 15 of the IPCC WAR. No single lifetime for CO_2 can be defined because of the different rates of uptake by different sink processes. **** Net global warming potential (i.e., including the indirect effect due to ozone depletion).

GRID Arendal UNEP

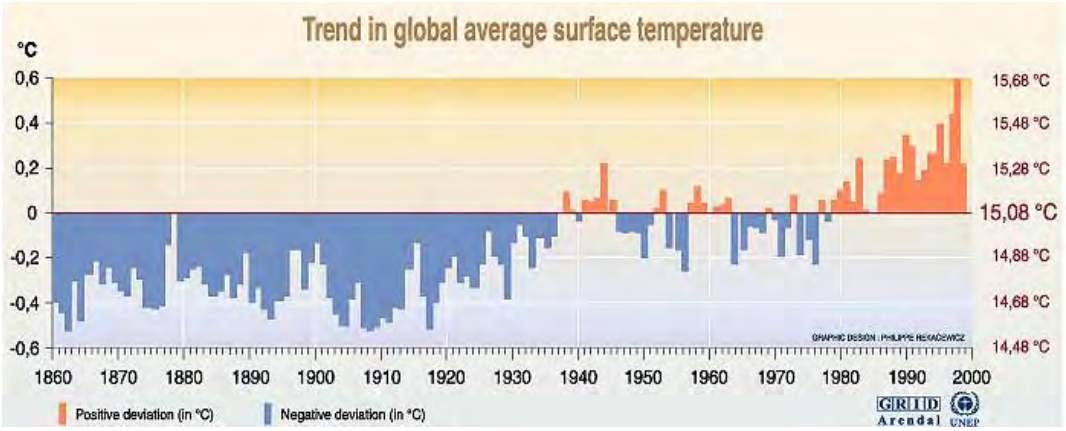
รูปที่ 2.5 แสดงก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ

(United Nations Environment Programme / GRID-Arendal, 2007.)

คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ได้ให้คำสรุปว่า “มนุษย์เป็นสาเหตุที่ทำให้โลกร้อน” (IPCC. Available from: http://www.ipcc.ch/) ทำให้ทั่วโลกตื่นตัวเรื่องการลดความร้อนให้กับโลก เกิดกลุ่มคนที่ช่วยกันประหยัดพลังงาน คิดค้นพลังงานหมุนเวียน หรือโครงการใหม่ๆที่ช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก เช่น การจัดตั้ง อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการ

เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่กรุงบอร์น สาธารณรัฐเยอรมนี ซึ่งทำให้เกิดพิธีสารเกียวโตขึ้น ว่าด้วยเรื่องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ทำให้เกิดการค้าขายคาร์บอนหรือที่เรียกว่า คาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) ซึ่งในปัจจุบันทั่วทั้งโลกผลิตก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน 22,600 ล้านตัน โดยประเทศไทยผลิตก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 0.4 ของโลก (มติชน, เข้าถึงได้จาก: http://www.deqp.go.th/news/newsDetail.jsp?id=6836, 2551)

ผลกระทบของปรากฏการณ์เรือนกระจกตั้งแต่ระดับเล็กน้อยจนถึงระดับที่ส่งผลต่อโลก เกิดจากก๊าซเรือนกระจกหลากหลายชนิด แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต มีเพียง 6 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic greenhouse gas emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (CFC หรือ Chlorofluorocarbon) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟม แต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออลแล้ว



รูปที่ 2.6 แสดงแนวโน้มของอุณหภูมิพื้นผิวโลกตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

(United Nations Environment Programme / GRID-Arendal, 2007.)

กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ กำลังเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ (อาจยกเว้นไอน้ำ) การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติรวมทั้งการตัดไม้ทำลายป่าทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การทำการเกษตรและการปศุสัตว์ ปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ปล่อยก๊าซโอโซน นอกจากนี้ กระบวนการแปรรูปอุตสาหกรรมปล่อยสารฮาโลคาร์บอน (CFCs, HFCs, PFCs) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2550)

2.2.2 **พิธีสารเกียวโต** (Kyoto Protocol)

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับพิธีสารเกียวโตไว้ว่า (วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. ม.ป.ป.; 28) ปัญหาโลกร้อนได้มีการกล่าวถึงเป็นเวลามากกว่าร้อยปีแล้ว ในปี พ.ศ. 2441 นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ สวานท์ อาเรนเนียส (Svante Ahrrenius) ได้เตือนว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้นได้ ในช่วงนั้นไม่มีคนให้ความสนใจในความคิดดังกล่าว จนกระทั่งอีก 70-80 ปีต่อมา ความเข้าใจในระบบบรรยากาศกับโลกที่ดีขึ้นทำให้นักวิทยาศาสตร์เริ่มตื่นตัวสนใจอย่างจริงจัง การประชุมสภาพภูมิอากาศโลกครั้งแรกในปี พ.ศ. 2521 นักวิทยาศาสตร์ต่างตระหนักว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกเป็นปัญหาใหญ่ การชุมนุมทางวิทยาศาสตร์นี้ได้ขุดค้นถึงผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อมนุษย์ และที่ประชุมได้มีปฏิญญาเรียกร้องให้รัฐบาลประเทศต่างๆ “พินิจพิเคราะห์และป้องกันการกระทำของมนุษยชาติ” นอกจากนี้ปฏิญญาดังกล่าวยังได้กำหนดแผนในการจัดตั้ง แผนงานสภาพภูมิอากาศโลก (World Climate Program) ภายใต้ความรับผิดชอบร่วมกันของ องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization) โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme) และ International Council of Scientific Unions

หลังจากนั้น ได้มีการจัดประชุมระหว่างประเทศในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในช่วงปี พ.ศ. 2523 ถึง 2533 อีกหลายครั้งการประชุมเหล่านี้ช่วยให้นานาประเทศตระหนักถึงประเด็นปัญหานี้ ผู้เข้าร่วมประชุมทั้งหลายรวมถึงผู้กำหนดนโยบาย นักวิทยาศาสตร์และนักสิ่งแวดล้อม ได้ประชุมพิจารณาประเด็นทั้งด้านวิทยาศาสตร์และนโยบายและเรียกร้องให้ทั้งโลกดำเนินการร่วมกัน

ปี พ.ศ. 2531 โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ร่วมกับองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก ได้จัดตั้ง คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) เพื่อประเมินความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงด้านภูมิอากาศและผลกระทบต่างๆ ตลอดจนกลยุทธ์ในการตอบสนองต่อปัญหาดังกล่าว

ปี พ.ศ.2533 IPCC ได้เสนอ “รายงานการประเมินครั้งที่หนึ่ง (The first Assessment Report) ซึ่งรายงานนี้ได้ย้ำถึงปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและมีผลต่อผู้กำหนดนโยบายและสาธารณชนเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ยังเป็นพื้นฐานในการเจรจาของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเวลาต่อมาด้วย

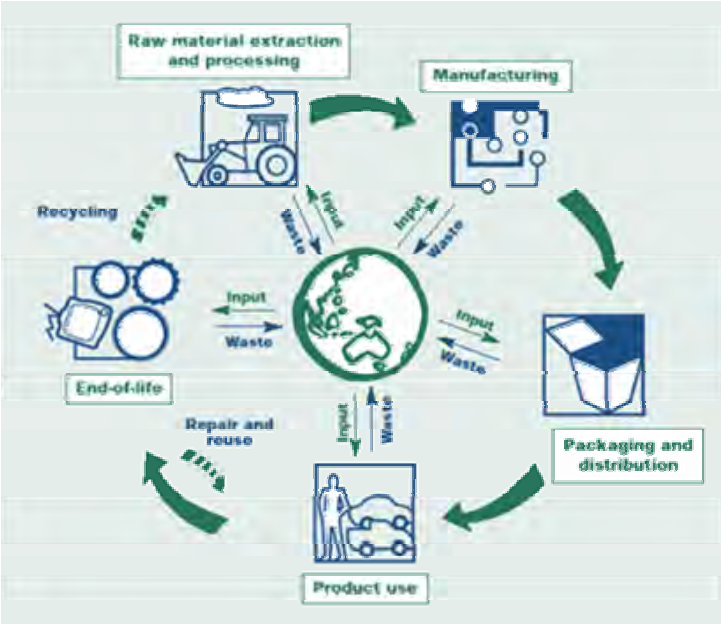
การจัดเตรียมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2533 ที่ประชุมใหญ่สมัชชาสหประชาชาติมีมติให้เริ่มดำเนินการเจรจาร่างอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change) และได้มีการจัดตั้งคณะกรรมการเพื่อการเจรจาระหว่างรัฐบาล เรียกว่า Intergovernmental Negotiating Committee for Framework Convention on Climate Change (INC/FCCC) ขึ้นมาเพื่อดำเนินการเจรจาร่างอนุสัญญาฯ ดังกล่าว คณะกรรมการ INC/FCCC ได้ประชุมกัน 5 ครั้ง ระหว่างกุมภาพันธ์ พ.ศ.2534 ถึง พฤษภาคม พ.ศ.2535 ร่างอนุสัญญาฯดังกล่าวได้เสนอต่อตัวแทนประเทศต่างๆ มากกว่า 150 ประเทศและได้มีการยอมรับที่กรุงริวเดจาเนโร ประเทศบราซิล ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2535 โดยมีตัวแทนรัฐบาล 154 รัฐบาล และสหภาพยุโรปได้ร่วมลงนามในอนุสัญญาฯ ดังกล่าว จวบจนถึงกำหนดวันสุดท้ายของการลงนามมีรัฐบาลรวมทั้งสิ้น 165 รัฐบาลและสหภาพยุโรปได้ร่วมลงนามด้วย

การมีผลบังคับใช้ของอนุสัญญาฯ กำหนดไว้ว่าให้มีผลบังคับใช้ภายใน 90 วันหลังจากที่ประเทศที่ 50 ให้สัตยาบัน ยอมรับ เห็นชอบหรือเข้าร่วมเป็นประเทศภาคี อนุสัญญาฯในวันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2536 เป็นวันที่ประเทศต่างๆให้สัตยาบันครบ 50 ประเทศส่งผลให้อนุสัญญาฯ มีผลบังคับใช้ในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2537 และหลังจากนั้น 6 เดือน ประเทศภาคีอนุสัญญาฯ ที่เป็นประเทศพัฒนาแล้วจะต้องเริ่มส่งรายงานแห่งชาติ (National Communication) เพื่อแสดงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและกลยุทธ์ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในคณะเดียวกัน INC/FCCC ได้จัดประชุมพิจารณาเรื่องเกี่ยวกับการอนุวัติตามอนุสัญญาฯ เช่น การจัดเตรียมกลไกทางการเงิน การสนับสนุนด้านเทคนิคและการเงินให้กับประเทศกำลังพัฒนา รวมทั้งขั้นตอนและสถาบันที่เกี่ยวข้อง INC/FCCC ได้ยุบลงไปเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 และให้ที่ประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาฯ เป็นองค์กรสูงสุดของอนุสัญญาฯ (จวบจนวันที่ 7 กันยายน พ.ศ.2543 มีประเทศต่างๆ ให้สัตยาบันอนุสัญญาฯแล้ว 186 ประเทศ)

2.3 **ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต** (Life-Cycle Assessment)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Assessment) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่หรือแปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อ

ระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนวัฏจักรชีวิตของตัวอย่างวัสดุกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(Product Innovation The Green Advantage, 2007.)

ที่มาของการประเมินวัฏจักรชีวิต สืบเนื่องตั้งแต่วิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 ทำให้ประเทศต่างๆ มีนโยบายการประหยัดพลังงานซึ่งส่งผลต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงถูกพัฒนาขึ้นและขยายรวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากการแพร่มลพิษและของเสียที่เกิดขึ้น ต่อมาภาครัฐของประเทศต่างๆ ได้ให้ความสนใจในการศึกษานี้มากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของผลิตภัณฑ์ สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกันเช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นและการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ คือ LCA เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน ทำให้การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น และให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของทรัพยากรที่สิ้นเปลืองไปและสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมา แต่ LCA จะเป็นการมองผลกระทบใน

ภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้น มากกว่าในมุมมองเฉพาะสารพิษที่ปล่อยออกมา

2.3.1 ขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ(ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2550: 3) ดังนี้

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

เพื่อให้ทราบถึงการนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้สามารถดำเนินการศึกษาได้อย่างครอบคลุมและตรงจุด การกำหนดเป้าหมายของการศึกษายังสามารถกำหนดขอบเขตของระบบได้ด้วย เช่น ขอบเขตของการศึกษาตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) หรือ ตั้งแต่เกิดจนถึงผลิตเสร็จพร้อมใช้งาน (Cradle to gate) รวมถึงความละเอียดข้อมูลว่าต้องการระดับใด การเก็บข้อมูลต้องเชื่อมโยงกับหน่วยงานใด เพื่อทำให้สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ประกอบด้วย

1.1) การกำหนดขอบเขตระบบ (System Boundary)

1.2) ระบบผลิตภัณฑ์ (Product System)

1.3) การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional Unit)

2) การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life cycle inventory analysis)

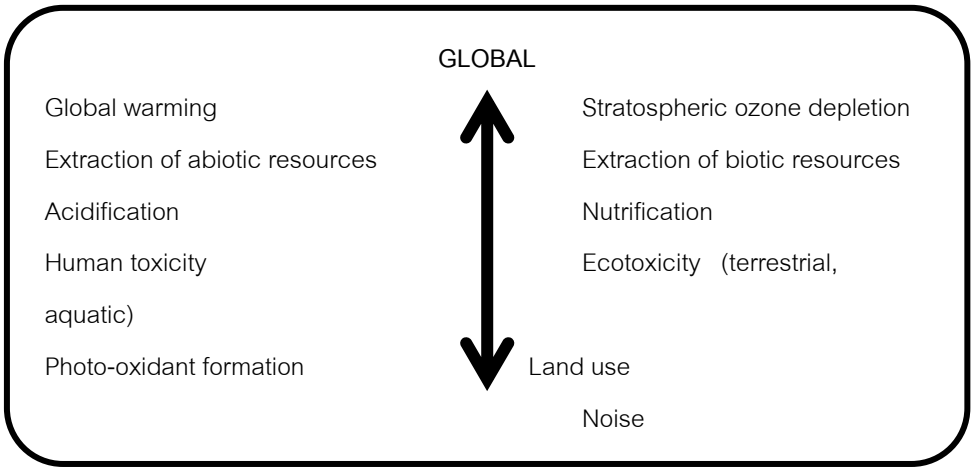
เป็นการรวบรวมข้อมูลของสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของวัตถุดิบ พลังงาน และการปลดปล่อยของเสียและมลภาวะ ที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลาของวัฏจักรชีวิต

3) การประเมินผลกระทบ (Life cycle impact assessment)

เป็นการแปลงบัญชีรายการที่ได้ให้เป็นค่าของตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นตัวเลขที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ โดยแบ่งได้เป็น 2 แนวทาง คือ

3.1) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Mid-point Impact) เช่น การใช้ทรัพยากรและพลังงาน การแพร่กระจายของสารพิษ

3.2) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ปลายทาง (End-point Impact) ซึ่งเป็นผลกระทบระดับท้องถิ่นหรือระดับโลก เช่น การเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน

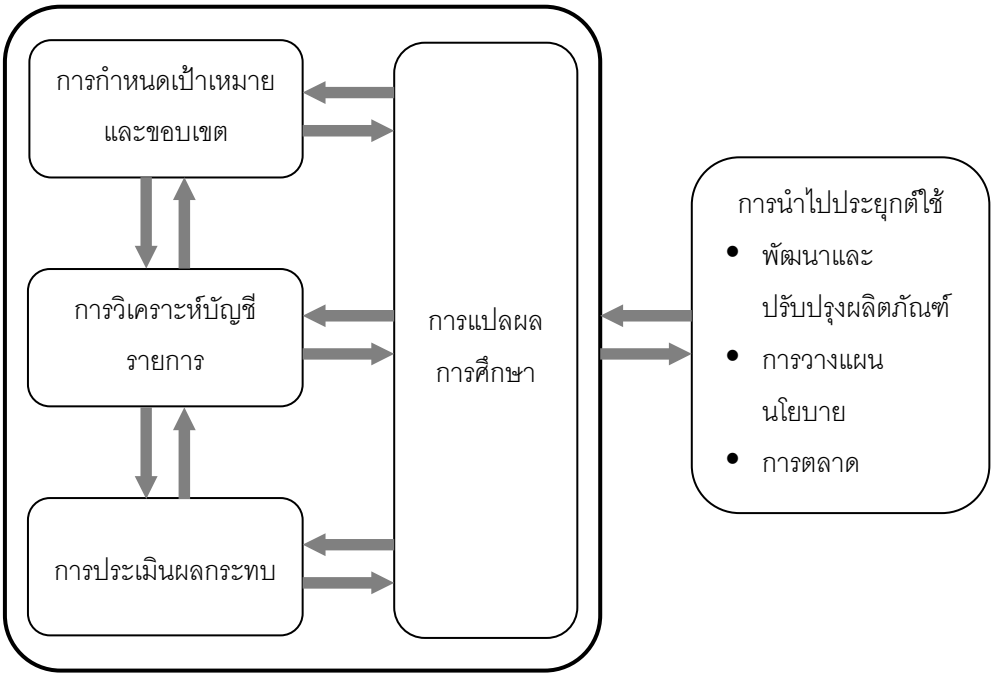


แผนภูมิที่ 2.1 แสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ปลายทาง

(ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, 2550)

4) การแปลผลการศึกษา

ประกอบด้วยการวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล การอธิบายข้อจำกัด และจัดทำข้อเสนอแนะที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

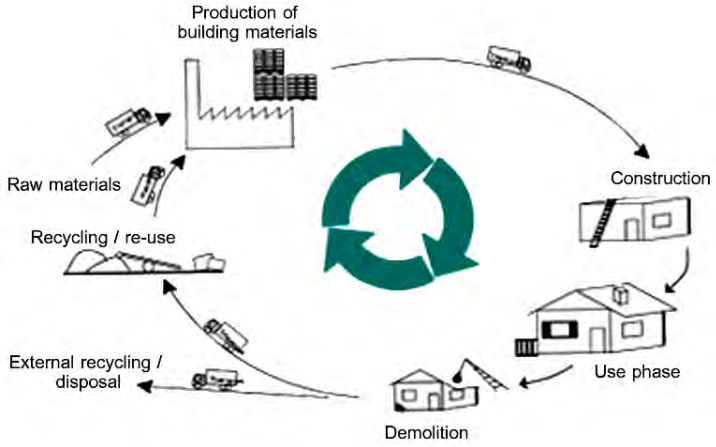


แผนภูมิที่ 2.2 แสดงกรอบการดำเนินงาน LCA ตามมาตรฐานของ ISO 14040

(ชนิกานต์ ยิ้มประยูร อ้างถึงใน ISO 14040, 1997.)

2.4 วัฏจักรชีวิตของสถาปัตยกรรม

ทุกขั้นตอนของสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลายประการ ทุกสิ่งย่อมกระบวนการเกิดจนกระทั่งดับสลาย ดังนั้นในการเกิดสถาปัตยกรรมชิ้นหนึ่งๆ นั้น จึงประกอบไปด้วยขั้นตอนที่หลากหลาย ได้แก่ ขั้นตอนของการได้มาของวัสดุ การผลิต การก่อสร้าง ช่วงเวลาใช้งานอาคาร และการทำลายของวัสดุ



รูปที่ 2.8 แสดงวัฏจักรชีวิตของวัสดุอาคาร

(The department Life Cycle Engineering, 2007.)

2.5 ระบบผนังทึบประเภทต่างๆ

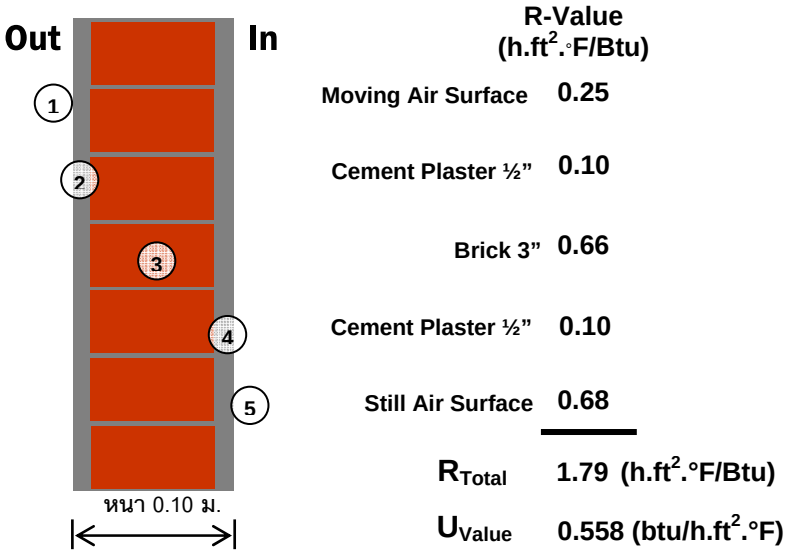
ผนังที่พิจารณาในการวิจัยนี้เป็นระบบผนังนิยมใช้งานทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน ผนังก่อซีเมนต์บล็อก เปรียบเทียบกับผนังที่มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ได้แก่ ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS)

2.5.1 ผนังก่ออิฐมอญ

เป็นระบบผนังภายนอกอาคารที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความคงทนแข็งแรงและมีการใช้อิฐมอญในระบบก่อสร้างมีมาหลายสิบปี จึงเป็นวัสดุที่เป็นที่รู้จักและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยอิฐมอญเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำดินเหนียวมาเผาเพื่อให้ได้วัสดุที่คงรูปและมีความแข็งแรง เนื่องจากความเชื่อมั่นในความคงทน และผลิตได้เองในประเทศจากแรงงานท้องถิ่น ผนังก่ออิฐฉาบปูนเป็นผนังที่ถือว่ามีมวลสารมาก เนื่องจากคุณสมบัติของอิฐมอญจะยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานาน จึงมีการความจุความร้อนสูง ทำให้สามารถกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มากก่อนที่จะค่อยๆ ถ่ายเทสู่ภายนอก จึงเหมาะกับการใช้กับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะช่วงกลางวัน แต่หากก่อสร้างให้มีความหนาที่พอเหมาะ ผนังชนิดนี้จะมีความเหมาะสมสำหรับอาคาร

ที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากสามารถช่วยให้เกิดการหน่วงความร้อนไม่ให้เข้าไปภายในอาคารได้ในเวลากลางวัน ซึ่งอากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง ภายในอาคารจึงเย็นกว่าภายนอก แต่หากเป็นอาคารที่มีการปรับอากาศ ผนังชนิดนี้จะไม่เหมาะสม เนื่องจากความร้อนที่ถูกดูดกลืนและสะสมเอาไว้จะเพิ่มภาระการทำความเย็น ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการนำเอาความร้อนออกจากวัสดุ นอกจากนั้นผนังชนิดนี้ยังมีข้อเสียในเรื่องของการดูดซับความชื้นสูง ซึ่งอิฐมอญครึ่งแผ่น หรือความหนาประมาณ 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนวัสดุ (Resistance; R-value) เท่ากับ 0.22 $h.ft^2.°F/Btu$ และมีค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของผนังทั้งระบบเท่ากับ 1.79 $h.ft^2.°F/Btu$ หรือเทียบเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบเท่ากับ 0.558 $Btu/ h.ft^2.°F$

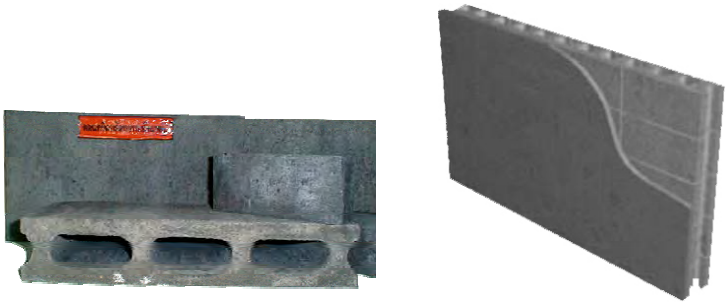
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของอิฐมอญ



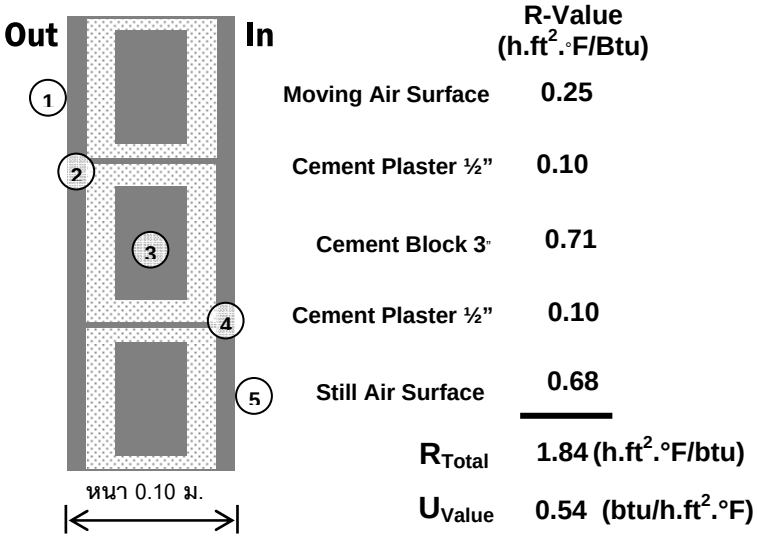
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว

2.5.2 ผนังก่อซีเมนต์บล็อก

ซีเมนต์บล็อก หรือชื่อเรียกตามท้องตลาด คือ คอนกรีตบล็อก (Concrete Masonry Unit) เป็นวัสดุก่อสร้างประเภทก่อสำหรับการก่อสร้างผนังอาคารทั่วไป ผลิตจากส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย หินย่อย และน้ำ โดยคอนกรีตบล็อกจะถูกผลิตในลักษณะอุตสาหกรรมมากกว่าอิฐมอญ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกลวง (Hollow Concrete Block) เป็นที่นิยมใช้มากเนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย และไม่มีปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้าง เนื่องจากช่างมีความเคยชินในการทำงานอยู่แล้ว อีกทั้งยังสามารถทำงานได้เร็วเพราะมีขนาดก้อนใหญ่กว่าอิฐมอญ และจากลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในมีลักษณะเป็นฉนวนในการกันความร้อนที่ดี แต่ข้อเสียคือจะเปราะและแตกง่าย การตอกตะปูยึดพุกต้องทำที่ปูนก่อหรือเสาเอ็นคานเอ็น น้ำจะซึมได้ดีกว่าอิฐมอญ และบล็อกที่ขายกันทั่วไปคุณภาพต่ำ (สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2549) ซึ่งซีเมนต์บล็อก 1 ก้อน ที่ความหนาประมาณ 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนวัสดุ (Resistance; R-value) เท่ากับ 0.23 $h.ft^2.°F/Btu$ และมีค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของผนังทั้งระบบเท่ากับ 1.84 $h.ft^2.°F/Btu$ หรือเทียบเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบเท่ากับ 0.54 $Btu/ h.ft^2.°F$



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของคอนกรีตบล็อก



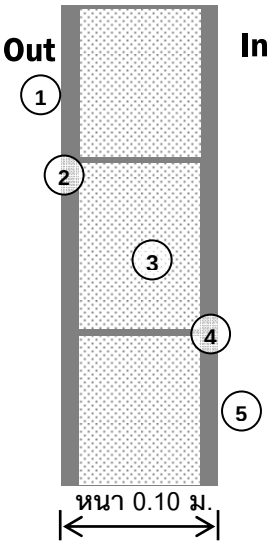
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว

2.5.3 ผนังก่ออิฐมวลเบา

อิฐมวลเบา หรือคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete-ACC) นั้น เป็นวัสดุก่อที่มีการนำมาใช้ และเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุก่ออื่นที่มีมา โดยตัววัสดุมีส่วนผสมมาจาก ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว น้ำ ยิปซั่ม และผงอลูมิเนียมผสมรวมกัน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง (Disconnecting Voids) ที่อยู่ในเนื้อวัสดุมากประมาณ 75% ทำให้น้ำหนักเบา อีกทั้งฟองอากาศเหล่านั้นยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี โดยมีน้ำหนักเบากว่าอิฐธรรมดา 2-3 เท่า ที่ความหนา 10 เซนติเมตร จะมีน้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งผลของความเบาจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้าง แต่มีความแข็งแรง สามารถรับแรงกดได้ประมาณ 30-80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร สามารถใช้ก่อได้ทั้งผนังรับแรง (Load Bearing Wall) และผนังปกติที่ไม่ได้รับแรง (Non-Load Bearing Wall) สามารถผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น แบบบล็อก แบบแผ่น แบบคานเสริมเหล็ก ฯลฯ มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนประมาณ 0.6-0.8 ตารางเมตร เคลวินต่อวัตต์ และสามารถป้องกันเสียงได้ไม่ต่ำกว่า 38 เดซิเบล ยิ่งกว่านั้นคอนกรีตมวลเบายังสามารถทนไฟได้นานถึง 4 ชั่วโมง ทั้งนี้ในการก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบา จะมีการฉาบปูนเช่นเดียวกับผนังก่ออิฐมอญ ซึ่งอิฐมวลเบา 1 ก้อน ที่ความหนาประมาณ 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนวัสดุ (Resistance; R-value) เท่ากับ 1.27 $h.ft^2.°F/Btu$ และมีค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของผนังทั้งระบบเท่ากับ 2.40

h.ft^2.°F/Btu หรือเทียบเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบเท่ากับ 0.42 Btu/ h.ft^2.°F

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของคอนกรีตมวลเบาแบบบล็อก



	R-Value (h.ft^2.°F/Btu)
Moving Air Surface	0.25
Cement Plaster ½"	0.10
Light weight concrete 3"	1.27
Cement Plaster ½"	0.10
Still Air Surface	0.68
R_{Total}	2.40 (h.ft^2.°F/btu)
U_{Value}	0.42 (btu/h.ft^2.°F)
	2.38 (W/m^2.°K)

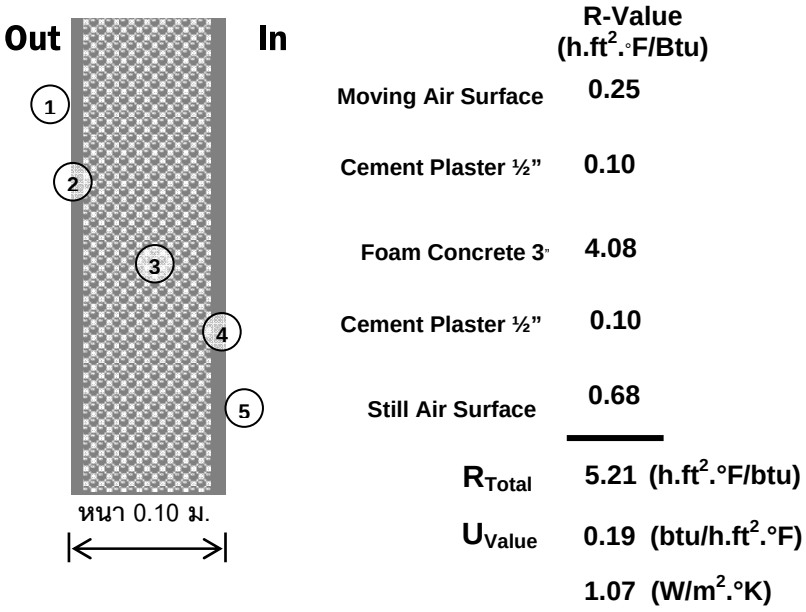
รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของอิฐมวลเบาฉาบปูน หนา 4 นิ้ว

2.5.4 **ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต** (EPS Foam Concrete)

เป็นวัสดุที่เกิดจากการนำเม็ดโฟมที่ผ่านการเสริมประสิทธิภาพในการยึดเกาะเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์โดยไม่ต้องใช้ทรายหรือใช้แทนทรายเลย อีกทั้งควบคุมความหนาแน่นของเนื้อวัสดุได้เมื่อเม็ดโฟมขยายตัวเต็มที่ ทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักเบาสามารถกันความร้อนได้และรักษาอุณหภูมิภายในให้คงที่ ช่วยประหยัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ อีกทั้งช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากโฟมสามารถนำไป Recycle ได้ ซึ่งเม็ดโฟมคอนกรีต ที่ความหนาประมาณ 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนวัสดุ (Resistance; R-value) เท่ากับ 4.08 h.ft^2.°F/Btu และมีค่า

ความต้านทานความร้อนวัสดุของผนังทั้งระบบเท่ากับ 5.21 $h.ft^2.°F/Btu$ หรือเทียบเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบเท่ากับ 0.19 $Btu/ h.ft^2.°F$

รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของผนังเม็ดโฟมคอนกรีต



รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของผนังเม็ดโฟมคอนกรีต ฉาบปูนหนา 4 นิ้ว

2.5.5 **ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก** (EIFS)

ผนังประเภทนี้ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อทำหน้าที่ที่ต่างกันของผนัง วัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลักๆ (สุนทร บุญญาธิการ, 2543: 18) ดังนี้

1) ส่วนที่ 1 ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร วัสดุที่ใช้สำหรับส่วนนี้จะเป็นวัสดุประเภทฉนวน ซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนสูง เช่น โฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene Foam) หรือ

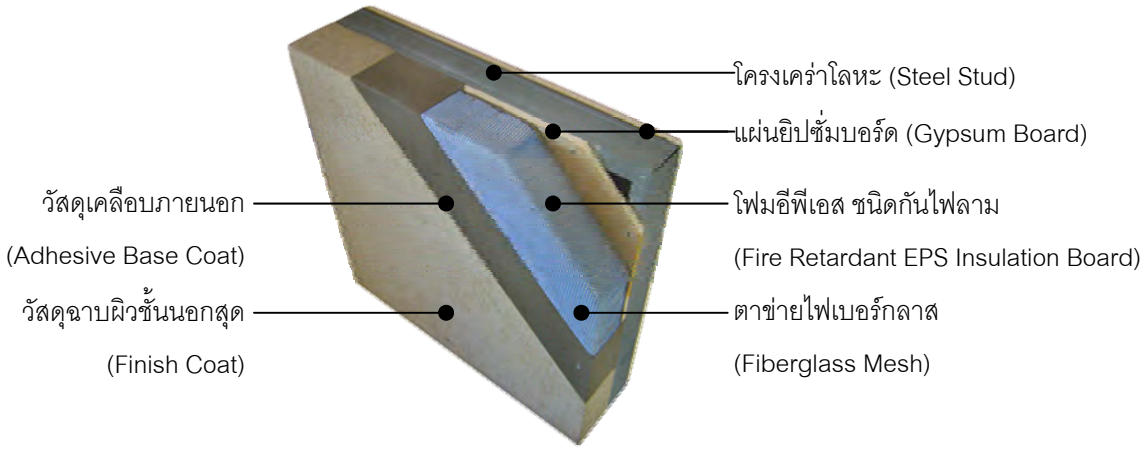
โฟมอีพีเอส (Expandable Polystyrene; EPS Foam) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารน้อยที่สุด

2) ส่วนที่ 2 ตาข่ายไฟเบอร์กลาส (Fiberglass Mesh) ทำหน้าที่สร้างความแข็งแรงให้กับระบบผนัง ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังแล้ว ยังมีคุณสมบัติเป็นตัวยึดวัสดุในชั้นถัดไปอีกด้วย

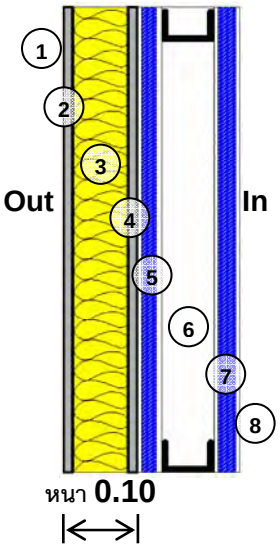
3) ส่วนที่ 3 วัสดุเคลือบภายนอก เป็นกรดอะคริลิค 100% ที่ผสมกับซีเมนต์พอร์ตแลนด์ เกรดเอ ในอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน แล้วจึงเททับลงบนตาข่ายที่วางอยู่บนโฟมอีพีเอส ใช้เป็นชั้นเสริมความแข็งแรงและ เบสโค้ต (Adhesive Base Coat) สำหรับวัสดุปิดผิว

4) ส่วนที่ 4 วัสดุเคลือบผิวชั้นนอกสุด เป็นผลิตภัณฑ์ปูนอะคริลิคสังเคราะห์ ใช้เป็นวัสดุปิดผิว 2 ชั้นอย่างหนา ซึ่งมีให้เลือกถึง 40 เฉดสี สามารถกันการกะเทาะ สีซีด และคงทนต่อทุกสภาวะอากาศ

ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ที่ความหนาของโฟมอีพีเอส 4 นิ้ว เมื่อประกอบเข้ากับโครงเคร่าที่มีความหนา 10 เซนติเมตร จะมีค่าความต้านทานความร้อนวัสดุ (Resistance; R-value) ของผนังทั้งระบบเท่ากับ 18.74 $h.ft^2.°F/Btu$ หรือเทียบเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบเท่ากับ 0.05 $Btu/ h.ft^2.°F$



รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS)



	R-Value ($h.ft^2.°F/Btu$)
Moving Air Surface	0.25
Exterior Coating	0.03
EPS Foam 4”	16.00
Interior Coating	0.03
Gypsum Board ½”	0.45
Still air Non Reflective 3.5 in air space	0.85
Gypsum Board ½”	0.45
Still Air Surface	0.68
R_{Total}	18.74 ($h.ft^2.°F/btu$)
U_{Value}	0.05 ($btu/h.ft^2.°F$)
	0.28 ($W/m^2.°K$)

รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุผนัง (Resistance; R-value) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (U-Value) เปรียบเทียบของผนังทั้ง 5 ชนิด

	ผนังอิฐมอญก่อฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	ผนังระบบกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว
R-Value ($h.ft^2.°F/btu$)	1.79	1.84	2.40	5.21	18.74
U-Value ($btu/h.ft^2.°F$)	0.55	0.54	0.42	0.19	0.05

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคารทั่วไปที่ใช้ในการวิจัย

รายการวัสดุ	อิฐมอญ ½ แผ่น	คอนกรีตบล็อก	คอนกรีตมวลเบา	เม็ดโฟมคอนกรีต	EIFS 4”
รูปแบบกายภาพ	ก้อน	ก้อน	ก้อน	ก้อน	ผนังประกอบ
ราคาต่อหน่วย (บาท)	0.60	4.50	25 – 37	29-35	-
ราคารวมต่อตร.ม (บาท).	100 - 190	200	315 - 412	261-315	1,300

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคารทั่วไปที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)

รายการวัสดุ	**อิฐมอญ ½ แผ่น**	**คอนกรีตบล็อก**	**คอนกรีตมวลเบา**	**เม็ดโฟมคอนกรีต**	EIFS
ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตรม. (บาท)	425 - 440	390	450 - 646	-	300
ขนาด (cm.)	7x16x3.5	7.5x20x40	7.5x20x60	7.5x20x60	100x100x100
ความหนาแน่น (kg./m^3)	1615 - 1650	765	550 - 650	350	-
จำนวนก้อนต่อตร.ม.	138	14	9	9	-
น้ำหนักต่อตร.ม. (kg./m^2)	130	90	46.5	40	35
น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อตร.ม. (kg./m^2)	180 - 200	130	90 – 100	-	-
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม “Q” (Thermal Transfer) (Watt/m^2)	30-45	-	32-42	-	1.96
ค่าการนำความร้อน “K” (Conductivity – K value) (W/m.K)	0.473	0.519	0.11	0.10	-
ค่าการต้านทานความร้อน “R” (Resistivity – R value) (m^2K/W)	1.79	1.84	2.40	5.21	18.74
ค่าความจุความร้อน “C” (Thermal Capacity) (J/kg.K)	800-1000	-	น้อยกว่าอิฐมอญ 2.5 เท่า	-	-
การต้านทานแรงอัด (kg./cm^2)	35	-	40-50	40-50	สามารถออกแบบได้
การกันเสียง (dB)	36-40	-	38-43	52-62	
การทนไฟ (ชั่วโมง)	0.5 - 2	-	2	2	0.5-1
อัตราการซึมน้ำ (%)	40%	30%	30%	21%	-
การยืดหดตัวของวัสดุ (มม./ม.)	+ 0.18	- 0.8	- 0.2	- 0.27	-
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย	ง่าย	ต้องการช่างเฉพาะ	ต้องการช่างเฉพาะ	ต้องการช่างเฉพาะ
อายุใช้งาน	> 50 ปี	> 50 ปี	ยังไม่คงที่	-	> 30 ปี

(โครงการศึกษาสถานภาพการใช้พลังงานและแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในบ้านที่อยู่อาศัย, 2549.)

2.6 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากภาระการทำความเย็นของอาคาร

การคำนวณภาระการทำความเย็นของอาคารอันเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Cooling Load Temperature Differentials) การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการทราบขนาดของเครื่องปรับอากาศ โดยจะนำผลที่ออกมาเป็นค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงการใช้งานอาคาร ซึ่งค่าความร้อนที่ใช้นการคำนวณจะเกิดขึ้นจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ

2.6.1 ค่าความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอกอาคาร (External Load)

1) ค่าความร้อนจากแสงแดดกระทบผ่านหลังคา (Roof)

$$Q = UA(CLTD)$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อนที่ผ่านหลังคาอาคาร ; Btu/hr

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ; Btu/hr-ft^2-°F

A = พื้นที่ผิวของผนัง ; ft^2

CLTD = Cooling Load Temperature Differential ; °F

โดย CLTD คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ซึ่งได้รวมอิทธิพลการอมความร้อนของส่วนประกอบของผนังอาคาร และกระจก สามารถหาได้จากสมการดังนี้ คือ

$$CLTD_{corr} = [(CLTD+LM)K+(78-t_R)+(t_O-85)]f$$

เมื่อ LM = ละติจูดของเดือนที่ทำการศึกษา

K = ค่าสัมประสิทธิ์ของสีของพื้นผิว

K = 1.0 สำหรับพื้นผิวสีเข้ม

K = 0.5 สำหรับพื้นผิวสีอ่อน

$(78-t_R)$ = อุณหภูมิภายในอาคาร ; °F

(t_O-85) = อุณหภูมิภายนอกอาคาร ; °F

f = สัมประสิทธิ์สำหรับคิดพัดลมดูดอากาศหรือบริเวณที่มีพื้นที่ใต้ฝ้าเพดาน

f = 1.0 ไม่มีพัดลมดูดอากาศ

f = 0.5 มีการระบายอากาศภายใน

2) ค่าความร้อนจากแสงแดดกระทบผ่านผนัง (Wall)

$$Q = UA(CLTD)$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อนที่ผ่านผนังอาคาร ; Btu/hr

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ; Btu/hr-ft^2-°F

A = พื้นที่ผิวของผนัง ; ft^2

CLTD = Cooling Load Temperature Differential ; °F

โดย CLTD คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ซึ่งได้รวมอิทธิพลการอมความร้อนของส่วนประกอบของผนังอาคาร และกระจก สามารถหาได้จากสมการดังนี้ คือ

$$CLTD_{corr} = [(CLTD+LM)K+(78-t_R)+(t_O-85)]f$$

เมื่อ LM = ละติจูดของเดือนที่ทำการศึกษา

K = ค่าสัมประสิทธิ์ของสีของพื้นผิว

K = 1.0 สำหรับพื้นผิวสีเข้ม

K = 0.5 สำหรับพื้นผิวสีอ่อน

$(78-t_R)$ = อุณหภูมิภายในอาคาร ; °F

(t_O-85) = อุณหภูมิภายนอกอาคาร ; °F

3) ค่าความร้อนจากแสงแดดที่ทะลุผ่านหน้าต่างกระจก (Glass) ถือเป็นความร้อนหนึ่งที่มีผลต่อภาระการทำความเย็น เพราะแสงแดดที่ส่องผ่านเข้ามาจะมีความร้อนด้วย ดังนั้นจึงถือเป็นค่าความร้อนที่สำคัญอันหนึ่ง โดยแบ่งเป็นค่าความร้อนที่เกิดจากกระจกที่กลายเป็นสื่อนำความร้อน (Glass Conduction) และความร้อนจากแสดงแดดที่แพร่เข้ามา (Glass Radiation)

$$Q_{conduction} = UA(CLTD)$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อนที่ผ่านกระจก ; Btu/hr

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ; Btu/hr-ft^2-°F

A = พื้นที่ของกระจก ; ft^2

CLTD = Cooling Load Temperature Differential ; °F

$$Q_{radiation} = A(SC)(SHGF)(CLF)$$

เมื่อ SC = สัมประสิทธิ์การบังแดด ของกระจก

SHGF = Solar Heat Gain Factor ; Btu/hr-ft^2

A = พื้นที่ของกระจก ; ft^2

CLF = Cooling Load Factor

4) ค่าความร้อนจากพื้น ผนังกั้นห้องภายใน และฝ้าเพดาน (Partitions, Ceiling, Floors)

$$Q = UA(\Delta t)$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อนที่พื้น หรือผนังกั้นห้อง ฝ้าเพดาน ;Btu/hr

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ; Btu/hr-ft^2-°F

A = พื้นที่ของพื้น หรือผนังกั้นห้อง ฝ้าเพดาน ; ft^2

Δt = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน ; °F

2.6.2 ค่าความร้อนจากแหล่งความร้อนภายในอาคาร (Internal Load)

1) ค่าความร้อนจากคน (People Load)

$$Q_{sensible} = N(\text{Sensible HG})(CLF)$$
$$Q_{latent} = N(\text{Latent HG})$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อนจากคน ; Btu/hr

N = จำนวนคน

Sensible HG = ปริมาณความร้อนสัมผัสจากคน

Latent HG = ปริมาณความร้อนแฝงจากคน

CLF = Cooling Load Factor, People

2) ค่าความร้อนจากหลอดไฟ (Lights)

$$Q = (\text{Input})(CLF)$$

เมื่อ Input = ปริมาณความร้อนจากหลอดไฟ ; Btu/hr

CLF = Cooling Load Factor, Lights

3) ค่าความร้อนจากมอเตอร์ไฟฟ้า (Power) โดยจะพบมาในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ คือขณะที่มอเตอร์ทำงานจะให้ค่าความร้อนออกมาจากตัวมอเตอร์ด้วย ค่าความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับกำลังม้าของมอเตอร์ และระยะเวลาที่มอเตอร์ทำงาน

$$Q = (\text{Heat Gain})(CLF)$$

เมื่อ Heat Gain = ปริมาณความร้อนจากหลอดไฟ ; Btu/hr

CLF = Cooling Load Factor, Power

4) ค่าความร้อนจากเครื่องใช้ไฟฟ้า (Appliances)

$$Q_{sensible} = (\text{Heat Gain})(CLF)$$

เมื่อ Heat Gain = ปริมาณความร้อนจากเครื่องใช้ไฟฟ้า ; Btu/hr

CLF = Cooling Load Factor, Appliance

5) ค่าความร้อนจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาระบายอากาศภายใน (Ventilation) และจากอากาศภายนอกที่ถูกลมพัดเข้ามา โดยผ่านรอยรั่วตามขอบประตู หน้าต่าง ประตู (Infiltration Air)

$$Q_{sensible} = 1.10Q\Delta t$$
$$Q_{latent} = 4840Q\Delta W$$
$$Q_{total} = 4.5Q\Delta H$$

เมื่อ Q = ค่าความร้อนจากการหมุนเวียนอากาศ ; Btu/hr

Δt = ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายใน; °F

ΔW = ผลต่างของความชื้นระหว่างภายนอกและภายใน

ΔH = ผลต่างของ Enthalpy ระหว่างภายนอกและภายใน

2.7 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

การขนส่ง น. ธุรกิจเกี่ยวด้วยการขนและส่ง เช่น ขนส่งสินค้า. (ราชบัณฑิตยสถาน, 2542.)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลัง

การใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า พิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550.)

การแปรใช้ใหม่ (Recycle) ราชบัณฑิตยสถานบัญญัติความหมายของคำโดย ศ.ดร.กฤษณา ชุติมา ราชบัณฑิต ประเภทวิทยาศาสตร์กายภาพ สาขาวิชาเคมี สำนักวิทยาศาสตร์ ไว้ว่า "...เมื่อนำสิ่งใดไป recycle ย่อมหมายความว่า สิ่งนั้นจะต้องผ่านกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น นำเศษแก้วและขวดที่ไม่ต้องการไปหลอมและผ่านกระบวนการเป็นขั้นตอน แล้วผลิตภาชนะแก้วขึ้นใหม่ที่อาจไม่ได้อยู่ในรูปลักษณ์เดิมก็ได้ หรือนำกระดาษที่ไม่ต้องการแล้ว ซึ่งอาจมีตัวพิมพ์ตัวเขียนเต็มไปหมด ไป recycle กลับมาเป็นกระดาษสะอาดว่างเปล่า พร้อมที่จะพิมพ์หรือเขียนลงไปได้อีก ในการนี้คงจะต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ หลายขั้นตอน..." (จดหมายข่าวราชบัณฑิตยสถาน ปีที่ 7 ฉบับที่ 75, สิงหาคม 2550)

บ้าน น. ที่อยู่ เช่น เลขบ้าน เจ้าบ้าน, สิ่งปลูกสร้างสำหรับเป็นที่อยู่อาศัย เช่น บ้านพักตากอากาศ บ้านเช่า, บริเวณที่เรือนตั้งอยู่ เช่น เขตบ้าน, หมู่บ้าน เช่น ผู้ใหญ่บ้าน, ถิ่นที่มีมนุษย์อยู่ เช่น สร้างเป็นบ้านเป็นเมือง; (กฎ) โรงเรือนหรือสิ่งปลูกสร้างสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัย ซึ่งมีเจ้าบ้านครอบครอง และหมายความรวมถึงแพหรือเรือซึ่งจอดเป็นประจำและใช้เป็นที่อยู่ประจำ หรือสถานที่หรือยานพาหนะอื่นซึ่งใช้เป็นที่อยู่อาศัยประจำได้ด้วย. ว. ที่มีอยู่ตามบ้าน เช่น หนูบ้าน คู่กับ หนูนา หรือที่เลี้ยงไว้ เช่น หมูบ้าน คู่กับ หมูป่า.

พลังงานในการสะสมรวม (Embodied Energy) คือ การประเมินค่าพลังงานที่ต้องการในการสกัดวัตถุดิบจากธรรมชาติ รวมถึงพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตทั้งช่วงปฐมภูมิและช่วงทุติยภูมิ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เล็กจนใหญ่ ส่วนในอาคารนั้น พลังงานสะสมรวมที่ใช้ในวัสดุก่อสร้าง โดยใช้การแปลงค่าและใช้โมเดลช่วยเปรียบเทียบถึงการผลิตในกระบวนการนั้นๆ (พิมลมาศ วรรณคนาพล, 2544.)

วัสดุผนังทึบของอาคาร (Opaque Wall Materials) คือ วัสดุก่อสร้างผนังที่แสงสว่างไม่สามารถลอดผ่านได้

รื้อถอน ก. รื้อและถอนสิ่งปลูกสร้างแล้วโยกย้ายไป เช่น รื้อถอนบ้าน เรือน; (กฎ) รื้อส่วนอันเป็นโครงสร้างของอาคาร เช่น เสา คาน ตง ออกไปให้หมด เช่น รื้อถอนบ้านเรือน (ราชบัณฑิตยสถาน, 2542.)

อาศัย ก. พักพิง, พักผ่อน; พึ่ง; อ้างถึง เช่น อาศัยความตามมาตราที่ (ส.)

Carbon dioxide น. ชื่อแก๊สชนิดหนึ่ง ไม่มีสี สูตรเคมี CO_2 มีปรากฏในบรรยากาศ เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ของธาตุคาร์บอนหรือสารอินทรีย์ เป็นแก๊สหนักกว่าอากาศ และไม่ช่วยการเผาไหม้ จึงใช้ประโยชน์ ในการดับเพลิง ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดลม เช่น น้ำโซดา น้ำหวาน ใช้ทำน้ำแข็งแห้ง ซึ่งเป็นตัวทำความเย็น (อ. Carbon dioxide).

EMERGY มาจากคำว่า Energy Memory เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์และประเมินผลพลังงานสะสมรวม (Embodied Energy) ของวัสดุที่เข้าไปในกระบวนการหนึ่งๆ ในรูปแบบพลังงานพื้นฐาน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากพลังงานมีค่าเท่าเทียมกันในความสามารถของการเกิดงาน ดังนั้นในการวิเคราะห์ EMERGY จึงทำให้พลังงานทุกๆ ส่วนอยู่ในรูปเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบ และในขณะเดียวกัน ในทุกกระบวนการที่เกี่ยวกับสินค้าและบริการ มีการใช้วัสดุ บริการ และพลังงานเข้าไปในกระบวนการ โดยใช้หน่วยในการเปรียบเทียบ คือ EMERGY และมีหน่วยพลังงานที่ต้องการในการกระทำกระบวนการหนึ่งๆ เรียกว่า EMERGY และมีหน่วยที่ใช้วัด คือ Emjoules (ตัวย่อ sej.) (พิมลมาศ วรรณคนาพล, 2544.) และมีลักษณะการเขียนค่าตัวเลขแบบวิทยาศาสตร์ เช่น 3.60E+04 sej เท่ากับ 36,000 sej เป็นต้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จุดประสงค์ในการศึกษางานวิจัยชิ้นนี้ เป็นการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือส่วนหนึ่งของก๊าซเรือนกระจกลดน้อยลง โดยประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยต่างๆ ดังนี้

3.1 รายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ขั้นตอนการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบ ได้แก่

1) *ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ* เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งที่อยู่ตามธรรมชาติ และการได้มา ของวัสดุผนังทึบอาคาร เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ตามธรรมชาติของวัสดุนั้นๆ

2) *ขั้นตอนการผลิตวัสดุ* ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตวัสดุจากผู้ผลิต โดยอ้างอิงจากข้อมูลที่ต้องใช้ในขั้นตอนของการก่อสร้าง เพื่อทราบถึงวัสดุชนิดต่างๆ ที่ต้องใช้ และนำมาพิจารณาหาปริมาณพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนของการผลิตวัสดุต่อไป

3) *ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร* รวบรวมขั้นตอนการก่อสร้างผนังทึบของบ้านพักอาศัย และคำนวณหาปริมาณ และจำนวนวัสดุแต่ละชนิด ที่ใช้ในการก่อสร้าง เพื่อนำมาหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

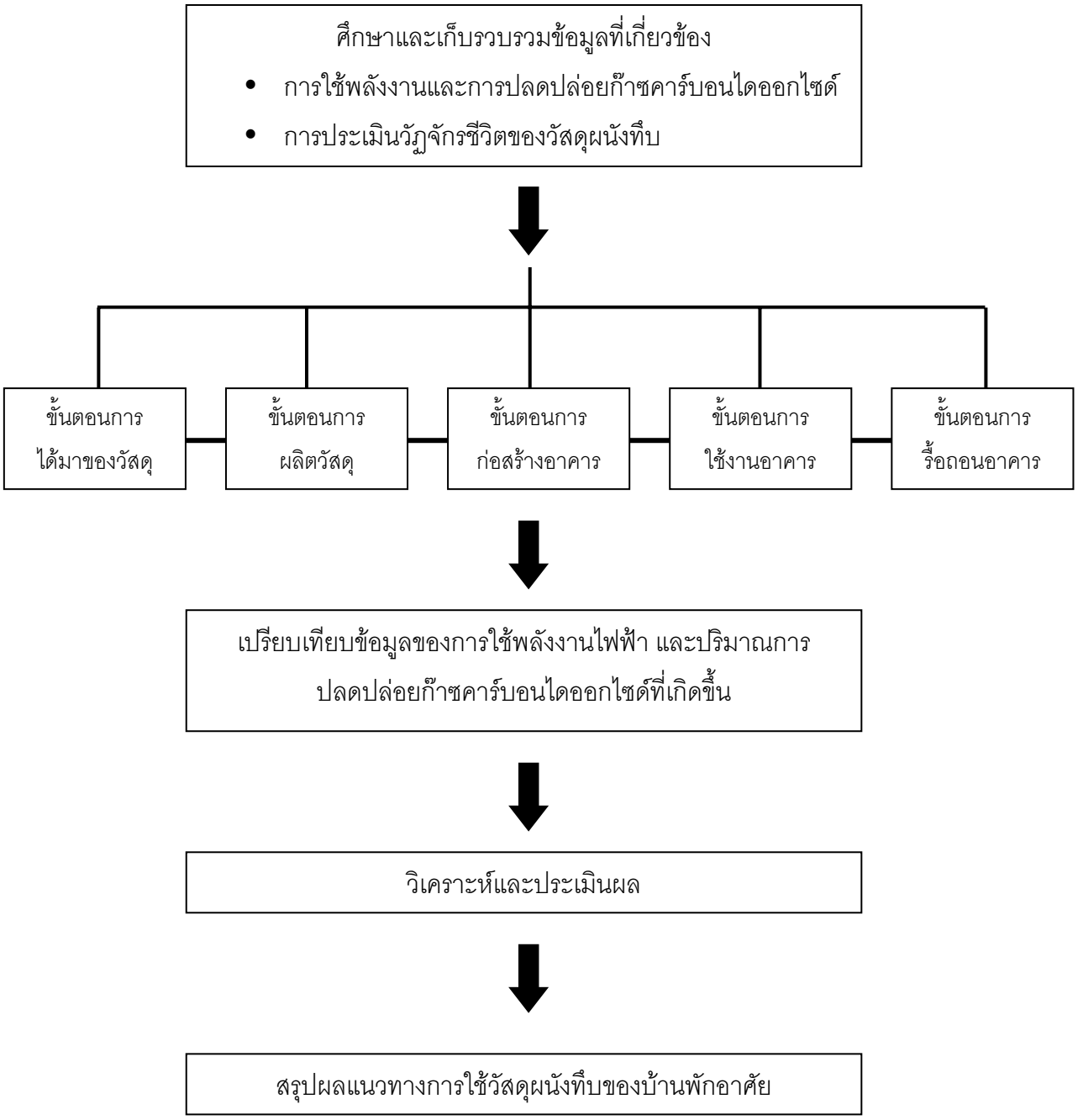
4) *ขั้นตอนการใช้งานอาคาร* จำลองการใช้พลังงานรวมทั้งหมดในแต่ละวัสดุผนังทึบของบ้านพักอาศัย และคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในแต่ละช่วงปีของการใช้งานอาคารที่กำหนด ได้แก่ 15 ปี 30 ปี และ 50 ปี เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ของการใช้งานบ้านพักอาศัยหลังนั้น

5) *ขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร* เก็บรวบรวมศึกษาข้อมูลขั้นตอนของการรื้อถอนอาคารโดยวิธีการทุบทำลาย เพื่อนำมาพิจารณาหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบที่กำหนด

3.1.2 นำข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

3.1.3 วิเคราะห์หาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดตามมา ในขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด

3.1.4 สรุปผลและเสนอแนวทางการนำไปใช้ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดในงานออกแบบสถาปัตยกรรม จากการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตทั้ง 5 ขั้นตอน ของวัสดุผนังทึบในบ้านพักอาศัย เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ



แผนภูมิที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตวัสดุผนังทึบ

เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาปริมาณวัสดุ และปริมาณงานของระบบผนังชนิดต่างๆ โดยมีกลุ่มตัวอย่างของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกแบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกโฟมหนา 4 นิ้ว (EIFS) ซึ่งทุกวัสดุจะทำการศึกษาในทุกขั้นตอนของการวัฏจักรชีวิต ดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

รวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการได้มาของวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตวัสดุจากแหล่งผู้ผลิต และใช้ข้อมูลพลังงานสะสมรวมของวัสดุ (Embodied Energy) เพื่อหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยวัสดุผนังทึบแต่ละชนิดประกอบวัตถุดิบต่างๆ ดังนี้

1) ผนังอิฐมอญฉาบปูน ขนาดครึ่งแผ่น (0.075x0.16x0.035 เมตร) พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบ ดังนี้
   - 1.1) ดินเหนียว จำนวน 36.22 กิโลกรัม
   - 1.2) ขี้เถ้าแกลบ จำนวน 12 กิโลกรัม
2) ผนังก่อซีเมนต์บล็อก ขนาด 0.075x0.20x0.40 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบ ดังนี้
   - 2.1) หินฝุ่น จำนวน 50 กิโลกรัม
   - 2.2) ทรายหยาบ จำนวน 12.48 กิโลกรัม
   - 2.3) ซีเมนต์ จำนวน 6.25 กิโลกรัม
3) ผนังคอนกรีตมวลเบา ขนาด 0.07x0.20x0.40 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบ ดังนี้
   - 3.1) ซีเมนต์ จำนวน 7 กิโลกรัม
   - 3.2) ทราย จำนวน 26.73 กิโลกรัม
   - 3.3) หินปูน จำนวน 6.48 กิโลกรัม
   - 3.4) ยิปซั่ม จำนวน 2.43 กิโลกรัม
   - 3.5) อลูมินั่มเพส (Aluminum Paste) จำนวน 6.30 กิโลกรัม
4) ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต ที่ความหนาแน่น 350 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบ ดังนี้
   - 4.1) ซีเมนต์ จำนวน 28.35 กิโลกรัม
   - 4.2) เม็ดโฟม จำนวน 13.50 กิโลกรัม

5) ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบ ดังนี้

5.1)	โลหะ	จำนวน	8.15	กิโลกรัม
5.2)	ยิปซั่ม	จำนวน	13.5	กิโลกรัม
5.3)	อีพีเอสโฟม	จำนวน	1.6	กิโลกรัม
5.4)	ไฟเบอร์กลาส	จำนวน	0.16	กิโลกรัม
5.5)	วัสดุเชื่อมผิว	จำนวน	1	กิโลกรัม
5.6)	สี	จำนวน	2.5	กิโลกรัม

3.2.2 ขั้นตอนการผลิตวัสดุ

รวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนของการผลิตวัสดุที่นำมาใช้ในวัสดุก่อสร้าง ซึ่งรวบรวมจากฐานข้อมูลของผู้ผลิตวัสดุชนิดต่างๆ และนำมาเปรียบเทียบเป็นค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตของวัสดุได้

3.2.3 ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

รวบรวมข้อมูลขั้นตอนต่างๆ ในการก่อสร้าง และเรียบเรียงประเภทของวัสดุผนังทึบที่ใช้ในการวิจัย วัสดุผนังทึบแต่ละชนิดประกอบด้วยวัสดุต่างๆ 5 ชนิด ดังนี้

1) ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน ขนาดครึ่งแผ่น (0.075x0.16x0.035 เมตร) พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

1.1)	อิฐมอญ	จำนวน	138	ก้อน
1.2)	ปูนซีเมนต์ผสม	จำนวน	16	กิโลกรัม
1.3)	ปูนขาว	จำนวน	10.29	กิโลกรัม
1.4)	ทรายหยาบ	จำนวน	0.05	ลูกบาศก์เมตร
1.5)	น้ำ	จำนวน	10	ลิตร (10 กิโลกรัม)

2) ผนังก่อซีเมนต์บล็อก ขนาด 0.075x0.20x0.40 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

2.1)	ซีเมนต์บล็อก	จำนวน	13	ก้อน
2.2)	ปูนซีเมนต์	จำนวน	9.47	กิโลกรัม
2.3)	ปูนขาว	จำนวน	5.43	กิโลกรัม
2.4)	ทรายหยาบ	จำนวน	0.04	ลูกบาศก์เมตร
2.5)	น้ำ	จำนวน	5	ลิตร (5 กิโลกรัม)

3) ผนังคอนกรีตมวลเบา ขนาด 0.07x0.20x0.60 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

3.1) คอนกรีตมวลเบา	จำนวน	9	ก้อน
3.2) ปูนซีเมนต์(ก่อ)	จำนวน	2.10	กิโลกรัม
3.3) ปูนซีเมนต์(ฉาบ)	จำนวน	7.09	กิโลกรัม
3.4) น้ำ	จำนวน	5	ลิตร (5 กิโลกรัม)

4) ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต ขนาด 0.07x0.20x0.60 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

4.1) เม็ดโฟมคอนกรีต	จำนวน	9	ก้อน
4.2) ปูนซีเมนต์(ก่อ)	จำนวน	2.10	กิโลกรัม
4.3) ปูนซีเมนต์(ฉาบ)	จำนวน	7.09	กิโลกรัม
4.4) น้ำ	จำนวน	5	ลิตร (5 กิโลกรัม)

5) ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

5.1) โครงเคร่าโลหะ	จำนวน	8.125	กิโลเมตร
5.2) แผ่นยิปซั่มบอร์ด	จำนวน	6.77	กิโลกรัม
5.3) โฟมอีพีเอสหนา 4 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์เมตร	จำนวน	1.6	กิโลกรัม
5.4) ตาข่ายไฟเบอร์กลาส	จำนวน	0.16	กิโลกรัม
5.5) ปูนแดง (Portland Cement)	จำนวน	2.16	กิโลกรัม
5.6) วัสดุเชื่อมผิวยิปซั่มและโฟม	จำนวน	1	กิโลกรัม
5.7) วัสดุเคลือบผิวชั้นนอกสุด	จำนวน	3	กิโลกรัม
5.8) สี	จำนวน	2.5	กิโลกรัม

3.2.4 ขั้นตอนการใช้งานอาคาร

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ภายในอาคาร โดยคิดจากภาระการทำความเย็นของอาคาร แล้วนำปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้มาแปลงเป็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบอาคาร

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (Resistance; R-value) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความ

ร้อนของผนังทึบ (U-Value) ของวัสดุทั้ง 5 ชนิด (ดังตารางที่ 2.1) และประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกใส (SC) เท่ากับ 0.96

ส่วนประกอบอาคารอื่นๆ ที่ใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ หลังคา และพื้น โดยมีค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (Resistance; R-value) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (U-Value) ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุผนัง (Resistance; R-value) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (U-Value) สรุปหลังคา พื้น และกระจก

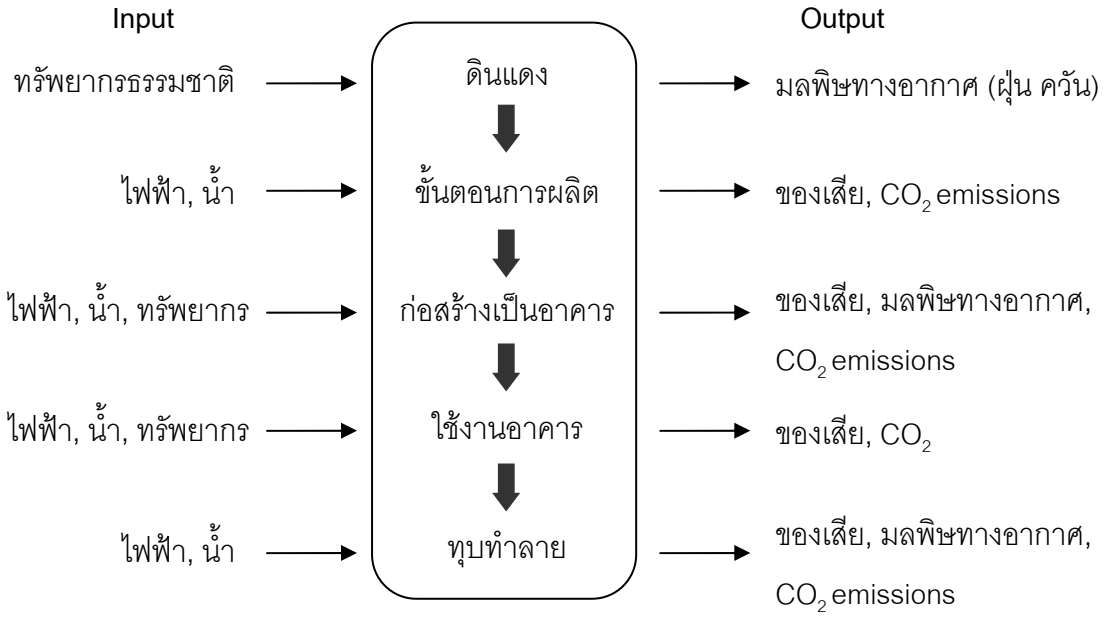
	หลังคากระเบื้องลอนคู่	**พื้นปูกระเบื้องภายใน**	**กระจกใสหนา 6 มม.**
R-Value ($h.ft^2.°F/btu$)	2.48	1.41	1.06
U-Value ($btu/h.ft^2.°F$)	0.40	0.71	0.93

3.2.5 ขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร

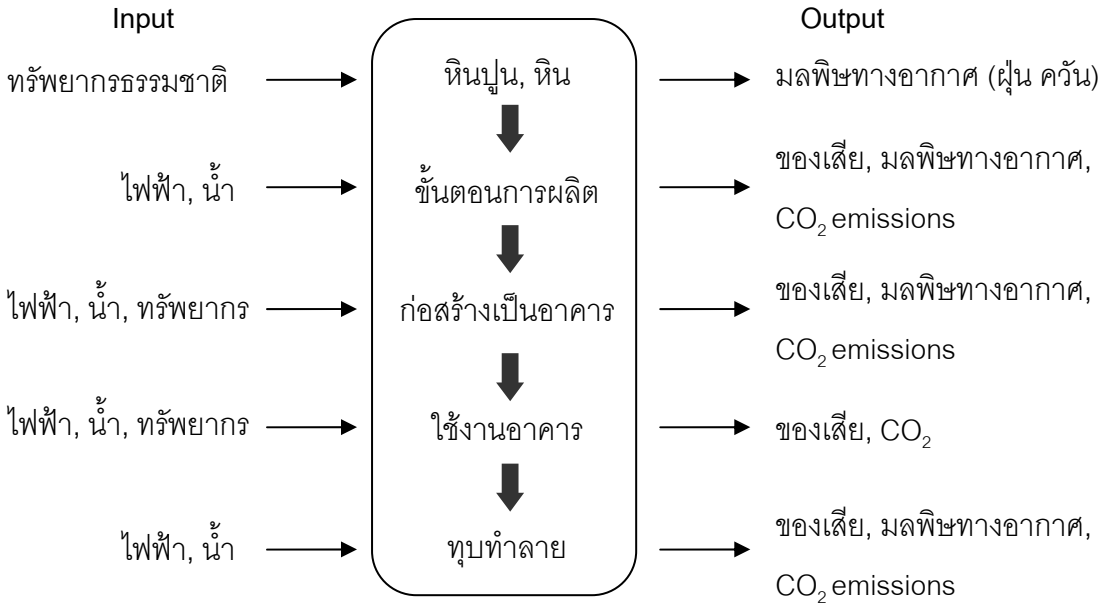
ศึกษาขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร โดยวิธีการทุบทำลายวัสดุเท่านั้น เพื่อรวมรวบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นของการทำลายวัสดุแต่ละชนิด แล้วนำมาเปรียบเทียบหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.3 ขั้นตอนเรียบเรียงปริมาณสารขาเข้า และสารขาออก ของวัสดุก่อสร้างทั้ง 5 ชนิด

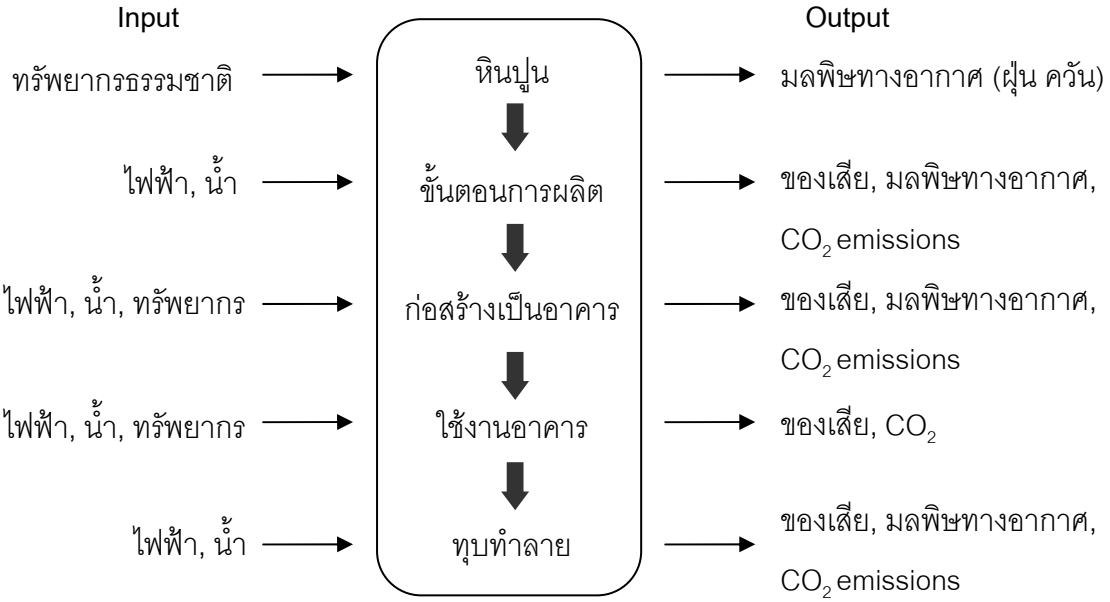
3.3.1 ผนังก่ออิฐมอญ



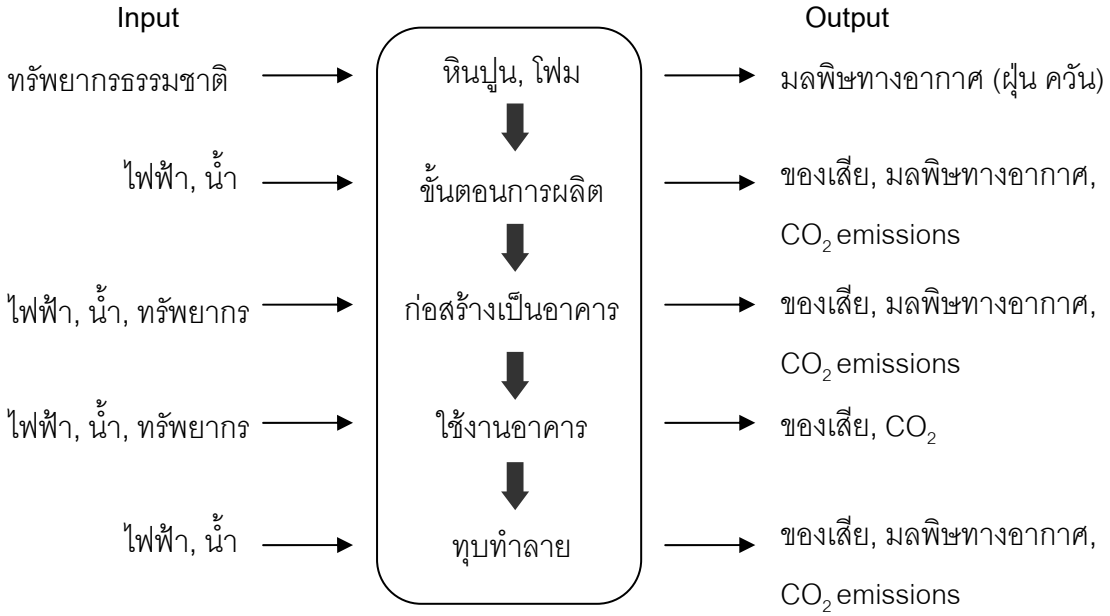
3.3.2 ผนังก่อซีเมนต์บล็อก



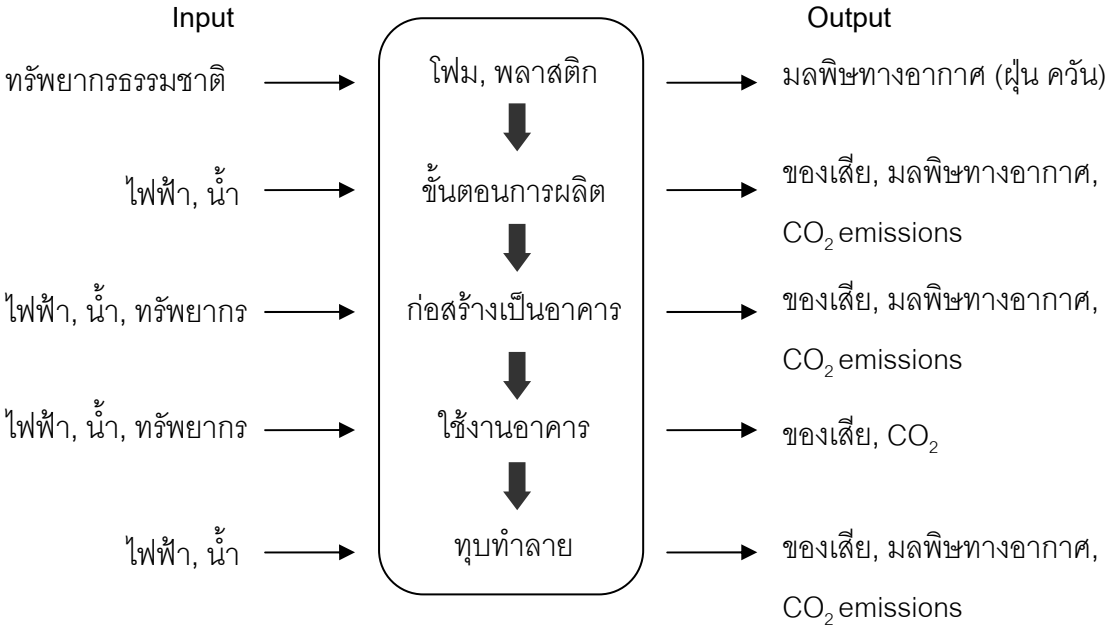
3.3.3 ผนังคอนกรีตมวลเบา



3.3.4 ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต



3.3.5 ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS)



3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

รวมรวบข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ ขั้นตอนการผลิตวัสดุ ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร และขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร อีกทั้งในขั้นตอนของการใช้งานอาคาร

3.4.2 การคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศอันเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Cooling Load Temperature Differential)

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศอันเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (ดูตารางและสูตรที่เกียวข้องในการคำนวณที่ภาคผนวก ก) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการทราบขนาดของเครื่องปรับอากาศ โดยจะนำผลที่ออกมาเป็นค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงการใช้งานอาคาร ซึ่งค่าความร้อนที่มีในการคำนวณจะเกิดขึ้นจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ

1) **ค่าความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอกอาคาร** (External Load) ได้แก่

1.1) ค่าความร้อนจากแสงแดดกระทบผ่านผนังอาคารและหลังคา (Wall and Roof)

1.2) ค่าความร้อนจากแสงแดดที่ทะลุผ่านหน้าต่างกระจก (Glass) ถือเป็นความร้อนหนึ่งที่มีผลต่อภาระการทำความเย็น เพราะแสงแดดที่ส่องผ่านเข้ามาจะมีความร้อนด้วย

ดังนั้นจึงถือเป็นค่าความร้อนที่สำคัญอันหนึ่ง โดยแบ่งเป็นค่าความร้อนที่เกิดจากกระจกที่กลายเป็นสื่อนำความร้อน (Conduction Through Glass) และความร้อนจากแสดงแดดที่แพร่เข้ามา (Radiation from Glass)

1.3) ค่าความร้อนจากพื้น ผนังกั้นห้องภายใน และฝ้าเพดาน (Partitions, Ceiling, Floors)

2) ค่าความร้อนจากแหล่งความร้อนภายในอาคาร (Internal Load) ได้แก่

2.1) ค่าความร้อนจากคน (People Load)

2.2) ค่าความร้อนจากหลอดไฟ (Lights)

2.3) ค่าความร้อนจากมอเตอร์ไฟฟ้า (Power) โดยจะพบมาในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ คือขณะที่มอเตอร์ทำงานจะให้ค่าความร้อนออกมาจากตัวมอเตอร์ด้วย ค่าความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับกำลังม้าของมอเตอร์ และระยะเวลาที่มอเตอร์ทำงาน

2.4) ค่าความร้อนจากเครื่องใช้ไฟฟ้า (Appliances)

2.5) ค่าความร้อนจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาระบายอากาศภายใน (Ventilation) และจากอากาศภายนอกที่ถูกลมพัดเข้ามา โดยผ่านรอยรั่วตามขอบประตู หน้าต่าง ประตู (Infiltration)

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยประเมินวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบ ซึ่งเน้นส่วนประกอบของอาคารภายนอกเท่านั้น จึงคำนวณเฉพาะค่าความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอกอาคารเท่านั้น

3.4.3 หน่วยการแปลงค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เป็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าและการใช้เชื้อเพลิงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และ ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPP) ถูกรวบรวมและศึกษา เพื่อคำนวณหาEmission Baseline ในการปรับปรุงการประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า ที่ดำเนินการโดย กฟผ. ด้วยการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม และจากการรวมผลกระทบของการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าต่อการผลิตไฟฟ้าปัจจุบันและโรงไฟฟ้าที่ถูกชะลอการก่อสร้าง ได้ค่า Emission baseline (ของปี พ.ศ. 2549) สำหรับการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คือ 466 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ 0.466 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (เอกรินทร์ โบษกรนัฏ, 2550)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน รวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้านำมาเทียบเป็นค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของปี พ.ศ.

2549 เท่ากับ ปริมาณการใช้ไฟฟ้า 1 เมกกะวัตต์-ชั่วโมง จะมีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.547 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือมีค่าเท่ากับปริมาณการใช้ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.547 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

งานวิจัยนี้ใช้ค่าแปลงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณการใช้ไฟฟ้า ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ไฟฟ้าปริมาณ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง = 466 กรัม คาร์บอนไดออกไซด์
= 0.46 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์

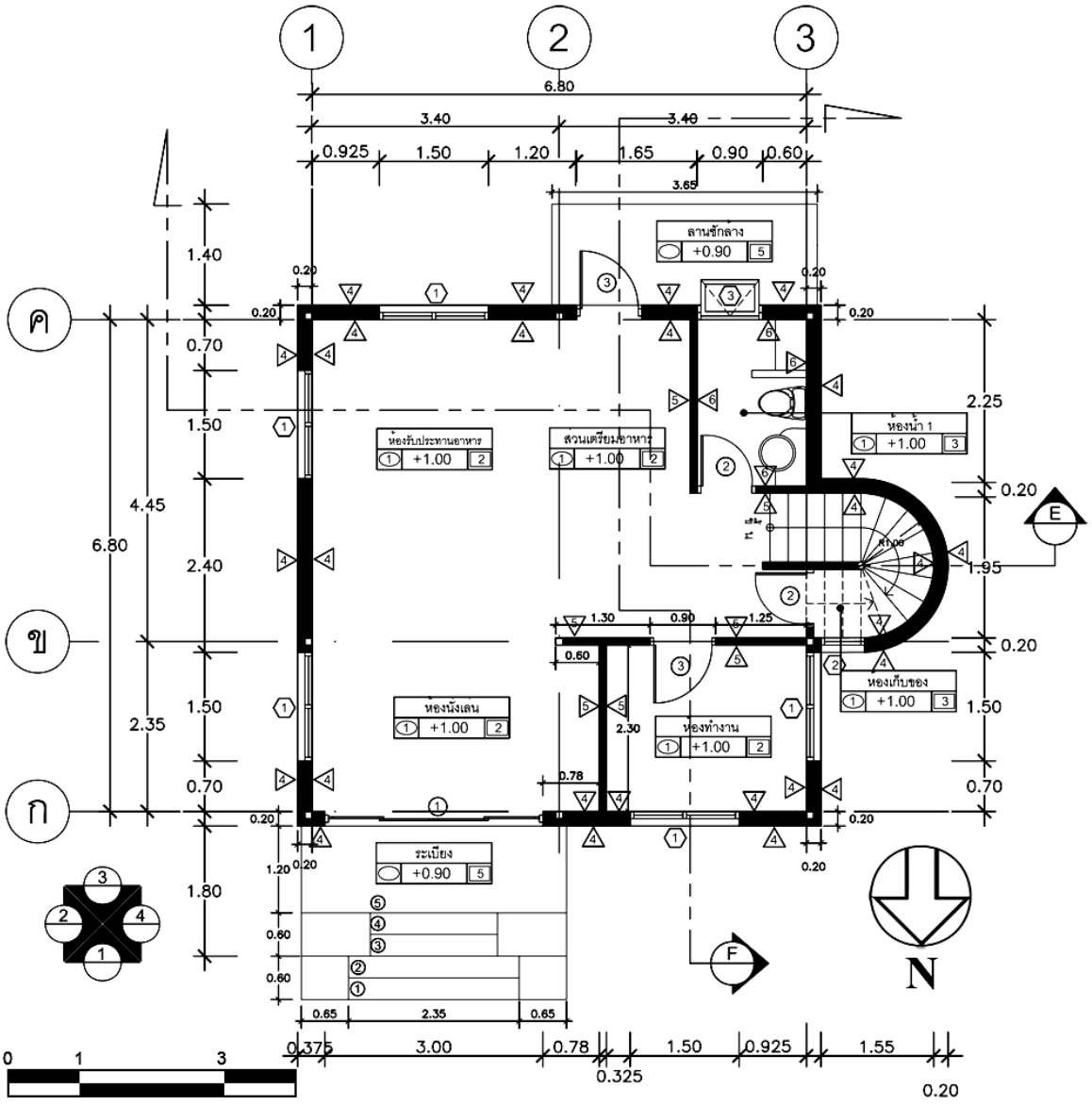
3.4.4 การแปลงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นพื้นที่สีเขียว

ข้อมูลของในโครงการ Billion Tree Campaign ของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP: United Nations Environment Programme, 2008) ว่าด้วยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวว่าพื้นที่ป่าไม้ 1 เฮกตาร์ โดยมีลักษณะของป่าที่สมบูรณ์จะสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศได้เท่ากับ 6 ตัน (tonne) คาร์บอนไดออกไซด์ โดยสามารถสรุปค่าได้ ดังนี้

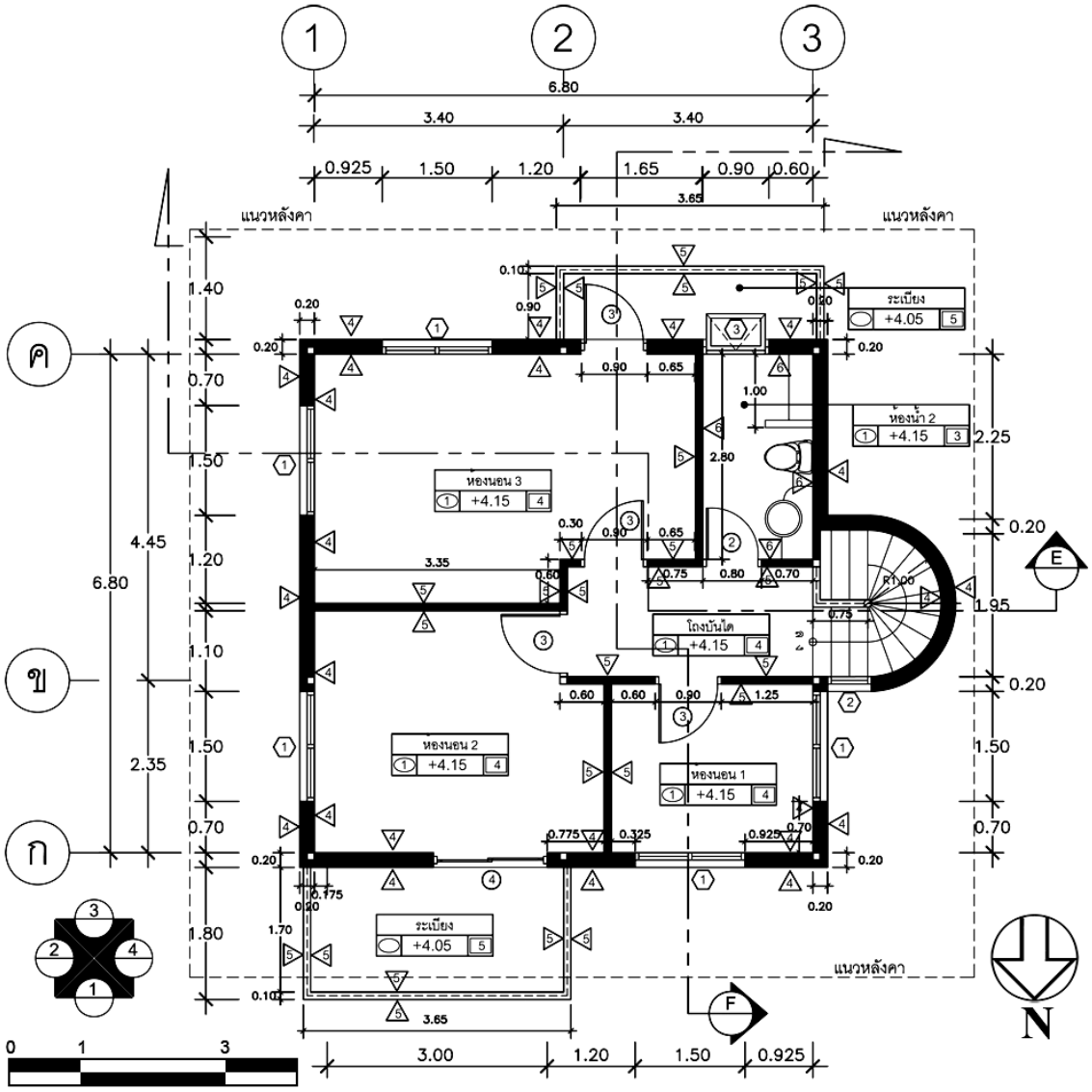
พื้นที่ป่าไม้ขนาด 0.01 ตารางกิโลเมตร = 6 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์ ต่อปี
1 ตารางเมตร = 0.60 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ ต่อปี

3.5 รูปแบบอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ในการวิจัย

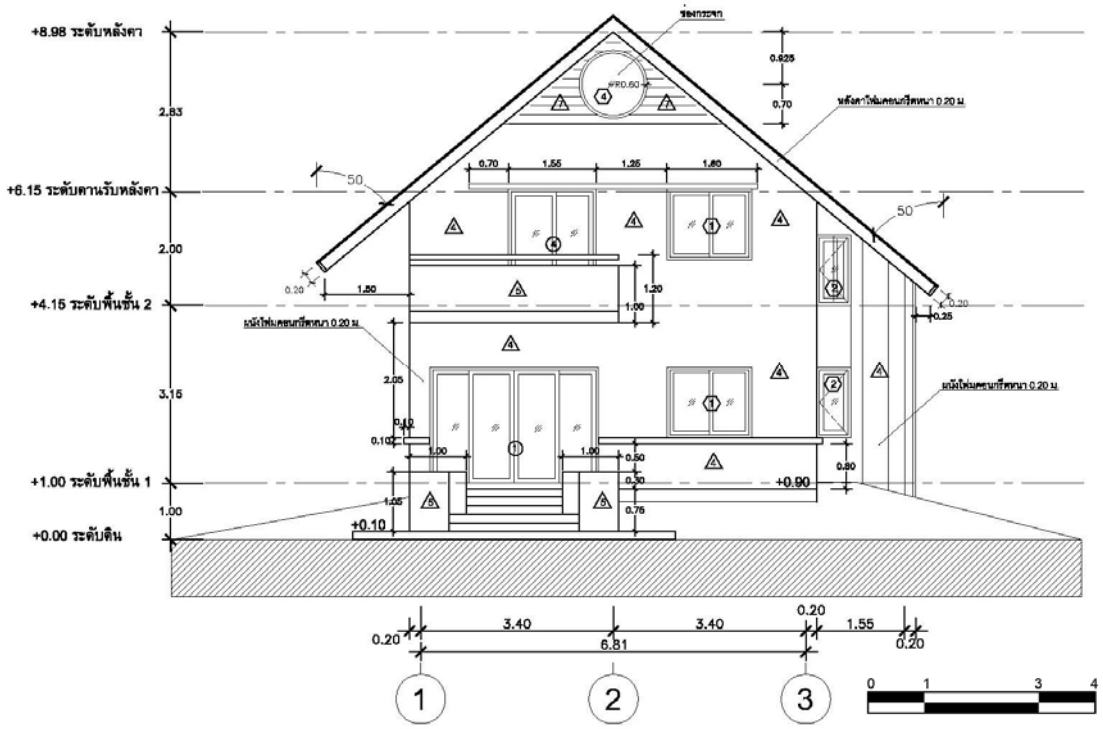
1) บ้านพักอาศัยขนาด 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 98.64 ตารางเมตร
2) พื้นที่ผนังรวม 159.31 ตารางเมตร
3) ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร
4) เปรียบเทียบคุณสมบัติในสภาวะอาคารที่มีการปรับอากาศภายในที่อุณหภูมิ 25 °C
5) ศึกษาอายุอาคารในช่วงระยะเวลา 15 ปี 30 ปี และ 50 ปี



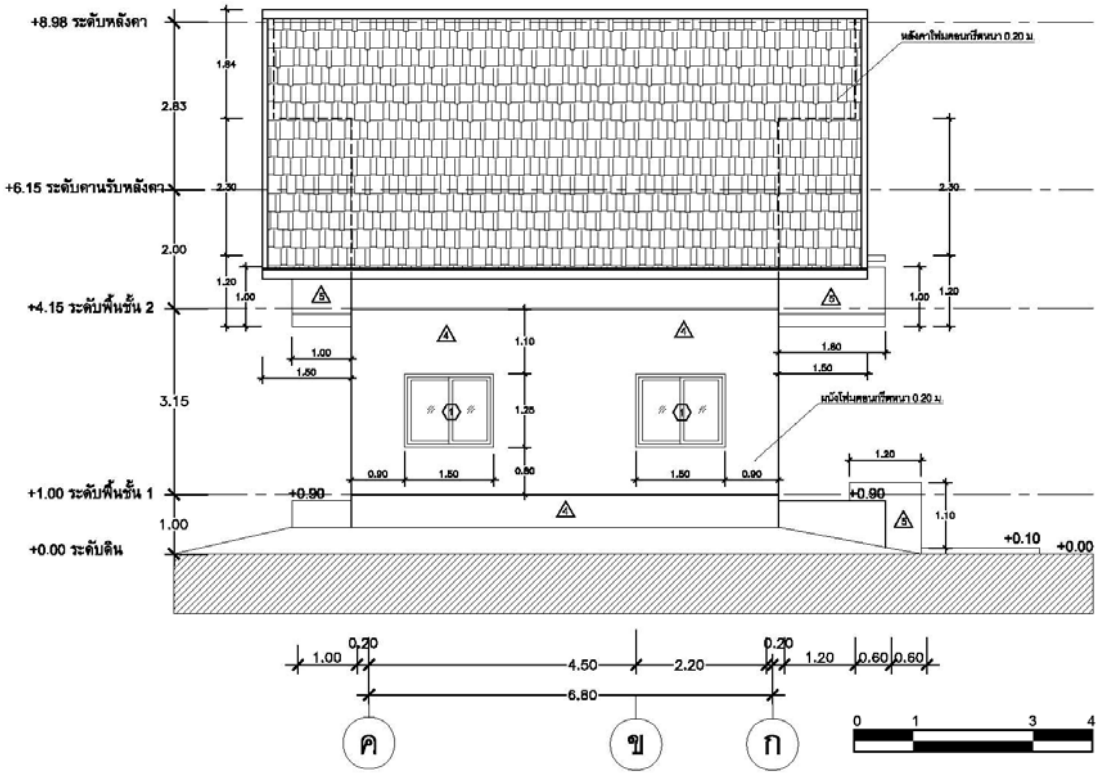
รูปที่ 3.4 แสดงแบบผังพื้นชั้นล่างอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์



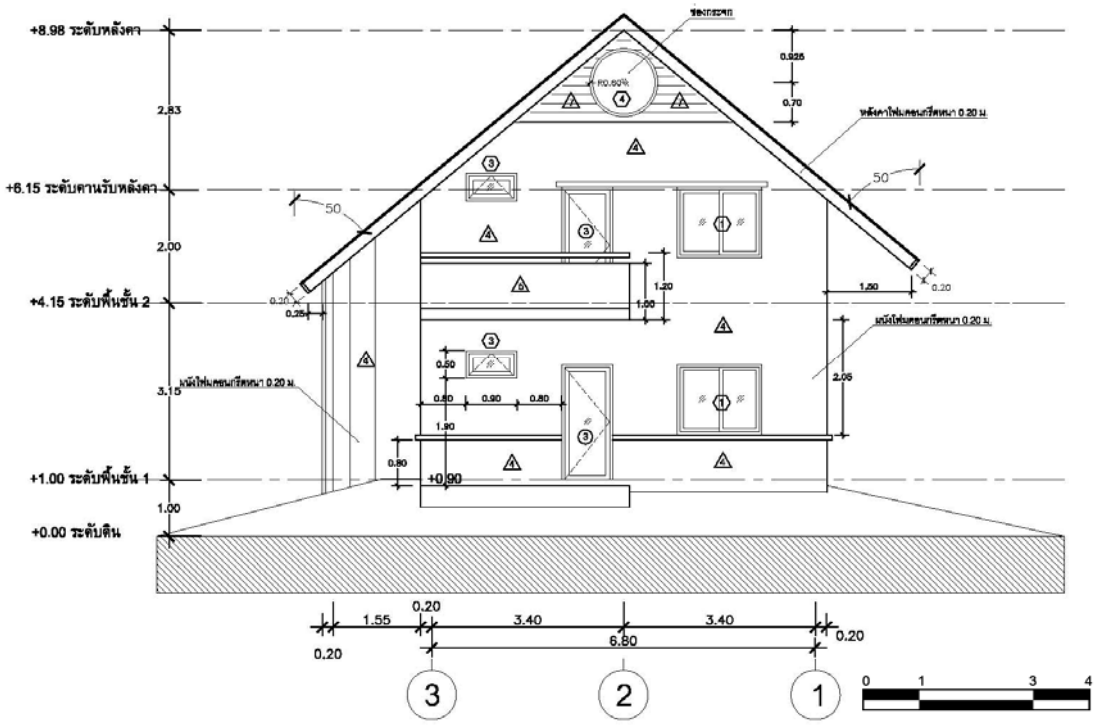
รูปที่ 3.5 แสดงแบบผังพื้นชั้นบนอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์



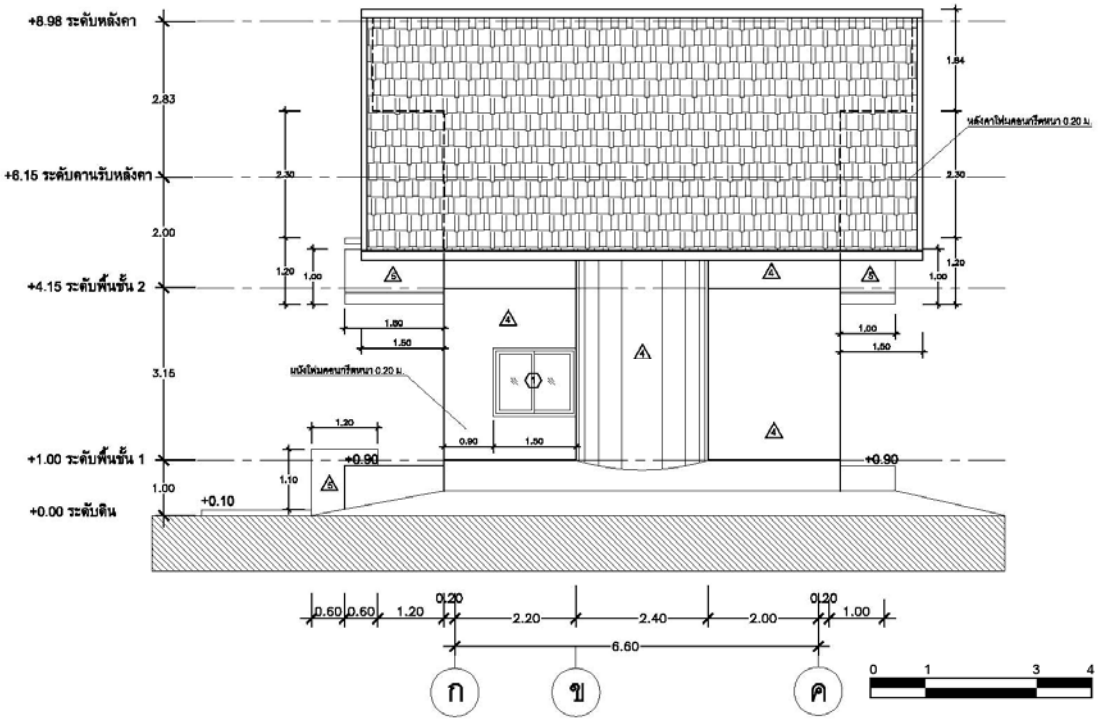
รูปที่ 3.6 แสดงแบบรูปด้าน 1 ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 3.7 แสดงแบบรูปด้าน 2 ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 3.8 แสดงแบบรูปด้าน 3 ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 3.9 แสดงแบบรูปด้าน 4 ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

ในการวิจัยเพื่อศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารพักอาศัยนั้น ได้แบ่งศึกษาข้อมูลออกเป็น 5 ขั้นตอน ตามการประเมินวัฏจักรชีวิต ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ ขั้นตอนการผลิตวัสดุ ก่อสร้าง ใช้งานอาคาร และทำลายอาคาร ซึ่งคาดว่าขั้นตอนต่างๆ ของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้น จะมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เท่ากัน ซึ่งในขั้นตอนของการใช้งานอาคารนั้นจะเป็นช่วงที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด เนื่องในช่วงการใช้งานของอาคารมีระยะเวลาที่ยาวนาน ดังนั้นผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยเพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบนั้น จะเน้นในช่วงของขั้นตอนการใช้งานอาคาร

ผลการศึกษาเพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบนั้น จะมาจากการคำนวณหาภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารกรณีศึกษา และเทียบออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า อีกทั้งปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามลำดับ โดยสามารถพล็อตค่าที่เกิดขึ้นได้ดังกราฟต่อไปนี้

4.1.1 ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

รวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุ เพื่อหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ ดิน หินปูน ทราย เป็นต้น โดยใช้ข้อมูลพลังงานสะสมรวมของวัสดุ (Embodied Energy) ของวัตถุดิบ (Mining) เปรียบเทียบกันในวงจรชีวิตของวัสดุนั้น โดยแจกแจงเป็นปริมาณของพื้นที่วัสดุผนังทึบ 1 ตารางเมตร และพื้นที่ของวัสดุผนังทึบทั้งอาคารคือ 159.31 ตารางเมตร

1) ผนังอิฐมอญฉาบปูน ขนาดครึ่งแผ่น พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบต่างๆ ดังนี้

1.1) ดินเหนียว จำนวน 36.25 กิโลกรัม

1.2) ขี้เถ้าแกลบ จำนวน 12.07 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ดินเหนียว	g	2.00E+09	3.62E+04	7.25E+13
2	ขี้เถ้าแกลบ	g	1.40E+10	1.21E+04	1.69E+14
	รวม				2.42E+14
		kWh			385.54

ตารางที่ 4.2 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ดินเหนียว	g	2.00E+09	5.77E+06	1.15E+16
2	ขี้เถ้าแกลบ	g	1.40E+10	1.92E+06	2.69E+16
	รวม				3.85E+16
		kWh			61,419.80

2) ผนังซีเมนต์บล็อก ขนาด 0.07x0.20x0.40 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบต่างๆ ดังนี้

2.1) หินฝุ่น จำนวน 50 กิโลกรัม

2.2) ทรายหยาบ จำนวน 12.48 กิโลกรัม

2.3) ซีเมนต์ จำนวน 6.25 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.3 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	หินฝุ่น	g	1.00E+09	5.01E+04	5.01E+13
2	ทรายหยาบ	g	1.00E+09	1.25E+04	1.25E+13
3	ซีเมนต์	g	1.98E+09	6.24E+03	1.24E+13
	รวม				7.49E+13
		kWh			119.55

ตารางที่ 4.4 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	หินฝุ่น	g	1.00E+09	7.97E+06	7.97E+15
2	ทรายหยาบ	g	1.00E+09	1.99E+06	1.99E+15
3	ซีเมนต์	g	1.98E+09	9.94E+05	1.97E+15
	รวม				1.19E+16
		kWh			19,045.28

3) ผนังคอนกรีตมวลเบา ขนาด 0.70x0.20x0.60 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบต่างๆ ดังนี้

3.1) ซีเมนต์ จำนวน 0.95 กิโลกรัม

3.2) ทราย จำนวน 3.29 กิโลกรัม

3.3) หินปูน จำนวน 0.95 กิโลกรัม

3.4) ยิปซั่ม จำนวน 60 กิโลกรัม

3.5) อลูมินั่มเพส จำนวน 0.70 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.5 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน หนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ซีเมนต์	g	1.98E+09	6.93E+03	1.37E+13
2	ทราย	g	1.00E+09	2.67E+04	2.67E+13
3	หินปูน	g	1.00E+09	6.48E+03	6.48E+12
4	ยิปซั่ม	g	1.00E+09	2.43E+03	2.43E+12
5	อลูมินั่มเพส (Aluminum Paste)	g	1.17E+10	6.30E+03	7.37E+13
	รวม				1.23E+14
		kWh			196.47

ตารางที่ 4.6 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ซีเมนต์	g	1.98E+09	1.10E+06	2.19E+15
2	ทราย	g	1.00E+09	4.26E+06	4.26E+15
3	หินปูน	g	1.00E+09	1.03E+06	1.03E+15
4	ยิปซั่ม	g	1.00E+09	3.87E+05	3.87E+14
5	อลูมินั่มเพส (Aluminum Paste)	g	1.17E+10	1.00E+06	1.17E+16
	รวม				1.96E+16
		kWh			31,300.29

4) ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต ขนาด 0.70x0.20x0.60 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบต่างๆ ดังนี้

4.1) ซีเมนต์ จำนวน 29.40 กิโลกรัม

4.2) เม็ดโฟม จำนวน 5.14 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.7 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ซีเมนต์	g	1.98E+09	2.84E+04	5.61E+13
2	เม็ดโฟม	g	3.28E+09	2.38E+04	7.79E+13
	รวม				1.34E+14
		kWh			214.03

ตารางที่ 4.8 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ซีเมนต์	g	1.98E+09	4.52E+06	8.94E+15
2	เม็ดโฟม	g	3.28E+09	3.79E+06	1.24E+16
	รวม				2.14E+16
		kWh			34,096.46

5) ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัตถุดิบต่างๆ ดังนี้

5.1) โลหะ จำนวน 8.125 กิโลกรัม

5.2) ยิปซั่ม จำนวน 13.5 กิโลกรัม

5.3) โฟมอีพีเอส จำนวน 1.6 กิโลกรัม

5.4) ไฟเบอร์กลาส จำนวน 0.16 กิโลกรัม

5.5) วัสดุเชื่อมผิวยิปซั่มและโฟม จำนวน 1 กิโลกรัม

5.6) วัสดุเคลือบผิวชั้นนอกสุด จำนวน 3 กิโลกรัม

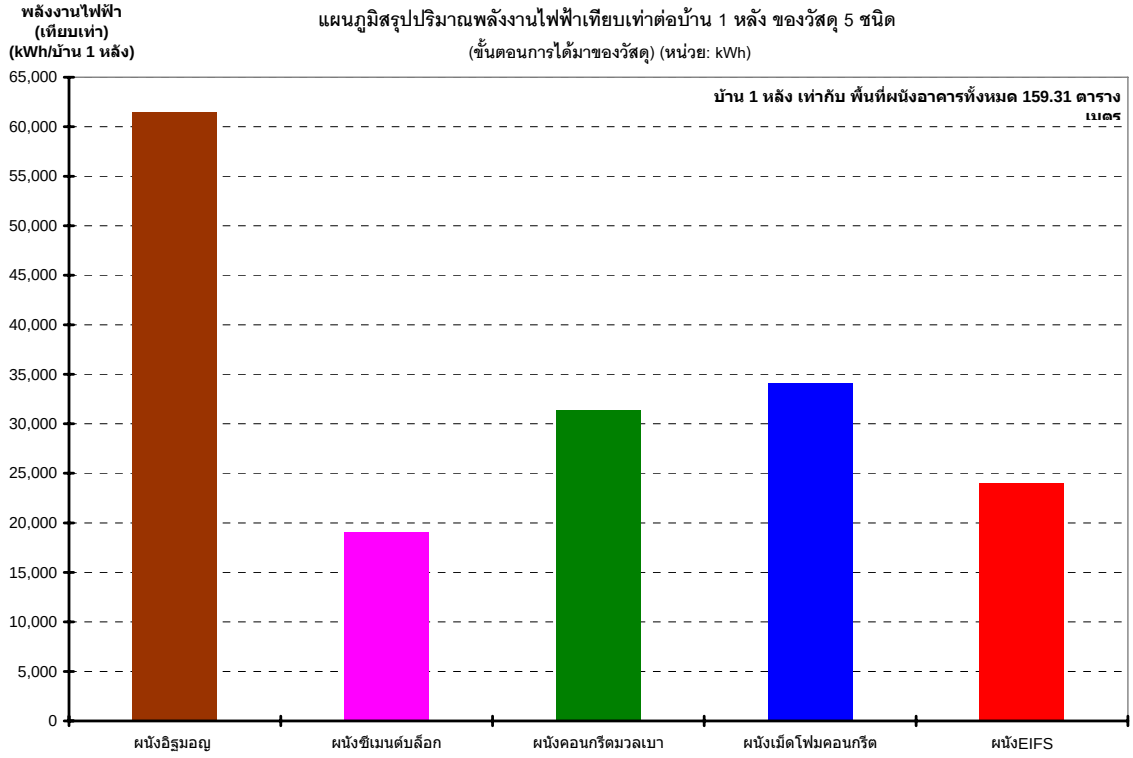
5.7) สี จำนวน 2.5 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.9 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	**หน่วย**	Transformity (sej/**หน่วย**)	**น้ำหนัก**	Emergy(sej)
1	โลหะ	g	4.15E+09	8.13E+03	3.37E+13
2	ยิปซั่ม	g	1.00E+09	1.35E+04	1.35E+13
3	อีพีเอสโฟม	g	3.28E+09	1.60E+03	5.25E+12
4	ไฟเบอร์กลาส	g	2.20E+10	1.60E+02	3.52E+12
5	วัสดุเชื่อมผิว	g	3.80E+08	1.00E+03	3.80E+11
6	สี	g	1.52E+10	2.50E+03	3.80E+13
	รวม				9.44E+13
		kWh			150.71

ตารางที่ 4.10 แสดงการประเมิน Emergy วัตถุดิบของวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

	วัสดุ	**หน่วย**	Transformity (sej/**หน่วย**)	**น้ำหนัก**	Emergy(sej)
1	โลหะ	g	4.15E+09	1.29E+06	5.37E+15
2	ยิปซั่ม	g	1.00E+09	2.16E+06	2.16E+15
3	อีพีเอสโฟม	g	3.28E+09	2.55E+05	8.36E+14
4	ไฟเบอร์กลาส	g	2.20E+10	2.55E+04	5.61E+14
5	วัสดุเชื่อมผิว	g	3.80E+08	1.59E+05	6.05E+13
6	สี	g	1.52E+10	3.98E+05	6.05E+15
	รวม				1.50E+16
		kWh			24,010.12



แผนภูมิที่ 4.1 สรุปการประเมิน Emergy วัตถุดิบของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดขนาดพื้นที่ 159.31 ในขั้นตอนการได้มาของวัสดุ

ขั้นตอนการได้มาของวัสดุสามารถสรุปผลจากแผนภูมิที่ 4.2 ได้ว่า ปริมาณพลังงานที่มากที่สุดในขั้นตอนการนี้คือ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว เท่ากับ 61,419.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อบ้าน 1 หลังหรือมีพื้นที่ผนังเท่ากับ 159.31 ตารางเมตร เนื่องจากมีปริมาณวัสดุมากกว่าผนังวัสดุทึบชนิดอื่นๆ ส่วนผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้วมีพลังงานที่เกิดขึ้นในการได้มาของวัสดุน้อยที่สุด คือ 19,045.28 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อบ้าน 1 หลัง เนื่องด้วยวัสดุมีปริมาณน้อยกว่าวัสดุผนังทึบชนิดอื่น

4.1.2 ขั้นตอนการผลิตของวัสดุ

ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนของการผลิตวัสดุที่นำมาใช้ในวัสดุก่อสร้างนั้น รวบรวมจากฐานข้อมูลของผู้ผลิตวัสดุชนิดต่างๆ และนำมาเปรียบเทียบเป็นค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตของวัสดุ โดยกำหนดค่าการขนส่งของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดที่ 50 กิโลเมตร

1) ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุในการผลิต ดังนี้

1.1) อิฐมอญ จำนวน 7,694.67 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.11 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	อิฐมอญ	g	2.22E+09	7.69E+06	1.71E+16
2	แรงงาน	J	8.10.E+04		8.10.E+04
	รวม				1.71E+16
		kWh			27,270.39

2) ผนังก่อซีเมนต์บล็อก ขนาด 0.07x0.20x0.40 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุในการผลิต ดังนี้

2.1) ซีเมนต์บล็อก จำนวน 11,390.66 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.12 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ซีเมนต์บล็อก	g	1.35E+09	1.14E+07	1.54E+16
2	แรงงาน	J	8.10.E+04		8.10.E+04
	รวม				1.54E+16
	-	kWh			24,548.85

3) ผนังคอนกรีตมวลเบา ขนาด 0.70x0.20x0.40 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุในการผลิต ดังนี้

3.1) คอนกรีตมวลเบา จำนวน 10,065.20 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.13 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน หนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	คอนกรีตมวลเบา	g	6.40E+07	1.01E+07	6.45E+14
2	น้ำ	J	4.80E+04	6.53E+05	3.13E+10
3	แรงงาน	J	8.10.E+04		8.10.E+04
	รวม				6.45E+14
	-	kWh			1,029.07

4) ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต ความหนาแน่น 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุในการผลิต ดังนี้

4.1) ซีเมนต์ จำนวน 4,683.71 กิโลกรัม

4.2) เม็ดโฟม จำนวน 819.64 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.14 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูน หนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ซีเมนต์	g	1.98E+09	4.68E+06	9.27E+15
2	เม็ดโฟม	g	3.28E+09	8.20E+05	2.69E+15
2	น้ำ	J	4.80E+04	4.35E+05	2.09E+10
3	แรงงาน	J	8.10.E+04		8.10.E+04
	รวม				1.20E+16
	-	kWh			19,096.79

5) ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุในการผลิต ดังนี้

5.1) โครงเคร่าโลหะ จำนวน 318.62 กิโลกรัม

5.2) แผ่นยิปซั่มบอร์ด จำนวน 995.68 กิโลกรัม

5.3) โฟมอีพีเอสหนา 4 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์เมตร จำนวน 7.22 กิโลกรัม

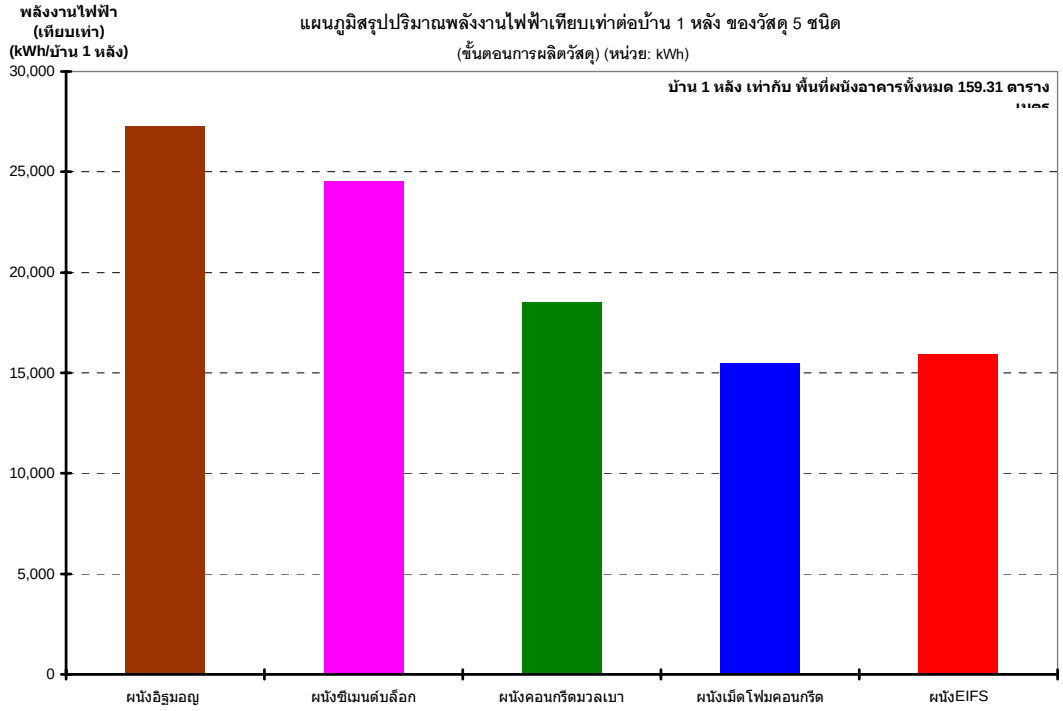
5.4) ตาข่ายไฟเบอร์กลาส จำนวน 27.08 กิโลกรัม

5.5) วัสดุเชื่อมผิวยิปซั่มและโฟม จำนวน 398.27 กิโลกรัม

5.6) วัสดุเคลือบผิวชั้นนอกสุด จำนวน 398.27 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.15 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ

	วัสดุ	**หน่วย**	Transformity (sej/**หน่วย**)	**น้ำหนัก**	Emergy(sej)
1	โครงเคร่าโลหะ	g	4.15E+09	3.19E+05	1.32E+15
2	แผ่นยิปซั่มบอร์ด	g	1.84E+09	9.96E+05	1.83E+15
3	อีพีเอสโฟม	g	3.28E+09	7.23E+03	2.37E+13
4	ไฟเบอร์กลาส	g	2.20E+10	2.71E+04	5.96E+14
5	วัสดุเชื่อมผิวยิปซั่มและโฟม	g	3.80E+08	3.98E+05	1.51E+14
6	วัสดุเคลือบผิวชั้นนอกสุด	g	1.52E+10	3.98E+05	6.05E+15
7	แรงงาน	J	8.10.E+04		8.10.E+04
	รวม				9.98E+15
		kWh			15,930.69



แผนภูมิที่ 4.2 สรุปการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดขนาดพื้นที่ 159.31 ในขั้นตอนการผลิตของวัสดุ

ขั้นตอนการผลิตของวัสดุสามารถสรุปผลได้จากแผนภูมิและตารางพบว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการผลิตวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีพลังงานที่เกิดขึ้นระบบมากที่สุด เท่ากับ 27,270.39 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อบ้าน 1 หลัง ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีพลังงานที่เกิดขึ้นในระบบน้อยที่สุดคือ 15,930.69 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อบ้าน 1 หลัง เนื่องจากส่วนประกอบของผนังมีลักษณะเป็นส่วนประกอบหลายชั้น

4.1.3 ขั้นตอนการก่อสร้าง

รวบรวมข้อมูลขั้นตอนต่างๆ ในการก่อสร้าง และรายการปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังวัสดุทึบทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว สามารถศึกษาปริมาณวัสดุก่อสร้างได้จาก กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (มหาดไทย, กระทรวง., 2544: 86) ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างจากผู้ผลิต และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างจากการประมาณจริง โดยกำหนดขอบเขตของระยะทางในการขนส่งที่ 50 กิโลเมตร (ดูภาคผนวก ค)และมีค่า

สิ้นเปลืองของพลังงานน้ำมันดีเซลเท่ากับ 6 กิโลเมตรต่อลิตร ส่วนประกอบของผนังแต่ละชนิดประกอบด้วยค่าต่างๆ ดังนี้

1) ผนังอิฐมอญฉาบปูน ขนาดครึ่งแผ่น พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

1.1) อิฐมอญ	จำนวน	138	ก้อน
1.2) ปูนซีเมนต์ผสม	จำนวน	16	กิโลกรัม
1.3) ปูนขาว	จำนวน	10.29	กิโลกรัม
1.4) ทรายหยาบ	จำนวน	0.05	ลูกบาศก์เมตร
1.5) น้ำ	จำนวน	10	ลิตร (10 กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.16 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

	วัสดุ	**หน่วย**	Transformity (sej/**หน่วย**)	**น้ำหนัก**	Emergy(sej)
1	อิฐมอญ	g	2.22E+09	7.69E+06	1.71E+16
2	ปูนซีเมนต์	g	1.98E+09	4.47E+06	8.85E+15
3	ปูนขาว	g	2.31E+09	2.87E+06	6.62E+15
4	ทราย	g	1.00E+09	9.56E+05	9.56E+14
4	น้ำ	J	4.80E+04	9.71E+04	4.66E+09
5	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	15,986.76	1.06E+16
6	น้ำมัน	J	6.60E+04	8.50E+09	5.61E+14
7	แรงงาน	J	8.10E+04	1.11E+08	8.99E+12
	รวม				4.46E+16
		kWh			71,274.98

2) ผนังซีเมนต์บล็อก ขนาด 0.07x0.19x0.39 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

2.1) ซีเมนต์บล็อก	จำนวน	13	ก้อน
2.2) ปูนซีเมนต์	จำนวน	9.47	กิโลกรัม

2.3) ปูนขาว จำนวน 5.43 กิโลกรัม
2.4) ทรายหยาบ จำนวน 0.04 ลูกบาศก์เมตร
2.5) น้ำ จำนวน 5 ลิตร (5 กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.17 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ซีเมนต์บล็อก	g	1.35E+09	1.14E+07	1.54E+16
2	ปูนซีเมนต์	g	1.98E+09	3.00E+06	5.93E+15
3	ปูนขาว	g	2.31E+09	1.84E+06	4.26E+15
4	ทราย	g	1.00E+09	7.17E+05	7.17E+14
4	น้ำ	J	4.80E+04	9.69E+04	4.65E+09
5	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	16,945.80	1.12E+16
6	น้ำมัน	J	6.60E+04	7.59E+09	5.01E+14
7	แรงงาน	J	8.10E+04	7.40E+07	5.99E+12
	รวม				3.80E+16
		kWh			60,648.51

3) ผนังคอนกรีตมวลเบา ขนาด 0.07x0.20x0.60 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

3.1) คอนกรีตมวลเบา จำนวน 9 ก้อน
3.2) ปูนซีเมนต์(ก่อ) จำนวน 2.62 กิโลกรัม
3.3) ปูนซีเมนต์(ฉาบ) จำนวน 8.86 กิโลกรัม
3.4) น้ำ จำนวน 6.25 ลิตร (6.25 กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.18 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	คอนกรีตมวลเบา	g	6.40E+07	1.01E+07	6.45E+14
2	ปูนก่อ	g	2.31E+09	1.45E+06	3.35E+15
3	ปูนฉาบ	g	2.31E+09	7.19E+06	1.66E+16
5	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	18,707.77	1.24E+16
6	น้ำมัน	J	6.60E+04	2.43E+09	1.60E+14
7	แรงงาน	J	8.10E+04	3.70E+07	3.00E+12
	รวม				3.31E+16
		kWh			52,902.29

4) ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต ขนาด 0.07x0.20x0.60 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

4.1) เม็ดโฟมคอนกรีต จำนวน 9 ก้อน
4.2) ปูนซีเมนต์(ก่อ) จำนวน 2.10 กิโลกรัม
4.3) ปูนซีเมนต์(ฉาบ) จำนวน 7.09 กิโลกรัม
4.4) น้ำ จำนวน 5 ลิตร (5 กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.19 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ซีเมนต์	g	2.31E+09	4.52.E+06	1.04E+16
2	เม็ดโฟม	g	3.15E+09	1.29.E+05	4.06E+14
3	ปูนก่อ	g	2.31E+09	7.97E+05	1.84E+15
4	ปูนฉาบ	g	2.31E+09	2.66E+06	6.13E+15
5	น้ำ	J	4.80E+04	1.34E+05	6.45E+09
6	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	8,097.20	5.35E+15
7	น้ำมัน	J	6.60E+04	3.95E+09	2.60E+14
8	แรงงาน	J	8.10E+04	3.70E+07	3.00E+12
	รวม				2.44E+16
		kWh			38,998.36

5) ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกอบด้วยวัสดุ ดังนี้

5.1) โครงเคร่าโลหะ จำนวน 8.125 กิโลเมตร

5.2) แผ่นยิปซั่มบอร์ด จำนวน 6.77 กิโลกรัม

5.3) โฟมอีพีเอสหนา 4 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์เมตร จำนวน 1.6 กิโลกรัม

5.4) ตาข่ายไฟเบอร์กลาส จำนวน 0.16 กิโลกรัม

5.5) ปูนแดง (Portland Cement) จำนวน 2.16 กิโลกรัม

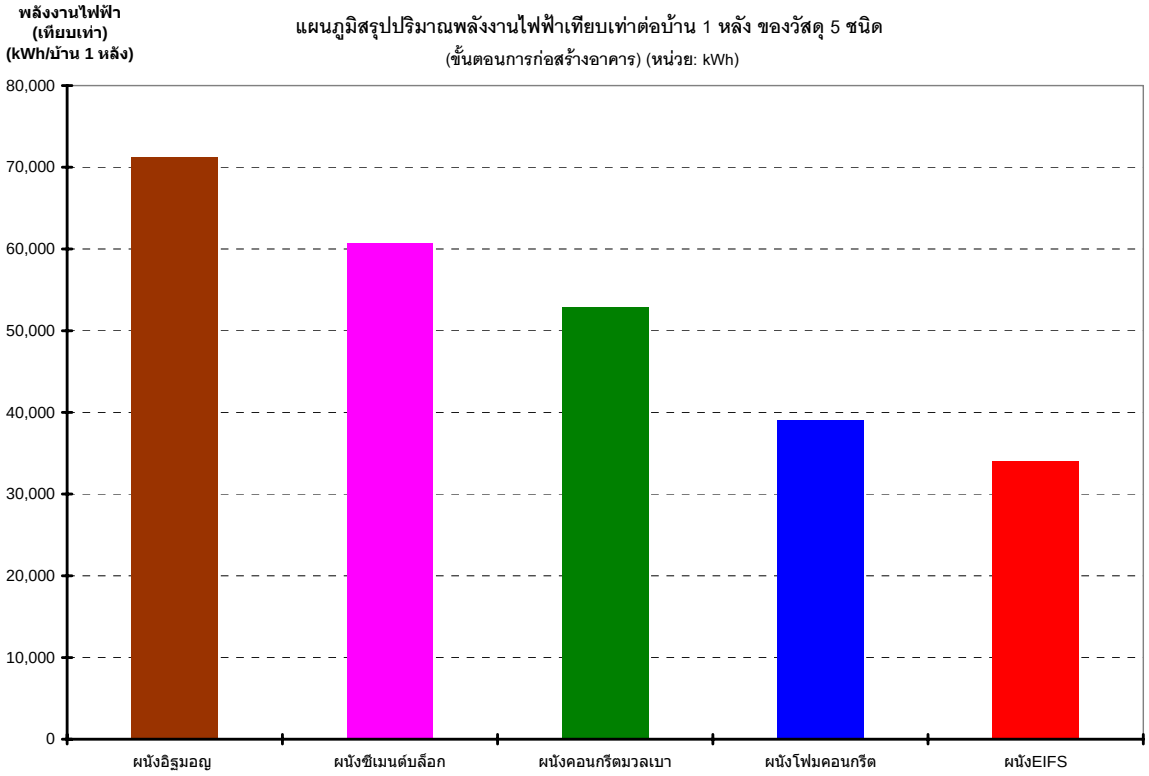
5.6) วัสดุเชื่อมผิวยิปซั่มและโฟม จำนวน 1 กิโลกรัม

5.7) วัสดุเคลือบผิวชั้นนอกสุด จำนวน 3 กิโลกรัม

5.8) สี จำนวน 2.5 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.20 แสดงการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟม หนา 4 นิ้ว ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร ในขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

	วัสดุ	**หน่วย**	Transformity (sej/**หน่วย**)	**น้ำหนัก**	Emergy(sej)
1	โครงเคร่าโลหะ	g	4.15E+09	1.29E+06	5.37E+15
2	แผ่นยิปซั่มบอร์ด	g	1.84E+09	2.16E+06	3.97E+15
3	โฟมอีพีเอส	g	3.28E+09	2.55E+05	8.36E+14
4	ตาข่ายไฟเบอร์กลาส	g	2.20E+10	2.23E+04	4.91E+14
5	ปูนแดง (Portland Cement)	g	2.31E+09	3.44E+05	7.95E+14
6	วัสดุเชื่อมผิวยิปซั่มและโฟม	g	3.80E+08	1.59E+05	6.05E+13
7	วัสดุเคลือบผิวชั้นนอกสุด	g	3.80E+08	4.78E+05	1.82E+14
8	สี	g	1.52E+10	3.98E+05	6.05E+15
10	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	5,108.28	3.38E+15
11	น้ำมัน	J	6.60E+04	2.43E+09	1.60E+14
12	แรงงาน	J	8.10E+04	2.66E+07	2.16E+12
	รวม				2.13E+16
		kWh			33,999.45

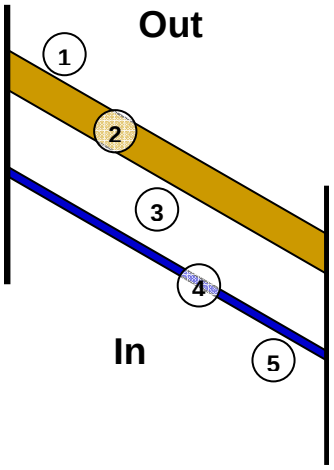


แผนภูมิที่ 4.3 สรุปการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดขนาดพื้นที่ 159.31 ในขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร

ขั้นตอนการก่อสร้างอาคารสามารถสรุปผลได้คือ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในระบบสูงที่สุดคือ 71,274.98 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อบ้าน 1 หลัง และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก มีค่าพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าเกิดขึ้นเท่ากับ 33,999.45 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อบ้าน 1 หลัง หรือเท่ากับพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร

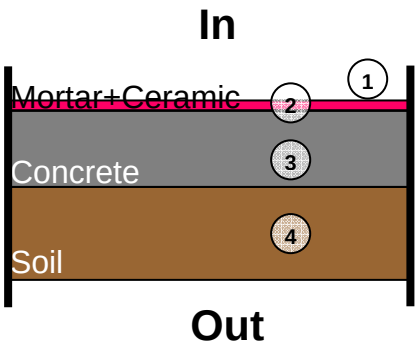
4.1.4 ขั้นตอนการใช้งานอาคาร

คำนวณขั้นตอนภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เกิดขึ้นจากความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านผนังวัสดุทึบทั้ง 5 ชนิด เพื่อใช้เป็นค่าแทนปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ผนังในแต่ละชนิด โดยได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ที่เกิดจากการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมหนา 4 นิ้ว และ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟมหนา 4 นิ้ว ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วนประกอบอาคารที่ใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ หลังคา ผนัง กระจก และพื้น โดยมีการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (Resistance; R-value) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (U-Value) ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3



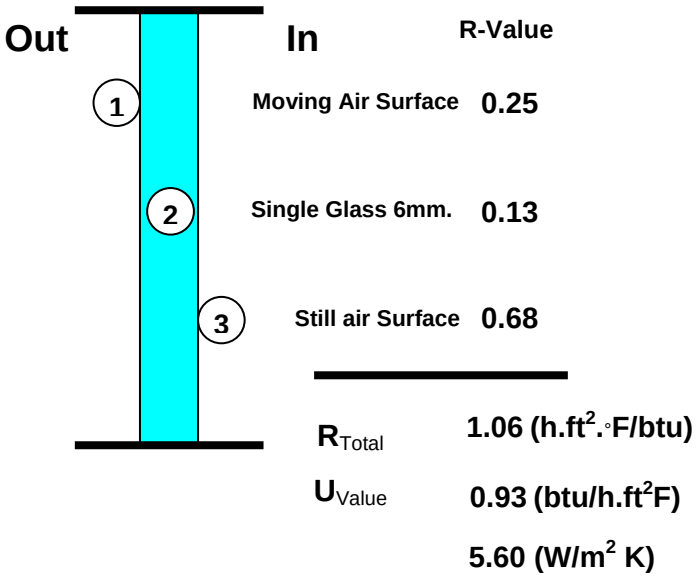
	R-Value
Moving Air Surface	0.25
Asbestos-Cement Roof Tile ½”	0.125
Air space Non-Reflective	0.90
Gypsum Board	0.45
Still air	0.76
R_{Total}	2.485 (h.ft^2.°F/btu)
U_{Value}	0.40 (btu/h.ft^{2}F)
	2.27 (W/m^2 K)

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของหลังคากระเบื้องลอนคู่



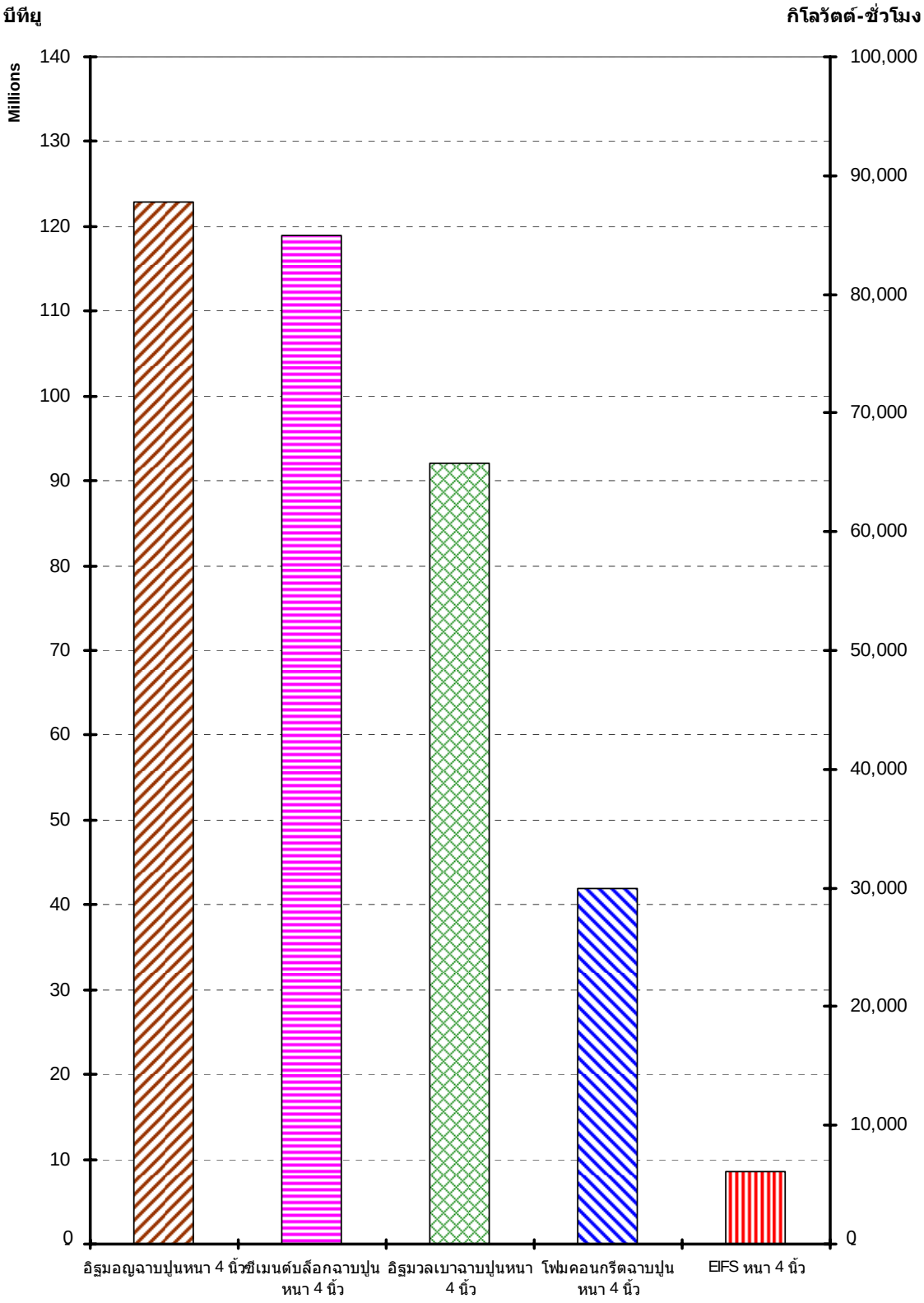
	R-Value
Air surface Non Reflective	0.61
Mortar+Ceramic	0.20
Concrete floor	0.60
Soil	0.00
R_{Total}	1.41 (h.ft^2.°F/btu)
U_{Value}	0.71 (btu/h.ft^{2}F)
	4.03 (W/m^2 K)

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของพื้นกระเบื้องภายในอาคาร



รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนวัสดุของกระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร

ผลจากการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของผนังมาคิดเป็นหลัก เพื่อนำไปหาค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแผนภูมิภาระการทำความเย็นของผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ตลอด 1 ปี ดังภาคผนวก ข ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์แบ่งตามชนิดของวัสดุผนังทึบต่างๆ ดังนี้



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของผนังอาคาร จำแนกตามวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ที่ความหนา 4 นิ้ว ในช่วงการใช้งานอาคาร 1 ปี

แผนภูมิที่ 4.4 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของอาคาร จำแนกตามวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ที่ความหนา 4 นิ้ว ใน 1 ปี ต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร โดยผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้วจะมีภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงสุดประมาณ 122 บีทียูต่อปีต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศน้อยที่สุดคือน้อยกว่า 10 บีทียูต่อปีต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด โดยมีแผนภูมิในภาคผนวก ข แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศโดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ในช่วง 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม แสดงถึงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารจากส่วนต่างๆ ของอาคาร ได้แก่ หลังคา ผนังหน้าต่าง และพื้น ซึ่งภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันในแต่ละชนิดของวัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ที่เข้ามาภายในอาคารเกิดจากวัสดุกระจกที่นำความร้อนเข้ามาทางหน้าต่าง รองลงมาคือผนัง หลังคา และพื้นตามลำดับ โดยในการศึกษานี้เน้นการศึกษาที่ผนังวัสดุทึบของอาคารทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน 4 นิ้ว ผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูน 4 นิ้ว ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟมหนา 4 นิ้ว

4.1.5 ขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร

ข้อมูลการรื้อถอนอาคารโดยวิธีการทุบทำลาย รวบรวมและวิเคราะห์จากพลังงานสะสมรวม (Emergy) ที่เกิดขึ้นกับผนังอาคารทั้ง 5 ชนิด โดยคิดรวมพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด ดังนี้

ตารางที่ 4.21 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	1.65E+01	1.09E+13
2	น้ำมัน	J	6.60E+04	8.50E+09	5.61E+14
3	แรงงาน	J	8.10E+04	1.11E+08	8.99E+12
	รวม				5.81E+14
		kWh			895

ตารางที่ 4.22 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม.

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	1.80E+01	1.19E+13
2	น้ำมัน	J	6.60E+04	7.59E+09	5.01E+14
3	แรงงาน	J	8.10E+04	7.40E+07	5.99E+12
	รวม				5.19E+14
		kWh			799

ตารางที่ 4.23 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม.

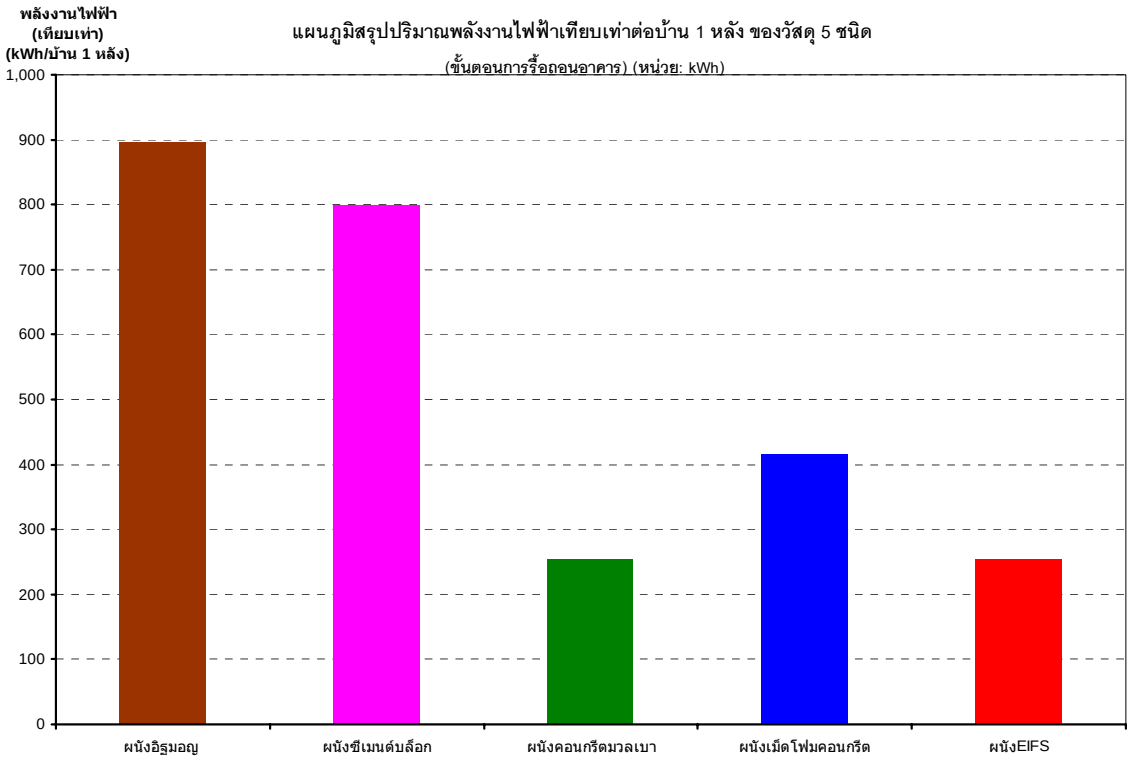
	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	1.35E+01	8.93E+12
2	น้ำมัน	J	6.60E+04	2.43E+09	1.60E+14
3	แรงงาน	J	8.10E+04	3.70E+07	3.00E+12
	รวม				1.72E+14
		kWh			256

ตารางที่ 4.24 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม.

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	5.50E+00	3.64E+12
2	น้ำมัน	J	6.60E+04	3.95E+09	2.60E+14
3	แรงงาน	J	8.10E+04	3.70E+07	3.00E+12
	รวม				2.67E+14
		kWh			416

ตารางที่ 4.25 แสดงการประเมิน Emergy การรื้อถอนวัสดุผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟมหนา 4 นิ้ว พื้นที่ 159.31 ตร.ม.

	วัสดุ	หน่วย	Transformity (sej/หน่วย)	น้ำหนัก	Emergy(sej)
1	ขนส่ง	tonne-km	6.61E+11	5.11E+00	3.38E+12
2	น้ำมัน	J	6.60E+04	2.43E+09	1.60E+14
3	แรงงาน	J	8.10E+04	2.66E+07	2.16E+12
	รวม				1.66E+14
		kWh			256



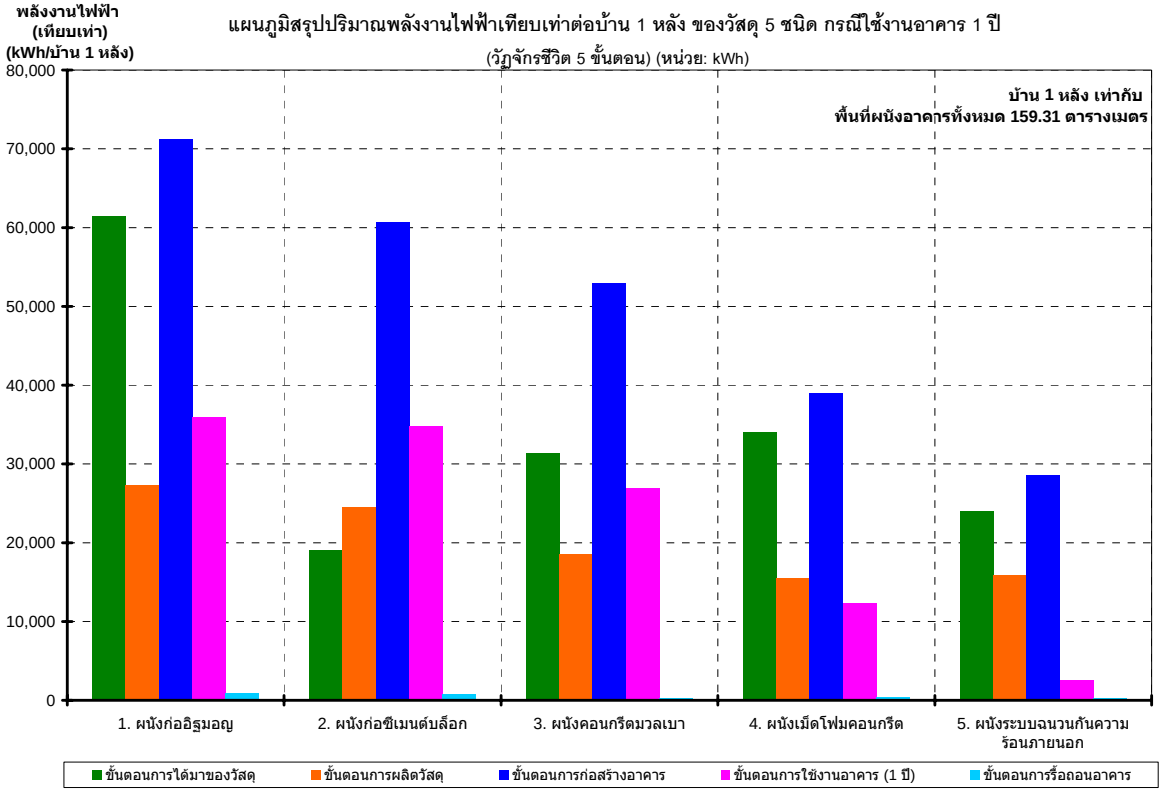
แผนภูมิที่ 4.5 สรุปการประเมิน Emergy ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ขนาดพื้นที่ 159.31 ในขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร

ขั้นตอนการรื้อถอนอาคารโดยคิดวิธีรื้อถอนโดยการทุบทำลาย สามารถสรุปผลได้คือ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในระบบสูงที่สุดคือ 895 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อบ้าน 1 หลัง และผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก มีค่าพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าเกิดขึ้นใกล้เคียงกันประมาณ 256-400 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อบ้าน 1 หลัง หรือเท่ากับพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.26 สรุปปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอนของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (กรณีใช้งานอาคาร 1 ปี)

ขั้นตอน / วัสดุ	1 ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ			2 ขั้นตอนการผลิตวัสดุ			3 ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร			4 ขั้นตอนการใช้งานอาคาร (1 ปี)			5 ขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร		
	พลังงาน (sej)	kWh	CO2 (kgCO2)	พลังงาน (sej)	kWh	CO2 (kgCO2)	พลังงาน (sej)	kWh	CO2 (kgCO2)	พลังงาน (sej)	kWh	CO2 (kgCO2)	พลังงาน (sej)	kWh	CO2 (kgCO2)
1. ผนังก่ออิฐมอญ	3.85E+16	6.14E+04	2.86E+04	1.71E+16	2.73E+04	1.27E+04	8.99E+12	7.13E+04	3.32E+04	2.25E+16	3.60E+04	1.68E+04	5.81E+14	8.95E+02	4.17E+02
2. ผนังก่อซีเมนต์บล็อก	1.19E+16	1.90E+04	8.88E+03	1.54E+16	2.45E+04	1.14E+04	5.01E+14	6.06E+04	2.83E+04	2.18E+16	3.48E+04	1.62E+04	5.19E+14	7.99E+02	3.73E+02
3. ผนังคอนกรีตมวลเบา	1.96E+16	3.13E+04	1.46E+04	1.16E+16	1.85E+04	8.63E+03	3.00E+12	5.29E+04	2.47E+04	1.69E+16	2.70E+04	1.26E+04	1.72E+14	2.56E+02	1.19E+02
4. ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต	2.14E+16	3.41E+04	1.59E+04	8.10E+04	1.55E+04	7.21E+03	3.00E+12	3.90E+04	1.82E+04	7.71E+15	1.23E+04	5.74E+03	2.67E+14	4.16E+02	1.94E+02
5. ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอ	1.50E+16	2.40E+04	1.12E+04	8.10E+04	1.59E+04	7.42E+03	2.158E+12	2.86E+04	1.33E+04	1.57E+15	2.51E+03	1.17E+03	1.66E+14	2.56E+02	1.19E+02

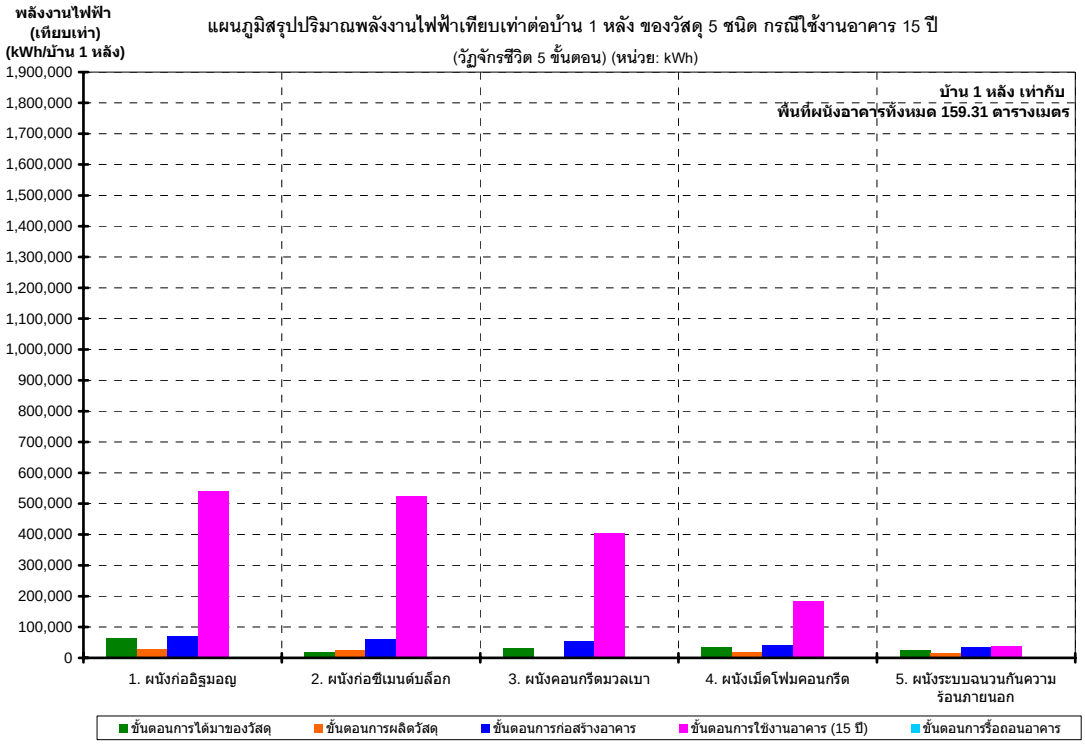
การประเมินวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ ขั้นตอนการผลิตวัสดุ ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร ขั้นตอนการใช้งานอาคาร และขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร เปรียบเทียบในวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดคือ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟมหนา 4 นิ้ว สามารถสรุปค่าพลังงานสะสมรวมในวัสดุ พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่า และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดังตารางที่ 4.26 และแสดงพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง กรณีใช้งานอาคาร 1ปี ในแผนภูมิที่ 4.6 ซึ่งแนวโน้วของปริมาณการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นพบว่า ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีพลังงานเกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอนมากที่สุด และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟมหนา 4 นิ้วมีลักษณะปริมาณการใช้พลังงานน้อยที่สุด



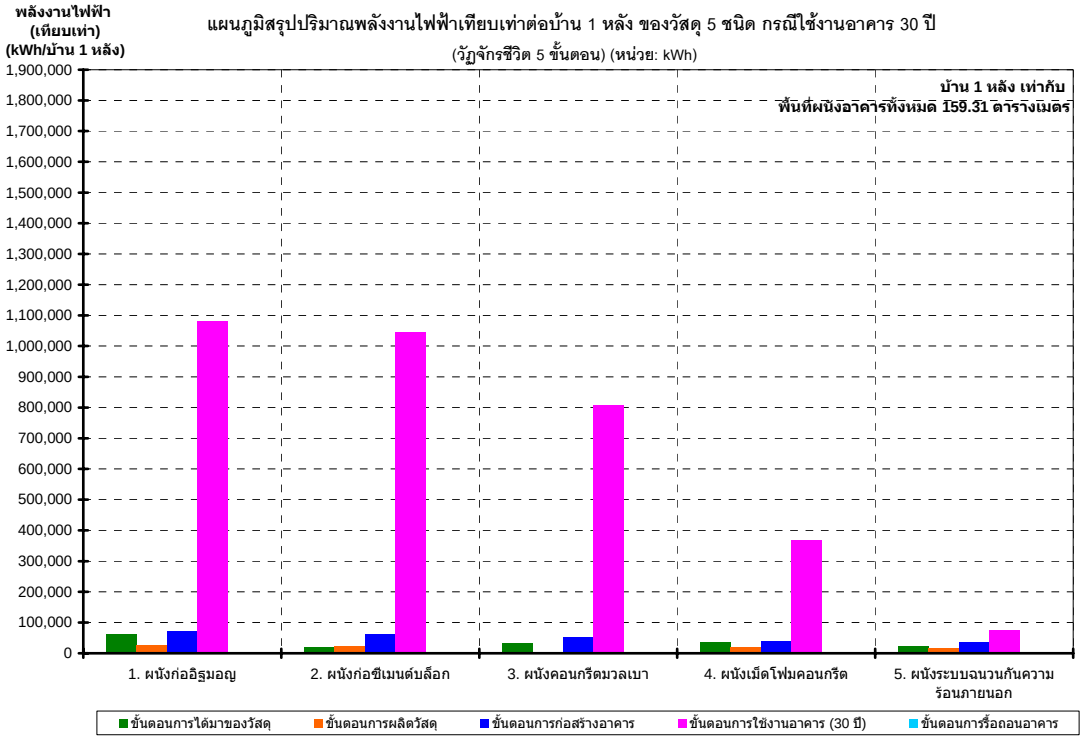
แผนภูมิที่ 4.6 สรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง ของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด กรณีใช้อาคาร 1 ปี (วัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน)

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบ

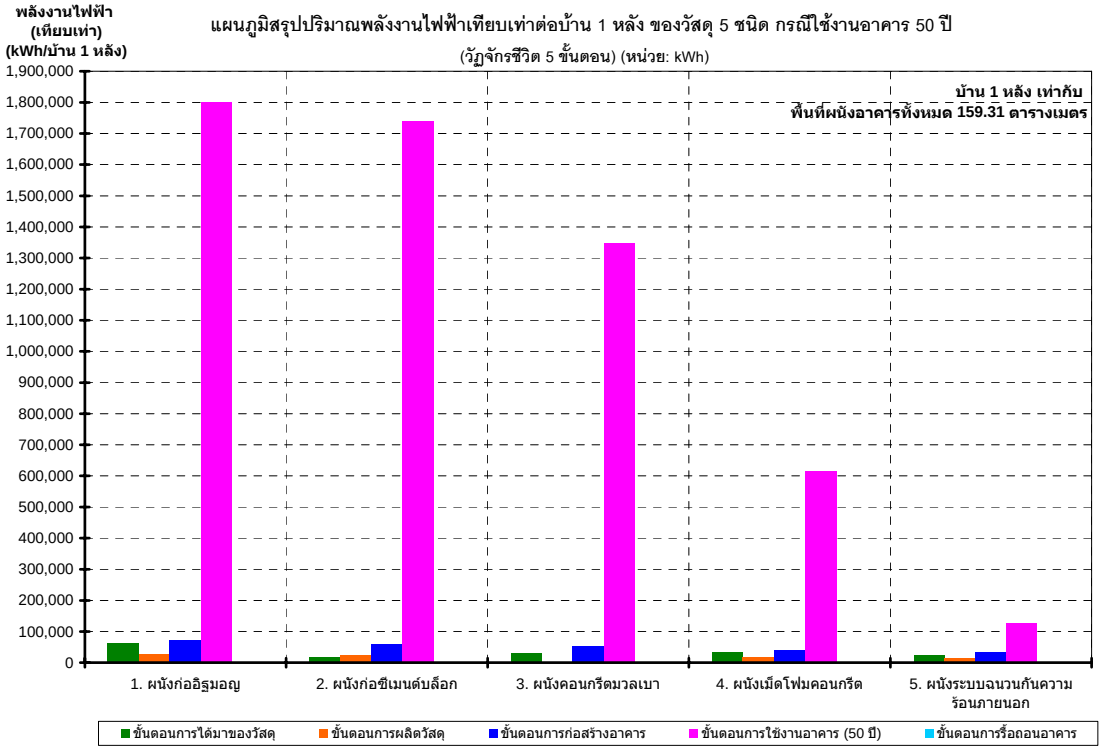
ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ในในขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอนสามารถสรุปได้จากปริมาณการใช้พลังงาน ซึ่งมีแนวโน้มเกิดขึ้นดังแผนภูมิที่ 4.6 แต่เมื่อนำปริมาณการใช้พลังงานของขั้นตอนการใช้งานอาคารที่มีระยะเวลานานนั้นมาเปรียบเทียบ จะพบแนวโน้มของปริมาณการใช้พลังงานที่ชัดเจนขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาการใช้งานตั้งแต่ 1 ปี 15 ปี 30 ปี และ 50 ปี พบว่าปริมาณการใช้พลังงานของผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีอัตราสูงขึ้นเป็นเท่าตัวเมื่อเปรียบเทียบกับผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ปริมาณการใช้พลังงานขึ้นสูงเพียงเล็กน้อยเมื่อผ่านเวลาการใช้งานอาคารถึง 50 ปี และตารางที่ 4.27-4.30 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน แสดงช่วงการใช้งาน 1 ปี 15 ปี 30 ปี และ 50 ปี ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด



แผนภูมิที่ 4.7 สรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง ของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด กรณีใช้อาคาร 15 ปี (วัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน)

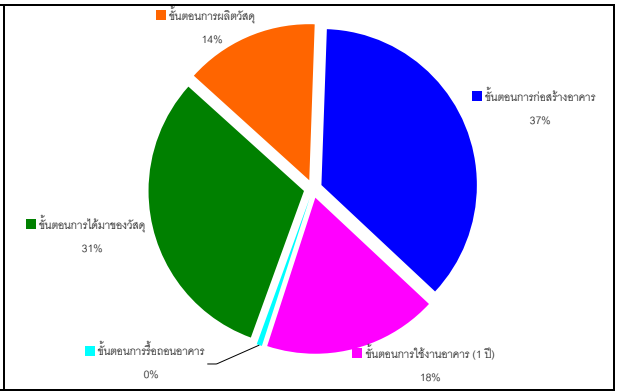
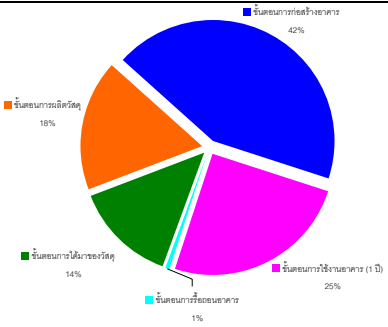
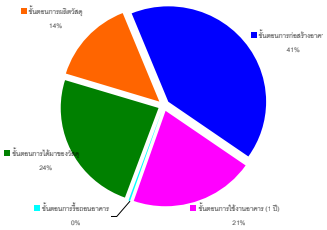
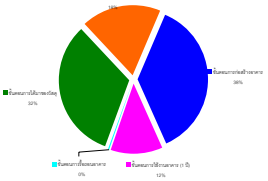
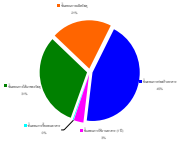


แผนภูมิที่ 4.8 สรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง ของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด กรณีใช้อาคาร 30 ปี (วัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน)

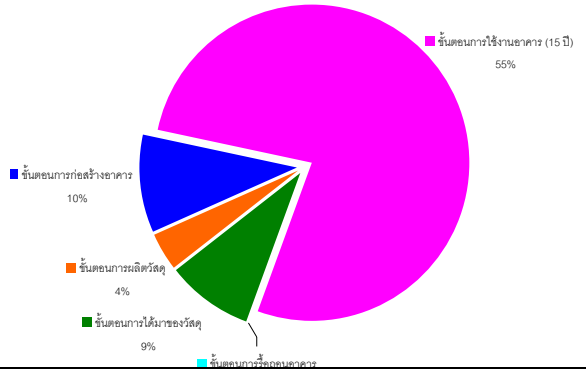
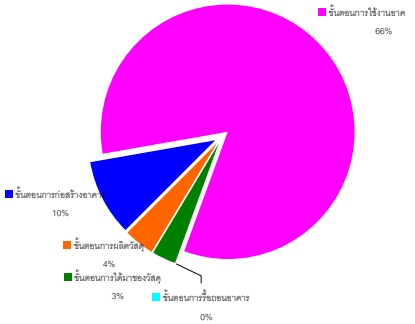
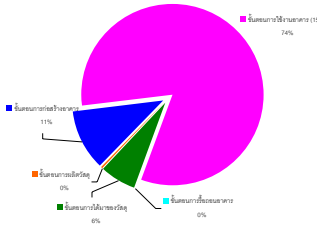


แผนภูมิที่ 4.9 สรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าต่อบ้าน 1 หลัง ของวัสดุผนังทึบ 5 ชนิด กรณีใช้อาคาร 50 ปี (วัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน)

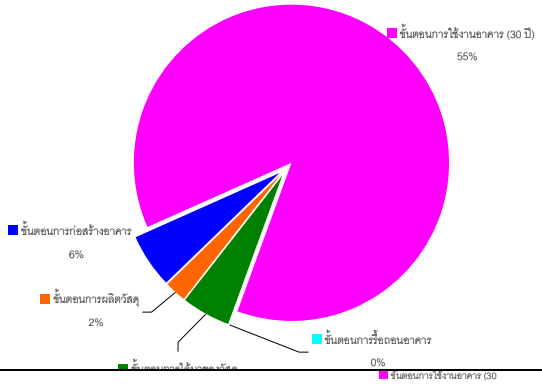
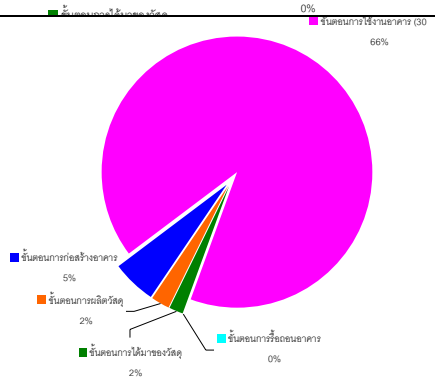
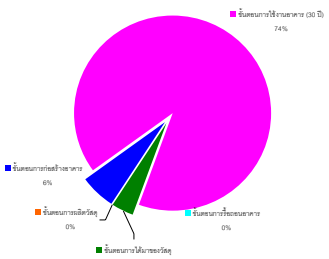
ตารางที่ 4.27 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน (ช่วงการใช้งานอาคาร 1 ปี) ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด

1. ผนังอิฐมอญฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
2. ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	
3. ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
4. ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
5. ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว	

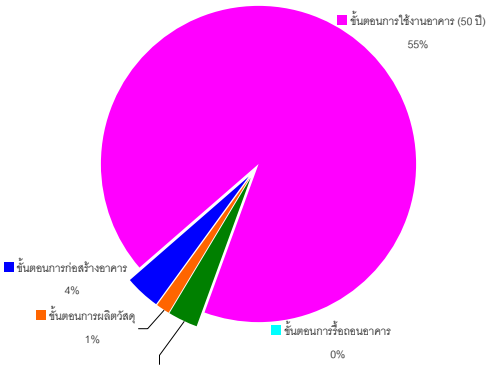
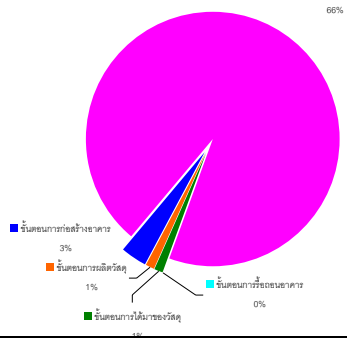
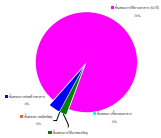
ตารางที่ 4.28 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน (ช่วงการใช้งานอาคาร 15 ปี) ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด

1. ผนังอิฐมอญฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
2. ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	
3. ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
4. ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
5. ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว	

ตารางที่ 4.29 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน (ช่วงการใช้งานอาคาร 30 ปี) ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด

1. ผนังอิฐมอญฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
2. ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	
3. ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
4. ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
5. ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว	

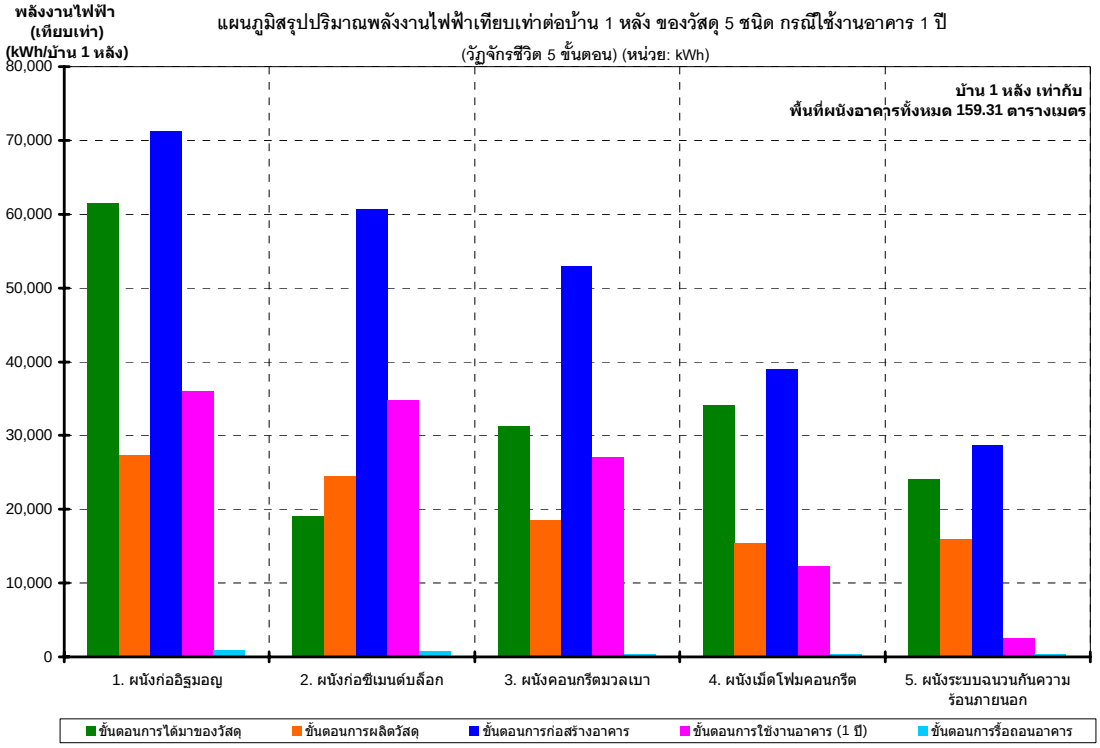
ตารางที่ 4.30 สรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน (ช่วงการใช้งานอาคาร 50 ปี) ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (159.31 ตารางเมตร) ของผนังทั้ง 5 ชนิด

1. ผนังอิฐมอญฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
2. ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	
3. ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
4. ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	
5. ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว	

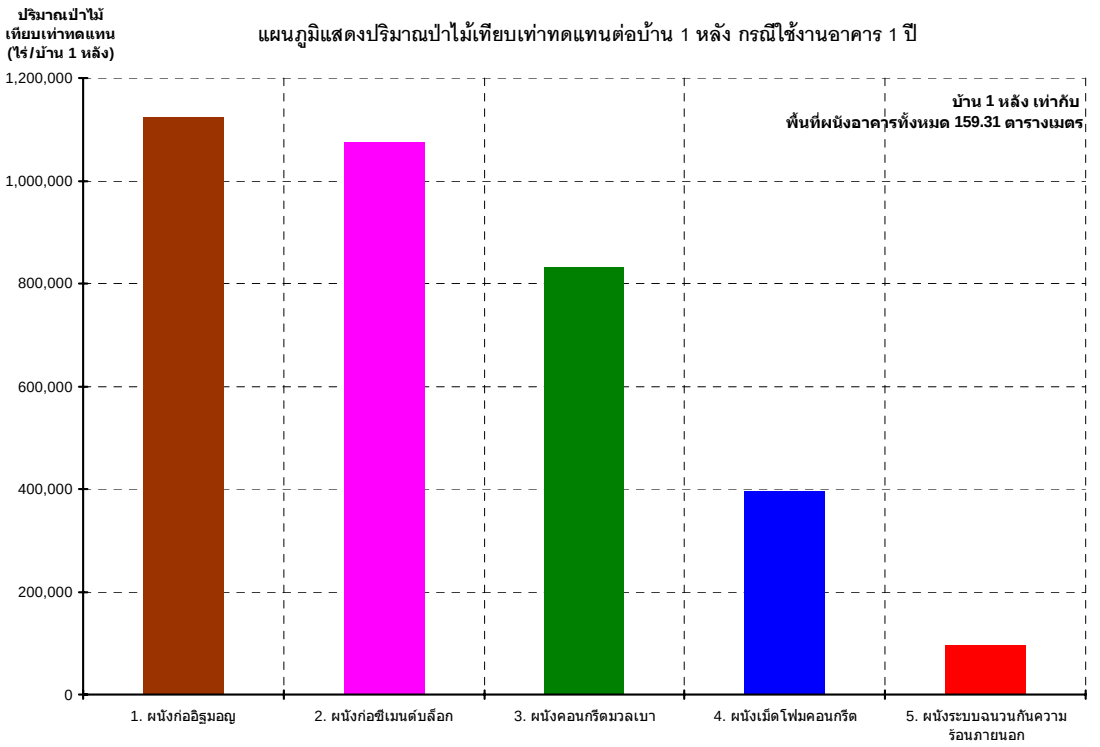
4.3 การวิเคราะห์แนวทางการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบของอาคารในการศึกษานี้นั้น พบว่าเมื่อมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเช่นกัน ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์จากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของอาคารนั้น บ้านพักอาศัยมีส่วนทำให้เกิดการเพิ่มของปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก เพื่อเป็นการช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดขึ้นนั้น จึงต้องทดแทนด้วยการเพิ่มพื้นที่การกักเก็บของคาร์บอนที่นับวันจะน้อยลง โดยเปรียบเทียบปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากวัสดุผนังทึบ กับแหล่งกักเก็บคาร์บอนประเภทต่างๆ เช่น ต้นไม้ ป่าไม้ ดิน เป็นต้น

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nation Environment Programme; UNEP) ได้ให้ความรู้ไว้ว่า ต้นไม้พื้นที่ 1 เฮกตาร์ (hectare) หรือเท่ากับ 0.01 ตารางกิโลเมตรนั้น สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 6 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์ ต่อปี (ton CO_2/year) ซึ่งในการหาพื้นที่ป่าไม้เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้น จะใช้หน่วยพื้นที่ต้นไม้ 1 ตารางเมตร จะสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.6 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี ดังนั้นอาคารกรณีศึกษาที่มีลักษณะเป็นอาคารพักอาศัยขนาด 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 98.64 ตารางเมตร มีพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมดเท่ากับ 159.31 ตารางเมตร สามารถเปรียบเทียบพื้นที่ของต้นไม้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบที่เกิดขึ้นได้ดังแผนภูมิที่ 4.10 และ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นพื้นที่ป่าไม้เทียบเท่าทดแทนเป็นจำนวนไร่ พบว่าเมื่อเลือกใช้ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว จะต้องทดแทนพื้นที่ป่าเทียบเท่าจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อบ้าน 1 หลังเป็นจำนวนล้านไร่ ส่วนผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกจะต้องทดแทนเพียงหมื่นกว่าไรเท่านั้น



แผนภูมิที่ 4.10 สรุปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน ต่อบ้าน 1 หลัง (พื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร) กรณีใช้งานอาคาร 1 ปี



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงพื้นที่ป่าไม้เทียบเท่าทดแทนจากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคารกรณีศึกษา

4.4 แนวทางประยุกต์ใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรม

4.4.1 การนำผลวิเคราะห์ข้อมูลของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ในช่วงการใช้งานอาคาร มาประกอบในการเลือกใช้วัสดุ เพื่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด การออกแบบอาคารให้เกิดการใช้พลังงานภายในอาคารที่น้อย และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ให้มีการบำรุงรักษาต่ำ ทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

4.4.2 การเลือกใช้วัสดุในขั้นตอนการผลิตที่ไม่ปล่อยสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งต้องปลอดสารพิษในเนื้อวัสดุ การใช้พลังงานในการผลิตน้อย เพื่อให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด การใช้ขั้นตอนในการผลิตน้อยและใช้เวลารวดเร็วในการผลิต เพื่อลดขยะที่เกิดจากระบบ

4.4.3 การเลือกใช้วัสดุในระบบการก่อสร้างที่ไม่ซับซ้อนและใช้วัสดุพื้นถิ่น เพื่อลดกระบวนการขนส่ง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด

สภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นมนุษย์ทุกคนมีส่วนที่ทำให้โลกร้อนขึ้น จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่นำมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่พื้นผิวโลกจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเฉพาะปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ในประเทศไทยประเภทของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ภาคบ้านพักอาศัย และภาคการก่อสร้างก็เป็นหนึ่งในประเภทของปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในประเทศ ดังนั้นการก่อสร้างที่คำนึงถึงการใช้พลังงานที่ดีในงานออกแบบสถาปัตยกรรม จะสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในงานสถาปัตยกรรมได้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้เกิดขึ้น เพื่อประเมินพลังงานที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบชนิดต่างๆ

ผนังเป็นส่วนประกอบหนึ่งของอาคาร ที่มีส่วนสำคัญในการกันความร้อนจากภายนอก รองจากหลังคา อีกทั้งเป็นส่วนที่มีพื้นที่มากที่สุดภายในอาคาร ดังนั้นจึงนำส่วนของผนังมาพิจารณาเปรียบเทียบ โดยวัสดุผนังทึบของอาคารต่างๆ ที่มีใช้ในปัจจุบันของบ้านพักอาศัยขนาดเล็กภายในประเทศไทย ได้แก่ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และเปรียบเทียบกับวัสดุที่คาดว่าจะเป็นวัสดุทางเลือกในอนาคต ได้แก่ ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว ซึ่งในการวิจัยได้พิจารณาขั้นตอนต่างๆ ของการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่าขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตที่เกิดขึ้นจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นในระยะสั้น ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ ขั้นตอนการผลิตวัสดุ ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร และขั้นตอนการรื้อถอน แต่ในขั้นตอนของการใช้งานอาคารพบว่ามีระยะเวลานานเนื่องจากในอาคารหนึ่งๆ นั้น มีอายุการใช้งานอาคารที่ยาวเมื่อเทียบกับระยะเวลาของขั้นตอนอื่นๆ ภายในวัฏจักรชีวิต ดังนั้นในการวิจัยชิ้นนี้พบว่าผนังที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่ามากจะมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเช่นกัน ซึ่งสามารถเรียงลำดับการปลดปล่อย

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผนังแต่ละชนิด อีกทั้งพื้นที่ป่าเทียบเท่าที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนี้

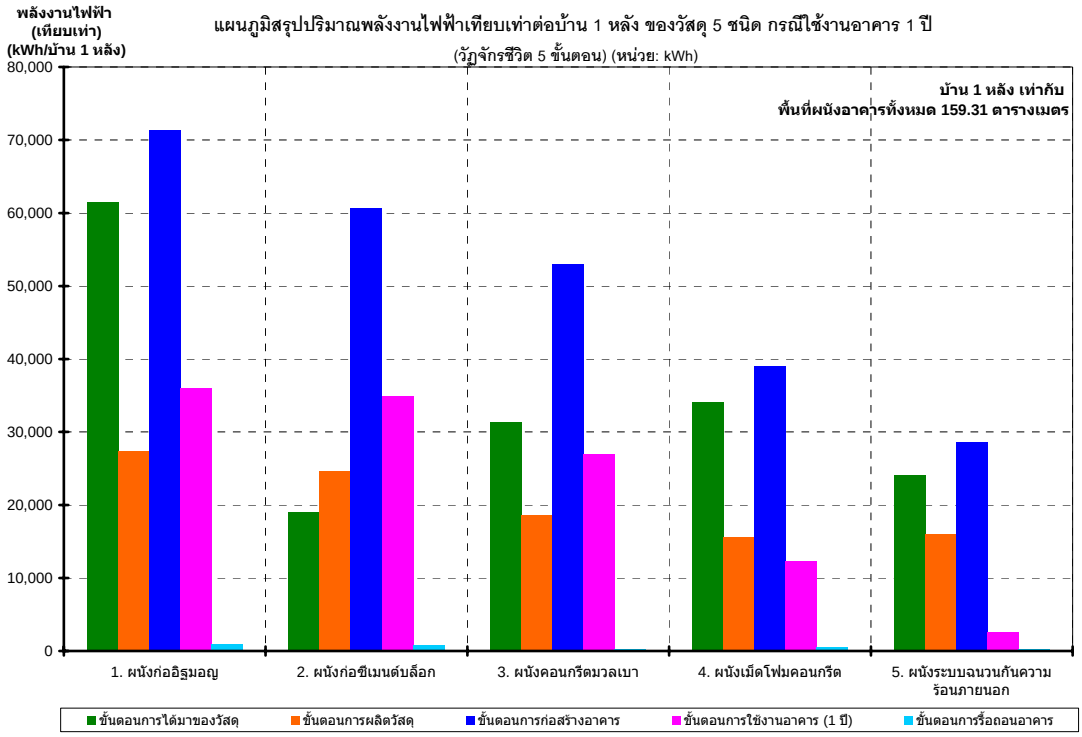
ตารางที่ 5.1 แสดงพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด และพื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทนของผนังวัสดุทึบทั้ง 5 ชนิด

วัสดุ	พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่า (kWh)	CO2 Total (kgCO2)	พื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทน (ตร.ม.)	พื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทน (ไร่)
1. ผนังอิฐมอญฉาบปูน 4 นิ้ว	1,235.66	575.82	959.70	575.82
2. ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	878.00	409.15	681.91	409.15
3. ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	815.62	380.08	633.47	380.08
4. ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	635.86	296.31	493.85	296.31
5. ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟมหนา 4 นิ้ว	447.64	208.60	347.67	208.60

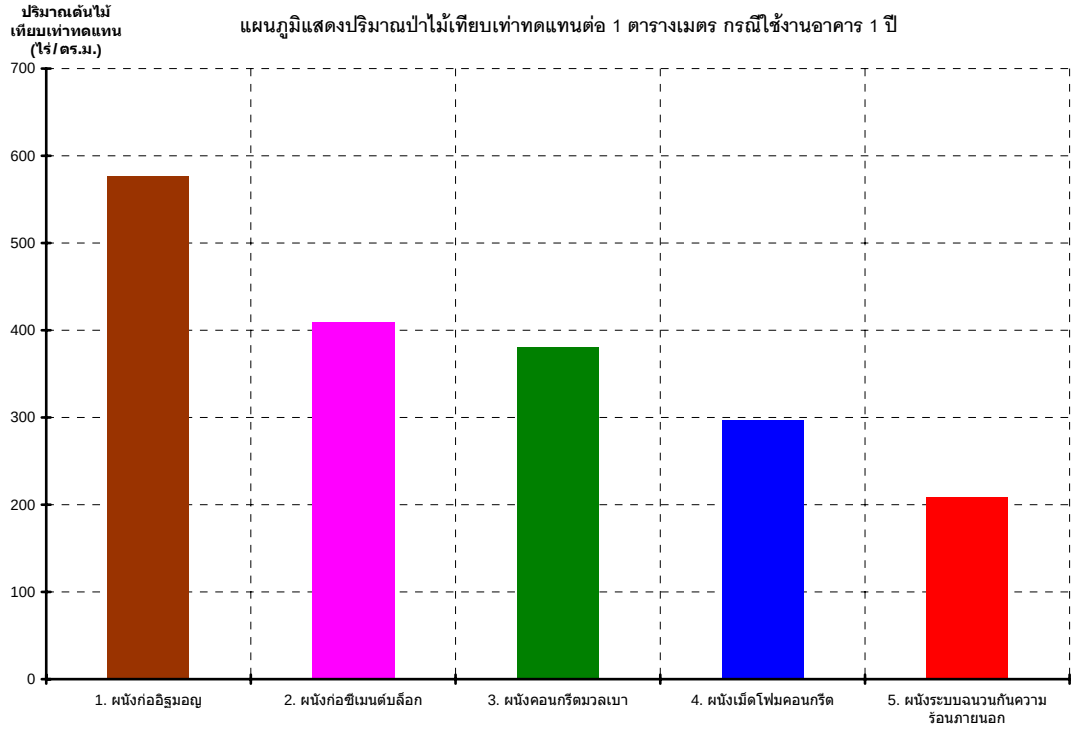
ผลที่ได้ดังตารางที่ 5.1 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นทั้ง 5 ขั้นตอนของวัฏจักรชีวิต ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ ขั้นตอนการผลิตวัสดุ ขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร ขั้นตอนการใช้งานอาคารช่วงระยะเวลา 1 ปี และขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร ของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว จะมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะขั้นตอนของการใช้งานอาคารที่มีช่วงระยะเวลาการใช้งานนาน ทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีมากตามระยะเวลาที่เกิดขึ้น ทำให้การเลือกใช้วัสดุผนังทึบ จึงเป็นความจำเป็นขั้นตอนแรกในการออกแบบสถาปัตยกรรม ดังนั้นเมื่อทราบถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว เพื่อเป็นการชดเชยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงจำเป็นต้องช่วยสร้างแหล่งกักเก็บคาร์บอน ในการวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบพื้นที่ป่าไม้เป็นกับแหล่งกักเก็บคาร์บอน เพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้วัสดุ จากปริมาณพื้นที่ของป่าไม้ที่ต้องชดเชยในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

บ้านพักอาศัยขนาด 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 98.64 ตารางเมตร พื้นที่ผนังอาคารทั้งหมดเท่ากับ 159.31 ตารางเมตร ซึ่งในแต่ละวัสดุจะมีการใช้พลังงานดังตารางที่ 5.1 ซึ่งมีผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่ามากที่สุดคือ 1,235.66 กิโลวัตต์-ชัวโมงต่อปีต่อบ้าน 1 หลัง (พื้นที่ผนังทั้งหมด 159.31 ตารางเมตร) และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกโฟมหนา 4 นิ้ว มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าน้อยที่สุดคือ 481.48 กิโลวัตต์-ชัวโมงต่อปีต่อบ้าน 1 หลัง

ส่วนการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียงลำดับจากมากไปน้อย ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) โฟมหนา 4 นิ้ว ตามลำดับ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5.1 สรุปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน ต่อพื้นที่ผนัง 1 ตารางเมตร กรณีใช้งานอาคาร 1 ปี



แผนภูมิที่ 5.1 สรุปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต 5 ขั้นตอน ต่อพื้นที่ผนัง 1 ตารางเมตร กรณีใช้งานอาคาร 1 ปี



แผนภูมิที่ 5.2 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผนังทั้ง 5 ชนิด เปรียบเทียบกับพื้นที่ป่าไม้ทดแทน

พื้นที่ป่าไม้เทียบเท่าทดแทนที่เกิดขึ้นจากการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้ง 5 ขั้นตอน และวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิด เมื่อเทียบค่าเป็นไร่ต่อตารางเมตรพบว่า ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ต้องมีพื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทนมากที่สุดเท่ากับ 575 ไร่ ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีพื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทนเท่ากับ 400 ไร่ ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีพื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทนเท่ากับ 328 ไร่ ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว มีพื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทนเท่ากับ 300 ไร่ และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟมหนา 4 นิ้ว มีพื้นที่ป่าเทียบเท่าทดแทนน้อยที่สุดเท่ากับ 224 ไร่

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของวัสดุผนังทึบทั้ง 5 ชนิดนี้ ได้เสนอแนวทางการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแนวทางการเลือกใช้วัสดุที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่ต้นไม้ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในธรรมชาติ ซึ่งการก่อสร้างอาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการใช้งานอาคารมาก จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเช่นกัน แต่ในการวิจัยนี้เปรียบเทียบพื้นที่ต้นไม้กับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ หรือ UNEP (United Nations Environment Programme, 2008) ซึ่งกล่าวไว้ว่า พื้นที่ต้นไม้ 1 เฮกตาร์ จะสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศได้เท่ากับ 6 ตัน (tonne) คาร์บอนไดออกไซด์ หรือเท่ากับ 0.60 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี ซึ่งในการวิจัยนี้พูดถึงป่าไม้ในภาพรวม ไม่ได้ระบุว่าเป็นต้นไม้ในป่าลักษณะใด และมีอายุของต้นไม้เท่าใด ดังนั้นในการวิจัยต่อไปภายภาคหน้าควรค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อบอกปริมาณการปลดปล่อยและการกักเก็บของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ในลักษณะต่างๆ เช่น ต้นไม้ใหญ่ ต้นไม้ขนาดเล็ก ต้นไม้ทรงพุ่ม และหญ้า เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤษณะพล วัฒนวันยู. Sustainable Design การออกแบบอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ: Simple Scale Publishing, 2546.

กอร์, อัล. คุณากร วาณิชย์วิรุฬห์ แปล. โลกร้อน ความจริงที่ไม่มีใครอยากฟัง. กรุงเทพฯ: มติชน, 2550.

จดหมายข่าวราชบัณฑิตยสถาน ปีที่ 7 ฉบับที่ 75, สิงหาคม 2550[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.royin.go.th/th/knowledge/detail.php?ID=901[2008, May 26]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยพลังงาน. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.teenet.chula.ac.th/sustainable/detail83.asp?ID=634[2007, August 20]

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. การออกแบบสถาปัตยกรรมโดยใช้แนวทางวัฏจักรชีวิต. ใน เอกสารประกอบการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, 23-25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมใบหยกสกาย จังหวัดกรุงเทพฯ.

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. การประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างคอนกรีตในประเทศไทย. ใน เอกสารประกอบการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, 14-16 พฤษภาคม 2550 โรงแรมโรสการ์เด้น ริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังหวัดนครปฐม.

ฐิตินันท์ ศรีสถิต. โลกร้อน ทุกสิ่งที่เราทำเปลี่ยนแปลงโลกเสมอ. กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์, 2550.

ทรงกลด บางยี่ขัน. ต้นไม้ใต้โลก. กรุงเทพฯ: อะบุ๊ก, 2550.

ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล. โลกร้อนสุดขั้ว วิกฤติอนาคตประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ฐานบุ๊คส์, 2550.

ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. การประเมินวัฏจักรชีวิต: เครื่องมือสำหรับ CDM (Life Cycle Assessment-LCA; Tool for CDM)[ออนไลน์]. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. แหล่งที่มา: www.ttc.most.go.th/stvolunteer/UploadClinic/Seminar/files/B2-MTEC_Dr.Thumrongrut_LCA-for-CDM_final.pdf[2007, December 2]

นโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, สำนักงาน. ศูนย์ประสานการจัดการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. ก๊าซเรือนกระจกคืออะไร[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.onep.go.th/CDM/cmc_gas_what.html[2007, August 20]

พลังงาน, กระทรวง. พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. 2549. โครงการการศึกษาสถานภาพการใช้พลังงานและแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในบ้านที่อยู่อาศัย[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www2.dede.go.th/new-homesafe/webban/book/concrete%20block.htm[2008, April 7]

พลังงาน, กระทรวง. พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. สัมภาษณ์, ธันวาคม 2550.

พลังงาน, กระทรวง. พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. Carbon Credit[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www2.dede.go.th/Wboard/Question.asp?GID=147 [2007, August 16]

พลังงาน, กระทรวง. พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2544-2548. กรุงเทพฯ: (ม.ป.ท.), 2548.

พิมลมาศ วรรณคนาพล. ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างอาคารในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

พิมลมาศ วรรณคนาพล. พลังงานสะสมรวมในอาคาร. รายงานวิชาสัมมนาสถาปัตยกรรม มกราคม 2544: 2.

มหาดไทย, กระทรวง. โยธาธิการ, กรม. 2544. หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางของงานก่อสร้างอาคาร[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.dpt.go.th/[2008, April 28]

โยธิน อึ่งกูล. กรรมการบริษัท ซุปเปอร์บล็อก จำกัด(มหาชน). สัมภาษณ์, 31 มีนาคม 2552.

ราชบัณฑิตสถาน. พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.royin.go.th[2008, July 1]

วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์. สิ่งที่ค้นพบในนวัตกรรมของประตู-หน้าต่าง. ใน เอกสารประกอบการสัมมนานวัตกรรมการใช้หน้าต่างพีวีซี สำหรับเมืองร้อนชื้น, 28 กุมภาพันธ์ 2551 ณ โรงแรมตวันนา กรุงเทพฯ.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. วัฏจักรคาร์บอน[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/[2008, March 9]

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. (ม.ป.ท.). (ม.ป.ป.).

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. ปรากฏการณ์โลกร้อน[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.lesa.in.th/global/global_warming/global_warming.htm[2003]

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC). หลักการ Life Cycle Approach (LCA)[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.mtec.or.th/th/special/ecodesign2008/lca_funda.html[2007,December 16]

สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ภาณุมาศ ลาดปาละ และ เจษฎา เหลืองแจ่ม. การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ[ออนไลน์]. ในเอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้, 16-17 สิงหาคม 2547 ณ โรงแรมมารวยการ์เด้น กรุงเทพฯ.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล. การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ: คอนฟอร์ม, 2543.

อุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรม. 2546. พรรณไม้ พันธุ์พืช[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/research/Knowledge/type%20of%20forest.html[2008, April 15]

เอกรินทร์ โบษกรนัฏ. วศ 6 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. สัมภาษณ์, ธันวาคม 2550.

ภาษาอังกฤษ

Adler Planetarium. The Carbon Cycle[Online]. Available from: http://www.adlerplanetarium.org/cyberspace/planets/earth/carbon_cycle.html[2007, August 20]

America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. ASHRAE Applications Handbook. I-P Edition. Atlanta Georgia: (n.p.), 2001.

Anderson, Jane and Shiers, David. The Green Guide to Specification. 3rd ed. Cornwall: MPG Books Ltd, 2002.

Brown, M.T. and Vorasun Buranakarn, “Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options.” Resources, Conservation and Recycling. 38(2003)1-22.

Brown, L.H., Hamel, B.B. and Hedman, A.B. Energy Analysis of 108 Industrial Processes. Philadelphia: Fairmont Press, 1985.

Buranakarn, Vorasun. Evaluation of Recycling and Reuse of Building Materials using the Emergy Analysis Method. Dissertation (Ph.d.), Department of Architecture, University of Florida, 1998.

Carbon Dioxide Information Analysis Center. "Historical Temperature Variations and CO_2 Concentration" Global Warning[Online]. Available from: http://cdiac.ornl.gov/[2007, September 4]

Curran, Mary Ann. Environmental life-cycle assessment. New York: R.R. Donnelly & Sons Company, 1996.

Doran, D.K., ed. Construction materials reference book. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1992.

Intergovernmental Panel on Climate Change[Online]. Available from: http://www.ipcc.ch[2007, April 14]

Koroneos, Christopher and Dompros, Aris. "Environmental assessment of brick production in Greece." Building and Environment. 42(2007): 2114-2123.

McGuiness, J., Stein, Benjamin., Reynolds, John. Mechanical and Electrical Equipment for Building 7th Edition. New York: John Wiley & Son, 1986.

Natural Resources Canada. 2007. Carbon Cycle[Online]. Available from: http://ecosys.cfl.scf.rncan.gc.ca/dynamique-dynamic/carbone-carbon-eng.asp[2008, February 19]

Odum, T. Howard. Environment accounting: EMERGY and environment decision making. New York: John Wiley, c1996.

Odum, T. Howard., Brown, T. Mark., Brandt, W. Sherry. Handbook of Energy Evaluation. Florida: University of Florida, 2000.

The department Life Cycle Engineering (LCE), Stuttgart University[Online]. Available from: http://www.ikpgabi.uni-stuttgart.de[2007, December 3]

U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Glossary of Climate Change Terms[Online]. Available from: http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/Glossary.html#Carbon_sinks [2008, April 10]

U.S. Environmental Protection Agency[Online]. Available form: http://www.epa.gov/ [2007, February 5]

United Nations Environment Programme. 2008. The Billion Tree Campaign[Online]. Available from: http://www.unep.org/billiontreecampaign/index.asp[2008, February 25]

United Nations Environment Programme[Online]. Available from: http://www.grida.no/climate/vital/intro.htm[2007, September 4]

Woods Hole Research Center. 2008. Scientific Evidence[Online]. Available from: http://www.whrc.org/resources/online_publications/warming_earth/scientific_evidence.htm[2008, March 8]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก แสดงสูตรและตารางที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Q) (America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings, 1989.)

ตารางที่ 1 Summary of Cooling Load Calculation Procedures by CLTD/CLF Method

External

Roof

$$q = UA\,(\text{CLTD}) \quad (48)$$

U = roof design heat transfer coefficients in Chapter 22, Table 4
A = area calculated from building plans
CLTD = cooling load temperature difference, roofs (base value): Tables 28 and 29

Note: Adjust CLTD for (a) latitude-month correction (Table 32), (b) exterior surface color, (c) indoor design temperature, (d) outdoor design temperature, (e) attic conditions, (f) U-Values, and (g) insulation.

Walls

$$q = UA\,(\text{CLTD}) \quad (48)$$

U = wall design heat transfer coefficients in Chapter 22, Table 4
A = area calculated from building plans
CLTD = cooling load temperature difference, walls (base value): Tables 30 and 31

Note: Adjust CLTD for same factors as roofs.

Glass

$$q_{conduction} = UA\,(\text{CLTD}) \quad (44)$$

U = design heat transfer coefficients, glass: Chapter 27, Tables 13 and 14
CLTD = cooling load temperature difference, glass (base value): Tables 33

Note: Adjust CLTD for (a) inside design temperature, (b) outside design temperature and (c) daily range.

$$q_{solar} = \text{A(SC)(SHGF)(CLF)} \quad (50)$$

SC = shading coefficients: Chapter 27, Tables 20 and 26-34, Figures 8-13 and 26
SHGF = maximum solar heat gain by orientation, latitude, and month: Tables 34 and 35
CLF = cooling load factor with no interior shade or with shade: Tables 36 to 39

Partitions, Ceilings, Floors

$$q = UA\Delta t \quad (14)$$

U = design heat transfer coefficients: Chapter 22, Table 4
A = areas calculated from building plans
Δt = design temperature difference, unconditioned area to room

Internal

People

$$q_{sensible} = N\text{(Sensible HG)(CLF)} \quad (51)$$

$$q_{latent} = N\text{(Latent HG)} \quad (52)$$

N = number of people in space, from best available source Sensible and latent heat gain from occupancy: Table 3, or Chapter 8; adjust as required
CLF = cooling load factor, people, by hours of occupancy: Tables 40

Note: CLF = 1.0 with high occupancy density or if cooling off at night.

Lights

$$q = \text{(Input)(CLF)} \quad (53)$$

Input rating from electrical plans or lighting fixture data, Btu/h
CLF = cooling load factor, lights, by use schedule and hours since on: Tables 43 to 47

Note 1: *a* and *b* coefficients by fixture type, air circulation rate, mass: Tables 41 and 42

Note 2: CLF = 1.0 with 24 hour operation, or if cooling off at night.

Power

$$q = \text{(Heat Gain)(CLF)} \quad (53)$$

Heat Gain by Equation (21), (22), or (23), Tables 4 and 5, or manufacturer's data
CLF = cooling load factor, power, by use schedule and hours since on: Table 49

Note: CLF = 1.0 with 24 hour operation, or if cooling off at night.

Appliances

$$q_{sensible} = \text{(Heat Gain)(CLF)} \quad (53)$$

Sensible and latent heat gain from appliances: Tables 6-9 or manufacturer's data
CLF = cooling load factor, by scheduled hours on and hooded or not: Tables 48 and 49

Note 1: CLF = 1.0 with 24 hour operation, or if cooling off at night.

Note 2: Set latent heat = 0 if appliance under exhaust hood.

Ventilation and Infiltration Air

$$q_{sensible} = 1.10Q\Delta t \quad (30)$$

$$q_{latent} = 4840Q\Delta W \quad (32)$$

$$q_{total} = 4.5Q\Delta H \quad (28)$$

Q = ventilation cfm: ASHRAE *Standard* 62; infiltration cfm: Chapter 23
Δt = outside—inside air temperature difference, @ °F
ΔW = *outside—inside air humidity ratio difference, lb water/lb dry air*
ΔH = outside—inside air enthalpy difference, Btu/lb dry air

ตารางที่ 2 Roof Construction Code

Roof No.	Description	Code Numbers of Layers (see Table 11)
1	Steel Sheet with 1-in. insulation	A0, E2, E3, B5, A3, EO
2	1-in. wood with 1-in. insulation	A0, E2, E3, B5, B7, E0
3	4-in. l. w. concrete	A0, E2, E3, C14, E0
4	2-in. h.w. concrete with 1-in. insulation	A0, E2, E3, B5, C12, E0
5	1-in. wood with 2-in. insulation	A0, E2, E3, B6, B7, E0
6	6-in. l. w. concrete	A0, E2, E3, C15, E0
7	2.5-in. wood with 1-in. insulation	A0, E2, E3, B5, B8, E0
8	8-in. l. w. concrete	A0, E2, E3, C16, E0
9	4-in. h. w. concrete with 1-in. insulation	A0, E2, E3, B5, C5, E0
10	2.5-in. wood with 2-in. insulation	A0, E2, E3, B6, B8, E0
11	Roof terrace system	A0, C12, B1, B6, E2, E3, C5, E0
12	6-in. h. w. concrete with 1-in. insulation	A0, E2, E3, B5, C13, E0
13	4-in. wood with 1-in. insulation	A0, E2, E3, B5, B9, E0

ตารางที่ 3 Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Calculating Cooling Load from Flat Roofs

Roof No.	Description of Construction	Weight, lb/ft²	U-value, Btu/h·ft²·°F	Solar Time 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Hour of Maximum CLTD	Minimum CLTD	Maximum CLTD	Difference CLTD
Without Suspended Ceiling																															
1	Steel sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation	7 (8)	0.213 (0.124)	1	−2	−3	−3	−5	−3	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45	30	18	12	8	5	3	14	−5	79	84
2	1-in. wood with 1-in. insulation	8	0.170	6	3	0	−1	−3	−3	−2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62	51	38	28	20	14	9	16	−3	74	77
3	4-in. lightweight concrete	18	0.213	9	5	2	0	−2	−3	−3	1	9	20	32	44	55	64	70	73	71	66	57	45	34	25	18	13	16	−3	73	76
4	2-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	29 (0.122)	0.206	12	8	5	3	0	−1	−1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62	54	45	36	29	22	17	16	−1	67	68
5	1-in. wood with 2-in. insulation	9	0.109	3	0	−3	−4	−5	−7	−6	−3	5	16	27	39	49	57	63	64	62	57	48	37	26	18	11	7	16	−7	64	71
6	6-in. lightweight concrete	24	0.158	22	17	13	9	6	3	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64	62	57	50	42	35	28	18	1	64	63
7	2.5-in. wood with 1-in. ins.	13	0.130	29	24	20	16	13	10	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55	56	54	49	44	39	34	19	6	56	50
8	8-in. lightweight concrete	31	0.126	35	30	26	22	18	14	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	46	50	53	54	53	49	45	40	20	7	54	47
9	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	52 (52)	0.260 (0.120)	25	22	18	15	12	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48	43	38	34	30	18	8	53	45
10	2.5-in. wood with 2-in. ins.	13	0.093	30	26	23	19	16	13	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	49	51	50	47	43	39	35	19	8	51	43
11	Roof terrace system	75	0.106	34	31	28	25	22	19	16	14	13	13	15	18	22	26	31	36	40	44	45	46	45	43	40	37	20	13	46	33
12	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	75 (75)	0.192 (0.117)	31	28	25	22	20	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44	42	40	37	34	19	14	45	31
13	4-in. wood with 1-in. (or 2-in) insulation	17 (18)	0.106 (0.078)	38	36	33	30	28	25	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36	39	41	43	43	42	40	22	16	43	27
With Suspended Ceiling																															
1	Steel Sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation	9 (10)	0.134 (0.092)	2	0	−2	−3	−4	−4	−1	9	23	37	50	62	71	77	78	74	67	56	42	28	18	12	8	5	15	−4	78	82
2	1-in. wood with 1-in. ins.	10	0.115	20	15	11	8	5	3	2	3	7	13	21	30	40	48	55	60	62	61	58	51	44	37	30	25	17	2	62	60
3	4-in. lightweight concrete	20	0.134	19	14	10	7	4	2	0	0	4	10	19	29	39	48	56	62	65	64	61	54	46	38	30	24	17	0	65	65
4	2-in. heavyweight concrete with 1-in. insulation	30	0.131	28	25	23	20	17	15	13	13	14	16	20	25	30	35	39	43	46	47	46	44	41	38	35	32	18	13	47	34
5	1-in. wood with 2-in. ins.	10	0.083	25	20	16	13	10	7	5	5	7	12	18	25	33	41	48	53	57	57	56	52	46	40	34	29	18	5	57	52
6	6-in. lightweight concrete	26	0.109	32	28	23	19	16	13	10	8	7	8	11	16	22	29	36	42	48	52	54	54	51	47	42	37	20	7	54	47
7	2.5-in. wood with 1-in. insulation	15	0.096	34	31	29	26	23	21	18	16	15	15	16	18	21	25	30	34	38	41	43	44	44	42	40	37	21	15	44	29
8	8-in. lightweight concrete	33	0.093	39	36	33	29	26	23	20	18	15	14	14	15	17	20	25	29	34	38	42	45	46	45	44	42	21	14	46	32
9	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) ins.	53 (54)	0.128 (0.090)	30	29	27	26	24	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	38	38	38	37	36	34	33	19	20	38	18
10	2.5-in. wood with 2-in. ins.	15	0.072	35	33	30	28	26	24	22	20	18	18	18	20	22	25	28	32	35	38	40	41	41	40	39	37	23	18	41	23
11	Roof terrace system	77	0.082	30	29	28	27	26	25	24	23	22	22	22	23	23	25	26	28	29	31	32	33	33	33	33	32	22	22	33	11
12	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in) insulation	77 (77)	0.125 (0.088)	29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	22	23	25	26	28	30	32	33	34	34	34	33	32	31	20	21	34	13
13	4-in. wood with 1-in (or 2-in.) insulation	19 (20)	0.082 (0.064)	35	34	33	32	31	29	27	26	24	23	22	21	22	22	24	25	27	30	32	34	35	36	37	36	23	21	37	16

ตารางที่ 4 Wall Construction group Description

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

ตารางที่ 5 Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Sunlit Walls

North Latitude Wall Facing	Solar Time, h																							Hr of Maximum CLTD	Minimum CLTD	Maximum CLTD	Difference CLTD
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400				
Group A Walls																												
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20	5
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	22	18	25	7
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24	22	18	24	6
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	23	14	20	6
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25	24	17	25	8
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	1	18	27	9
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	1	14	21	7
Group B Walls																												
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	9	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21	9
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24	20	15	27	12
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	21	14	26	12
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	23	11	22	11
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	28	24	13	28	15
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30	24	14	30	16
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23	24	11	23	9
Group C Walls																												
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16	22	7	17	10
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	22	23	23	23	23	22	21	20	20	10	23	11
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24	18	12	30	18
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	28	27	26	24	19	12	29	17
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	25	24	22	20	9	26	17
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	31	22	11	33	22
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	33	22	12	35	23
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	22	10	27	17
Group D Walls																												
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	16	21	6	19	13
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18	19	7	25	18
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	16	8	33	27
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	8	32	24
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	29	23
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	8	38	30
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	9	41	32
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	22	7	32	25
Group E Walls																												
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	22	19
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22	
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17	13	5	38	33
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	15	5	37	32
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	17	3	34	31
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40
W	25	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29	20	6	49	43
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	5	38	33
Group F Walls																												
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	19	1	23	22
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	1	30	28
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	12	2	45	43
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	13	2	43	41
S	10	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	16	1	39	38
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	23	18	18	2	53	48
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	35	28	22	18	19	2	46	44
Group G Walls																												
N	3	2	1	0	−1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	−1	26	27
NE	3	2	1	0	−1	9	27	36	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	12	9	7	5	9	−1	39	40
E	4	2	1	0	−1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6	10	−1	55	56
SE	4	2	1	0	−1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	6	11	−1	51	52
S	4	2	1	0	−1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5	14	−1	46	47
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8	16	0	63	63
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8	17	1	72	71
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	37	47	55	55	41	25	17	13	10	7	18	0	55	55

ตารางที่ 6 CLTD Correction for Latitude and Month Applied to Walls and Roofs, North Latitudes

Lat.	Month	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	HOR
0	Dec	−3	−5	−5	−5	−2	0	3	6	9	−1
	Jan/Nov	−3	−5	−4	−4	−1	0	2	4	7	−1
	Feb/Oct	−3	−2	−2	−2	−1	−1	0	−1	0	0
	Mar/Sept	−3	0	1	−1	−1	−3	−3	−5	−8	0
	Apr/Aug	5	4	3	0	−2	−5	−6	−8	−8	−2
	May/Jul	10	7	5	0	−3	−7	−8	−9	−8	−4
	Jun	12	9	5	0	−3	−7	−9	−10	−8	−5
8	Dec	−4	−6	−6	−6	−3	0	4	8	12	−5
	Jan/Nov	−3	−5	−6	−5	−2	0	3	6	10	−4
	Feb/Oct	−3	−4	−3	−3	−1	−1	1	2	4	−1
	Mar/Sept	−3	−2	−1	−1	−1	−2	−2	−3	−4	0
	Apr/Aug	2	2	2	0	−1	−4	−5	−7	−7	−1
	May/Jul	7	5	4	0	−2	−5	−7	−9	−7	−2
	Jun	9	6	4	0	−2	−6	−8	−9	−7	−2
16	Dec	−4	−6	−8	−8	−4	−1	4	9	13	−9
	Jan/Nov	−4	−6	−7	−7	−4	−1	4	8	12	−7
	Feb/Oct	−3	−5	−5	−4	−2	0	2	5	7	−4
	Mar/Sept	−3	−3	−2	−2	−1	−1	0	0	0	−1
	Apr/Aug	−1	0	−1	−1	−1	−3	−3	−5	−6	0
	May/Jul	4	3	3	0	−1	−4	−5	−7	−7	0
	Jun	6	4	4	1	−1	−4	−6	−8	0	−7
24	Dec	−5	−7	−9	−10	−7	−3	3	9	13	−13
	Jan/Nov	−4	−6	−8	−9	−6	−3	9	3	13	−11
	Feb/Oct	−4	−5	−6	−6	−3	−1	3	7	10	−7
	Mar/Sept	−3	−4	−3	−3	−1	−1	1	2	4	−3
	Apr/Aug	−2	−1	0	−1	−1	−2	−1	−2	−3	0
	May/Jul	1	2	2	0	0	−3	−3	−5	−6	1
	Jun	3	3	3	1	0	−3	−4	−6	−6	1
32	Dec	−5	−7	−10	−11	−8	−5	2	9	12	−17
	Jan/Nov	−5	−7	−9	−11	−8	−15	−4	2	9	12
	Feb/Oct	−4	−6	−7	−8	−4	−2	4	8	11	−10
	Mar/Sept	−3	−4	−4	−4	−2	−1	3	5	7	−5
	Apr/Aug	−2	−2	−1	−2	0	−1	0	1	1	−1
	May/Jul	1	1	1	0	0	−1	−1	−3	−3	1
	Jun	1	2	2	1	0	−2	−2	−4	−4	2
40	Dec	−6	−8	−10	−13	−10	−7	0	7	10	−21
	Jan/Nov	−5	−7	−10	−12	−9	−6	1	8	11	−19
	Feb/Oct	−5	−7	−8	−9	−6	−3	3	8	12	−14
	Mar/Sept	−4	−5	−5	−6	−3	−1	4	7	10	−8
	Apr/Aug	−2	−3	−2	−2	0	0	2	3	4	−3
	May/Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Jun	1	1	1	0	1	0	0	−1	−1	2
48	Dec	−6	−8	−11	−14	−13	−10	−3	2	6	−25
	Jan/Nov	−6	−8	−11	−13	−11	−8	−1	5	8	−24
	Feb/Oct	−5	−7	−10	−11	−8	−5	1	8	11	−18
	Mar/Sept	−4	−6	−6	−7	−4	−1	4	8	11	−11
	Apr/Aug	−3	−3	−3	−3	−1	0	4	6	7	−5
	May/Jul	0	−1	0	0	1	1	3	3	4	0
	Jun	1	1	2	1	2	1	2	2	3	2

ตารางที่ 7 Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Conduction Through Glass

Solar time, h	CLTD °F	Solar time, h	CLTD °F
0100	1	1300	12
0200	0	1400	13
0300	−1	1500	14
0400	−2	1600	14
0500	−2	1700	13
0600	−2	1800	12
0700	−2	1900	10
0800	0	2000	8
0900	2	2100	6
1000	4	2200	4
1100	7	2300	3
1200	9	2400	2

ตารางที่ 8 Maximum Solar Heat Gain Factor (SHGF) for Externally Shaded Glass, BTU/h.ft^2 (Based on Ground Reflectance of 0.2)

Use for latitudes 0 to 24 deg.
For latitudes greater than 24, use north orientation, Table 34.
For horizontal glass in shade, use the tabulated values for all latitudes.

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	(All Lat.) HOR
Jan.	31	31	31	32	34	36	37	37	38	16
Feb.	34	34	34	35	36	37	38	38	39	18
Mar.	6	36	37	38	39	40	40	39	39	19
Apr.	40	40	41	42	42	42	41	40	40	24
May	43	44	45	46	45	43	41	40	40	28
June	45	46	47	47	46	44	41	40	40	31
July	45	45	46	47	47	45	42	41	41	31
Aug.	42	42	43	45	46	45	43	42	42	28
Sept.	37	37	38	40	41	42	42	41	41	23
Oct.	34	34	34	36	38	39	40	40	40	19
Nov.	32	32	32	32	34	36	38	38	39	17
Dec.	30	30	30	31	32	34	36	37	37	15

ตารางที่ 9 Maximum Solar Heat Gain Factor, Btu/h.ft^2 for Sunlit Glass, North Latitudes

0° N Lat

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	34	34	88	177	234	254	235	182	118	296
Feb.	36	39	132	205	245	247	210	141	67	306
Mar.	38	87	170	223	242	223	170	87	38	303
Apr.	71	134	193	224	221	184	118	38	37	284
May	113	164	203	218	201	154	80	37	37	265
June	129	173	206	212	191	140	66	37	37	255
July	115	164	201	213	195	149	77	38	38	260
Aug.	75	134	187	216	212	175	112	39	38	276
Sept.	40	84	163	213	231	213	163	84	40	293
Oct.	37	40	129	199	236	238	202	135	66	299
Nov.	35	35	88	175	230	250	230	179	117	293
Dec.	34	34	71	164	226	253	240	196	138	288

4° N Lat

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	33	33	79	170	229	252	237	193	141	286
Feb.	35	35	123	199	242	248	215	152	88	301
Mar.	38	77	163	219	242	227	177	96	43	302
Apr.	55	125	189	223	223	190	126	43	38	287
May	93	154	200	220	206	161	89	38	38	272
June	110	164	202	215	196	147	73	38	38	263
July	96	154	197	215	200	156	85	39	38	267
Aug.	59	124	184	215	214	181	120	42	40	279
Sep.	39	75	156	209	231	216	170	93	44	293
Oct.	36	36	120	193	234	239	207	148	86	294
Nov.	34	34	79	168	226	248	232	190	139	284
Dec.	33	33	62	157	221	250	242	206	160	277

8° N Lat

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	32	32	71	163	224	250	242	203	162	275
Feb.	34	34	114	193	239	248	219	165	110	294
Mar.	37	67	156	215	241	230	184	110	55	300
Apr.	44	117	184	221	225	195	134	53	39	289
May	74	146	198	220	209	167	97	39	38	277
June	90	155	200	217	200	141	82	39	39	269
July	77	145	195	215	204	162	93	40	39	272
Aug.	47	117	179	214	216	186	128	51	41	282
Sep.	38	66	149	205	230	219	176	107	56	290
Oct.	35	35	112	187	231	239	211	160	108	288
Nov.	33	33	71	161	220	245	233	200	160	273
Dec.	31	31	55	149	215	246	247	215	179	265

12° N Lat

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	31	31	63	155	217	246	247	212	182	262
Feb.	34	34	105	186	235	248	226	177	133	286
Mar.	36	58	148	210	240	233	190	124	73	297
Apr.	40	108	178	219	227	200	142	64	40	290
May	60	139	194	220	212	173	106	40	40	280
June	75	149	198	217	204	161	90	40	40	274
July	63	139	191	215	207	168	102	41	41	275
Aug.	42	109	174	212	218	191	135	62	142	282
Sep.	37	57	142	201	229	222	182	121	73	287
Oct.	34	34	103	180	227	238	219	172	130	280
Nov.	32	32	63	153	214	241	243	209	179	260
Dec.	30	30	47	141	207	242	251	223	197	250

16° N Lat

	N	NNE NNW	NE/ NW	ENE WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	30	30	55	147	210	244	251	223	199	248
Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Apr.	39	99	172	215	227	204	150	77	45	289
May	52	132	189	218	215	179	115	45	41	282
June	66	142	194	217	207	167	99	41	41	277
July	55	132	187	214	210	174	111	44	42	277
Aug.	41	100	168	209	219	196	143	74	46	282
Sep.	36	50	134	196	227	224	191	134	93	282
Oct.	33	33	95	174	223	237	225	183	150	270
Nov.	30	30	55	145	206	241	247	220	196	246
Dec.	29	29	41	132	198	241	254	233	212	234

20° N Lat

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	29	29	48	138	201	243	253	233	214	232
Feb.	31	31	88	173	226	244	238	201	174	263
Mar.	34	49	132	200	237	236	206	152	115	284
Apr.	38	92	166	213	228	208	158	91	58	287
May	47	123	184	217	217	184	124	54	42	283
June	59	135	189	216	210	173	108	45	42	279
July	48	124	182	213	212	179	119	53	43	278
Aug.	40	91	162	206	220	200	152	88	57	280
Sep.	36	46	127	191	225	225	199	148	114	275
Oct.	32	32	87	167	217	236	231	196	170	258
Nov.	29	29	48	136	197	239	249	229	211	230
Dec.	27	27	35	122	187	238	254	241	226	217

24° N. Lat

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	27	27	41	128	190	240	253	241	227	214
Feb.	30	30	80	165	220	244	243	213	192	249
Mar.	34	45	124	195	234	237	214	168	137	275
Apr.	37	88	159	209	228	212	169	107	75	283
May	43	117	178	214	218	190	132	67	46	282
June	55	127	184	214	212	179	117	55	43	279
July	45	116	176	210	213	185	129	65	46	278
Aug.	38	87	156	203	220	204	162	103	72	277
Sep.	35	42	119	185	222	225	206	163	134	266
Oct.	31	31	79	159	211	237	235	207	187	244
Nov.	27	27	42	126	187	236	249	237	224	213
Dec.	26	26	29	112	180	234	247	247	237	199

28° N. Lat

	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	25	25	35	117	183	235	251	247	238	196
Feb.	29	29	72	157	213	244	246	224	207	234
Mar.	33	41	116	189	231	237	221	182	157	265
Apr.	36	84	151	205	228	216	178	124	94	278
May	40	115	172	211	219	195	144	83	58	280
June	51	125	178	211	213	184	128	68	49	278
July	41	114	170	208	215	190	140	80	57	276
Aug.	38	83	149	199	220	207	172	120	91	272
Sep.	34	38	111	179	219	226	213	177	154	256
Oct.	30	30	71	151	204	236	238	217	202	229
Nov.	26	26	35	115	181	232	247	243	235	195
Dec.	24	24	24	99	172	227	248	251	246	179

32° N. Lat

	N (Shade)	NNE/ NW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	24	24	29	105	175	229	249	250	246	176
Feb.	27	27	65	149	205	242	248	232	221	217
Mar.	32	37	107	183	227	237	227	195	176	252
Apr.	36	80	146	200	227	219	187	141	115	271
May	38	111	170	208	220	199	155	99	74	277
June	44	122	176	208	214	189	139	83	60	276
July	40	111	167	204	215	194	150	96	72	273
Aug.	37	79	141	195	219	210	181	136	111	265
Sept.	33	35	103	173	215	227	218	189	171	244
Oct.	28	28	63	143	195	234	239	225	215	213
Nov.	24	24	29	103	173	225	245	246	243	175
Dec.	22	22	22	84	162	218	246	252	252	158

36° N. Lat

	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	22	22	24	90	166	219	247	252	252	155
Feb.	26	26	57	139	195	239	248	239	232	199
Mar.	30	33	99	176	223	238	232	206	192	238
Apr.	35	76	144	196	225	221	196	156	135	262
May	38	107	168	204	220	204	165	116	93	272
June	47	118	175	205	215	194	150	99	77	273
July	39	107	165	201	216	199	161	113	90	268
Aug.	36	75	138	190	218	212	189	151	131	257
Sep.	31	31	95	167	210	228	223	200	187	230
Oct.	27	27	56	133	187	230	239	231	225	195
Nov.	22	22	24	87	163	215	243	248	248	154
Dec.	20	20	20	69	151	204	241	253	254	136

ตารางที่ 10 Cooling Load Factors (CLF) for Glass without Interior Shading, North Latitudes, General

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

L = Light construction: frame exterior wall, 2-in. concrete floor slab, approximately 30 lb of material/ft^2 of floor area.
M = Medium construction: 4-in. concrete exterior wall, 4-in. concrete floor slab, approximately 70 lb of building material/ft^2 of floor area.
H = Heavy construction: 6-in. concrete exterior wall, 6-in. concrete floor slab, approximately 130 lb of building materials/ft^2 of floor area.

ตารางที่ 11 Cooling Load Factors (CLF) for Glass without Interior Shading, North Latitudes Spaces Having Carpeted Floors

Dir.	Room Mass	Solar Time 0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
	L	.00	.00	.00	.00	.01	.64	.73	.74	.81	.88	.95	.98	.98	.94	.88	.79	.79	.55	.31	.12	.04	.02	.01	.00
N	M	.03	.02	.02	.02	.02	.64	.69	.69	.77	.84	.91	.94	.95	.91	.86	.79	.79	.56	.32	.16	.10	.07	.05	.04
	H	.10	.09	.08	.07	.07	.62	.64	.64	.71	.77	.83	.87	.88	.85	.81	.75	.76	.55	.34	.22	.17	.15	.13	.11
	L	.00	.00	.00	.00	.01	.51	.83	.88	.72	.47	.33	.27	.24	.23	.20	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
NE	M	.01	.01	.00	.00	.01	.50	.78	.82	.67	.44	.32	.28	.26	.24	.22	.19	.15	.11	.05	.03	.02	.02	.01	.01
	H	.03	.03	.03	.02	.03	.47	.71	.72	.59	.40	.30	.27	.26	.25	.23	.20	.17	.13	.08	.06	.05	.05	.04	.04
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.42	.76	.91	.90	.75	.51	.30	.22	.18	.16	.13	.11	.07	.02	.01	.00	.00	.00	.00
E	M	.01	.01	.00	.00	.01	.41	.72	.86	.84	.71	.48	.30	.24	.21	.18	.16	.13	.09	.04	.03	.02	.01	.01	.01
	H	.03	.03	.03	.02	.02	.39	.66	.76	.74	.63	.43	.29	.24	.22	.20	.18	.15	.12	.08	.06	.05	.05	.04	.04
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.27	.58	.81	.93	.93	.81	.59	.37	.27	.21	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
SE	M	.01	.01	.01	.00	.01	.26	.55	.77	.88	.87	.76	.56	.37	.29	.24	.20	.16	.11	.05	.04	.03	.02	.02	.01
	H	.04	.04	.03	.03	.03	.26	.51	.69	.78	.78	.68	.51	.35	.29	.25	.22	.19	.15	.09	.08	.07	.06	.05	.05
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.15	.23	.39	.62	.82	.94	.93	.80	.59	.38	.26	.16	.06	.02	.01	.00	.00	.00
S	M	.01	.01	.01	.01	.01	.07	.14	.22	.38	.59	.78	.88	.88	.76	.57	.38	.28	.18	.09	.06	.04	.03	.02	.02
	H	.05	.05	.04	.04	.03	.09	.15	.21	.35	.54	.70	.79	.79	.69	.52	.37	.29	.21	.13	.10	.09	.08	.07	.06
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.13	.16	.19	.23	.39	.62	.82	.94	.94	.81	.54	.19	.07	.03	.01	.00	.00
SW	M	.02	.02	.01	.01	.01	.05	.09	.13	.16	.19	.22	.38	.60	.78	.89	.89	.77	.52	.20	.10	.07	.05	.04	.03
	H	.07	.06	.05	.05	.04	.07	.11	.14	.16	.18	.21	.35	.55	.71	.80	.79	.69	.48	.20	.14	.11	.10	.08	.07
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.10	.13	.15	.16	.18	.31	.55	.78	.92	.93	.73	.25	.10	.04	.01	.01	.00
W	M	.02	.02	.01	.01	.01	.04	.07	.10	.13	.14	.16	.17	.30	.53	.74	.87	.88	.69	.24	.12	.07	.05	.04	.03
	H	.06	.06	.05	.04	.04	.06	.09	.11	.13	.15	.16	.17	.28	.49	.67	.78	.79	.62	.23	.14	.11	.09	.08	.07
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.14	.17	.20	.22	.23	.24	.31	.53	.78	.92	.81	.28	.10	.04	.02	.01	.00
NW	M	.02	.02	.01	.01	.01	.05	.10	.13	.17	.19	.21	.22	.23	.30	.52	.75	.88	.77	.26	.12	.07	.05	.04	.03
	H	.06	.05	.05	.04	.04	.07	.11	.14	.17	.19	.20	.21	.22	.28	.48	.68	.79	.69	.23	.14	.10	.09	.08	.07
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.08	.25	.45	.64	.80	.91	.97	.97	.91	.80	.64	.44	.23	.08	.03	.01	.00	.00	.00
Hor.	M	.02	.02	.01	.01	.01	.08	.24	.43	.60	.75	.86	.92	.92	.87	.77	.63	.45	.26	.12	.07	.05	.04	.03	.02
	H	.07	.06	.05	.05	.04	.11	.25	.41	.56	.68	.77	.83	.83	.80	.71	.59	.44	.28	.17	.13	.11	.10	.09	.08

Values for nominal 15 ft by 15 ft by 10 ft. high space, with ceiling, and 50% or less glass in exposed surface at listed orientation.
L = Lightweight construction, such as 1-in. wood floor, Group G wall.
M = Mediumweight construction, such as 2 to 4-in. concrete floor, Group E wall.
H = Heavyweight construction, such as 6 to 8-in. concrete floor, Group C wall.

ตารางที่ 12 Cooling Load Factors (CLF) for Glass without Interior Shading, North Latitudes Spaces Having Uncarpeted Floors

Dir.	Room Mass	Solar Time 0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
	L	.00	.00	.00	.00	.01	.64	.73	.74	.81	.88	.95	.98	.98	.94	.88	.79	.79	.55	.31	.12	.04	.02	.01	.00
N	M	.12	.09	.07	.06	.05	.33	.45	.53	.61	.69	.76	.82	.85	.86	.85	.81	.80	.70	.60	.43	.32	.24	.19	.15
	H	.24	.21	.19	.18	.16	.43	.48	.51	.56	.61	.66	.71	.73	.74	.73	.71	.71	62	.52	.42	.36	.32	.29	.26
	L	.00	.00	.00	.00	.01	.51	.83	.88	.72	.47	.33	.27	.24	.23	.20	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
NE	M	.03	.02	.02	.02	.02	.24	.45	.57	.58	.49	.41	.36	.32	.29	.27	.24	.21	.17	.13	.10	.07	.06	.05	.04
	H	.08	.07	.07	.06	.06	.27	.43	.49	.45	.37	.32	.29	.28	.27	.26	.24	.22	.19	.16	.14	.12	.11	.10	.09
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.42	.76	.91	.90	.75	.51	.30	.22	.18	.16	.13	.11	.07	.02	.01	.00	.00	.00	.00
E	M	.03	.02	.02	.02	.01	.20	.41	.57	.65	.64	.55	.44	.36	.31	.26	.23	.19	.16	.12	.09	.07	.06	.04	.04
	H	.08	.08	.07	.06	.06	.24	.40	.50	.53	.50	.41	.33	.30	.28	.26	.24	.22	.19	.16	.14	.13	.11	.10	.09
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.27	.58	.81	.93	.93	.81	.59	.37	.27	.21	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
SE	M	.04	.03	.02	.02	.02	.13	.31	.48	.62	.69	.69	.61	.50	.41	.35	.30	.25	.20	.15	.12	.09	.07	.06	.05
	H	.10	.09	.08	.08	.07	.18	.32	.45	.53	.56	.54	.47	.39	.35	.32	.29	.26	.23	.19	.17	.15	.14	.12	.11
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.15	.23	.39	.62	.82	.94	.93	.80	.59	.38	.26	.16	.06	.02	.01	.00	.00	.00
S	M	.05	.04	.04	.03	.02	.05	.09	.14	.24	.38	.53	.65	.72	.71	.63	.52	.42	.33	.24	.18	.14	.11	.09	.07
	H	.13	.12	.10	.09	.09	.11	.14	.17	.25	.36	.47	.55	.58	.56	.49	.41	.36	.30	.25	.21	.19	.17	.16	.14
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.13	.16	.19	.23	.39	.62	.82	.94	.94	.81	.54	.19	.07	.03	.01	.00	.00
SW	M	.08	.07	.05	.04	.03	.05	.07	.09	.12	.15	.17	.26	.40	.54	.66	.73	.72	.61	.43	.31	.23	.17	.13	.10
	H	.15	.14	.12	.11	.10	.11	.12	.14	.15	.17	.18	.26	.37	.48	.56	.59	.57	.47	.33	.27	.23	.21	.19	.17
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.10	.13	.15	.16	.18	.31	.55	.78	.92	.93	.73	.25	.10	.04	.01	.01	.00
W	M	.08	.07	.05	.04	.04	.04	.06	.08	.10	.12	.13	.15	.21	.35	.50	.63	.71	.67	.46	.33	.24	.18	.14	.11
	H	.14	.13	.12	.11	.10	.10	.11	.12	.13	.14	.15	.16	.21	.33	.45	.54	.58	.52	.33	.26	.22	.19	.18	.16
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.14	.17	.20	.22	.23	.24	.31	.53	.78	.92	.81	.28	.10	.04	.02	.01	.00
NW	M	.08	.06	.05	.04	.03	.05	.07	.10	.13	.15	.17	.19	.20	.24	.36	.51	.64	.66	.46	.32	.23	.17	.13	.10
	H	.13	.12	.11	.10	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.17	.18	.19	.23	.33	.46	.55	.53	.33	.25	.21	.18	.16	.15
	L	.00	.00	.00	.00	.00	.08	.25	.45	.64	.80	.91	.97	.97	.91	.80	.64	.44	.23	.08	.03	.01	.00	.00	.00
Hor.	M	.07	.06	.05	.04	.03	.06	.14	.26	.40	.53	.64	.73	.78	.80	.77	.70	.59	.45	.33	.24	.19	.14	.11	.09
	H	.16	.15	.13	.12	.11	.13	.20	.29	.39	.48	.56	.61	.65	.65	.63	.57	.49	.40	.32	.28	.25	.22	.20	.18

Values for nominal 15 ft x 15 ft x 10 ft. high space, with ceiling, and 50% or less glass in exposed surface at listed orientation.
L = Lightweight construction, such as 1-in. wood floor, Group G wall.
M = Mediumweight construction, such as 2 to 4-in. concrete floor, Group E wall.
H = Heavyweight construction, such as 6 to 8-in. concrete floor, Group C wall.

ตารางที่ 13 Cooling Load Factors (CLF) for Glass with Interior Shading, North Latitudes (All Room Constructions)

Fenestration Facing	Solar Time, h																							
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10
NNE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.64	0.77	0.62	0.42	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	0.32	0.28	0.23	0.17	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
NE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
ENE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.52	0.76	0.80	0.71	0.52	0.31	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
E	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
ESE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.41	0.67	0.79	0.80	0.72	0.54	0.34	0.27	0.24	0.21	0.19	0.15	0.12	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
SE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.57	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
SSE	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.12	0.31	0.54	0.72	0.81	0.81	0.71	0.54	0.38	0.32	0.27	0.22	0.16	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
S	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.23	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
SSW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.09	0.14	0.18	0.22	0.27	0.43	0.63	0.78	0.84	0.80	0.66	0.46	0.25	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06
SW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.75	0.83	0.81	0.69	0.45	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
WSW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.23	0.44	0.64	0.78	0.84	0.78	0.55	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
W	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
WNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.22	0.43	0.65	0.80	0.84	0.66	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.69	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.11	0.17	0.22	0.26	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.39	0.61	0.82	0.76	0.17	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
HOR.	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.85	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06

ตารางที่ 14 Sensible Heat Cooling Load Factors for People

Total hours in space	Hours After Each Entry Into Space																							
	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	0.49	0.58	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.49	0.59	0.66	0.71	0.27	0.21	0.16	0.14	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
6	0.50	0.60	0.67	0.72	0.76	0.79	0.34	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
8	0.51	0.61	0.67	0.72	0.76	0.80	0.82	0.84	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
10	0.53	0.62	0.69	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.42	0.34	0.28	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
12	0.55	0.64	0.70	0.75	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
14	0.58	0.66	0.72	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.47	0.38	0.31	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11
16	0.62	0.70	0.75	0.79	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.49	0.39	0.33	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16
18	0.66	0.74	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.50	0.40	0.33	0.28	0.24	0.21

CLF = 1.0 for systems shut down at night and for high occupant densities such as in theaters and auditoriums.

ตารางที่ 15 Design Values of α

a	Furnishings	Air Supply and Return	Type of Light Fixture
0.45	Heavyweight, simple furnishings, no carpet	Low rate; supply and return below ceiling ($V \leq 0.5$)[a]	Recessed, not vented
0.55	Ordinary furniture, no carpet	Medium to high ventilation rate; supply and return below ceiling or through ceiling grill and space ($V \geq 0.5$)[a]	Recessed, not vented
0.65	Ordinary furniture, with or without carpet	Medium to high ventilation rate or fan coil or induction type air-conditioning terminal unit; supply through ceiling or wall diffuser; return around light fixtures and through ceiling space. ($V \geq 0.5$)[a]	Vented
0.75 or greater	Any type of furniture	Ducted returns through light fixtures	Vented or free-hanging in air stream with ducted returns

[a] V is room air supply rate in cfm/ft^2 of floor area.

ตารางที่ 16 Design Values of β

Room Envelope Construction[a] (mass of floor area, lb/ft^2)	Room Air Circulation and Type of Supply and Return[b]			
	Low	Medium	High	Very High
2-in. Wood Floor (10)	B	A	A	A
3-in. Concrete Floor (40)	B	B	B	A
6-in. Concrete Floor (75)	C	C	C	B
8-in. Concrete Floor (120)	D	D	C	C
12-in. Concrete Floor (160)	D	D	D	D

ตารางที่ 17 Cooling Load Factors when Lights are for 8 Hours

"a" Coefficients	"b" Classification	Number of hours after lights are turned on																						
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.02	0.46	0.57	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.46	0.37	0.30	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
	B	0.07	0.51	0.56	0.61	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
	C	0.11	0.55	0.58	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12
	D	0.14	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15
0.55	A	0.01	0.56	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.90	0.37	0.30	0.24	0.19	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	B	0.06	0.60	0.64	0.68	0.71	0.74	0.76	0.79	0.81	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
	C	0.09	0.63	0.66	0.68	0.70	0.71	0.73	0.75	0.76	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10
	D	0.11	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
0.65	A	0.01	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.93	0.29	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	B	0.04	0.69	0.72	0.75	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85	0.22	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
	C	0.07	0.72	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.82	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
	D	0.09	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
0.75	A	0.01	0.76	0.80	0.84	0.87	0.90	0.92	0.93	0.95	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
	B	0.03	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
	C	0.05	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05
	D	0.06	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

ตารางที่ 18 Cooling Load Factors when Lights are for 10 Hours

"a" Coefficients	"b" Classification	Number of hours after lights are turned on																						
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.03	0.47	0.58	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.93	0.49	0.39	0.32	0.26	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	B	0.10	0.54	0.59	0.63	0.66	0.70	0.73	0.76	0.78	0.80	0.82	0.39	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11
	C	0.15	0.59	0.61	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16
	D	0.18	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.70	0.71	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19
0.55	A	0.02	0.57	0.65	0.72	0.78	0.82	0.85	0.88	0.91	0.92	0.94	0.40	0.32	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
	B	0.08	0.62	0.66	0.69	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09
	C	0.12	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
	D	0.15	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15
0.65	A	0.02	0.66	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.31	0.25	0.20	0.16	0.13	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02
	B	0.06	0.71	0.74	0.76	0.79	0.81	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07
	C	0.09	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10
	D	0.11	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12
0.75	A	0.01	0.76	0.81	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.95	0.96	0.97	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	B	0.04	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
	C	0.07	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07
	D	0.08	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09

ตารางที่ 19 Cooling Load Factors when Lights are for 12 Hours

"a" Coefficients	"b" Classification	Number of hours after lights are turned on																						
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.05	0.49	0.59	0.67	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.51	0.41	0.33	0.27	0.22	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06
	B	0.13	0.57	0.61	0.65	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.82	0.83	0.85	0.87	0.43	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.18	0.17	0.15
	C	0.19	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20
	D	0.22	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23
0.55	A	0.04	0.58	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.42	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05
	B	0.11	0.65	0.68	0.72	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12
	C	0.15	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.30	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16
	D	0.18	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19
0.65	A	0.03	0.67	0.74	0.79	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	B	0.09	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.27	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
	C	0.12	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
	D	0.14	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15
0.75	A	0.02	0.77	0.81	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
	B	0.06	0.81	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
	C	0.09	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09
	D	0.10	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11

ตารางที่ 20 Cooling Load Factors when Lights are for 14 Hours

"a" Coefficients	"b" Classification	Number of hours after lights are turned on																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.07	0.51	0.61	0.68	0.74	0.79	0.83	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.53	0.42	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09
	B	0.18	0.61	0.65	0.68	0.72	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.46	0.41	0.37	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20
	C	0.24	0.67	0.69	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.41	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25
	D	0.26	0.71	0.72	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.80	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28
0.55	A	0.06	0.69	0.68	0.74	0.79	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.43	0.35	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.09	0.08
	B	0.15	0.68	0.71	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.38	0.34	0.31	0.27	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16
	C	0.19	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21
	D	0.22	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23
0.65	A	0.05	0.69	0.75	0.80	0.84	0.87	0.89	0.92	0.93	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.34	0.27	0.22	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06
	B	0.11	0.75	0.78	0.80	0.82	0.64	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.29	0.26	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13
	C	0.15	0.79	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16
	D	0.17	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18
0.75	A	0.03	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.24	0.19	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04
	B	0.08	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09
	C	0.11	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11
	D	0.12	0.87	0.87	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13

ตารางที่ 21 Cooling Load Factors when Lights are for 16 Hours

"a" Coefficients	"b" Classification	Number of hours after lights are turned on																						
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.12	0.54	0.63	0.70	0.76	0.81	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.54	0.43	0.35	0.28	0.23	0.18	0.15
	B	0.23	0.66	0.69	0.72	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.49	0.44	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26
	C	0.29	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.45	0.42	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31
	D	0.31	0.75	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33
0.55	A	0.10	0.63	0.70	0.76	0.81	0.84	0.87	0.90	0.92	0.93	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.44	0.35	0.28	0.23	0.18	0.15	0.12
	B	0.19	0.72	0.75	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21
	C	0.24	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.25
	D	0.26	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27
0.65	A	0.07	0.71	0.77	0.81	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09
	B	0.15	0.78	0.81	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.31	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16
	C	0.18	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.28	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20
	D	0.20	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.90	0.90	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21
0.75	A	0.05	0.79	0.83	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.24	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
	B	0.11	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12
	C	0.13	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14
	D	0.14	0.89	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15

CLF = 1.0 when cooling system operates only during occupied hours or when lights are on 24 h/day.

ตารางที่ 22 Sensible Heat Cooling Load Factors for Appliances - Hooded

Total Operational Hours	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	0.40	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	0.30	0.24	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10	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	0.70	0.48	0.37	0.30	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	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	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	0.60	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	0.80	0.82	0.85	0.87	0.88	0.64	0.51	0.42	0.36	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.12
14	0.40	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	0.70	0.75	0.78	0.81	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90	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	0.70	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	0.30

ตารางที่ 23 Sensible Heat Cooling Load Factors for Appliances - Unhooded

Total Operational Hours	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	0.56	0.64	0.15	0.11	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.57	0.65	0.71	0.75	0.23	0.18	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
6	0.57	0.65	0.71	0.76	0.79	0.82	0.29	0.22	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
8	0.58	0.66	0.72	0.76	0.80	0.82	0.85	0.87	0.33	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
10	0.60	0.68	0.73	0.77	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.36	0.29	0.24	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05
12	0.62	0.69	0.75	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.38	0.31	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07
14	0.64	0.71	0.76	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.40	0.32	0.27	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10
16	0.67	0.74	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.42	0.34	0.28	0.24	0.20	0.18	0.15	0.13
18	0.71	0.78	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.43	0.35	0.29	0.24	0.21	0.18

ตารางที่ 24 Condition Cooling Load for Enclosing Surfaces

Section	Net ft^2	U-Value Btu / $h \cdot ft^2 \cdot °F$	Δt °F	CLTD °F	Ref. for CLTD	Cooling Load Btu/h
Roof	4000	0.09		40	Table 29 Roof 10	14400
South wall	405	0.24		23	Table 30 Group D	2236
East wall	765	0.48		33	Table 30 Group E	12118
North exp. wall	170	0.48		16	Table 30 Group E	1306
W. & N. party wall	1065	0.25	18.4			4899
Doors in S. wall	35	0.19		36	Table 30 Group G	239
Doors in N. wall	35	0.18	18.4			116
Doors in E. wall	35	0.19		28	Table 30 Group G	186
South windows	60	0.81		13	Table 33	632
North windows	30	0.81		13	Table 33	316

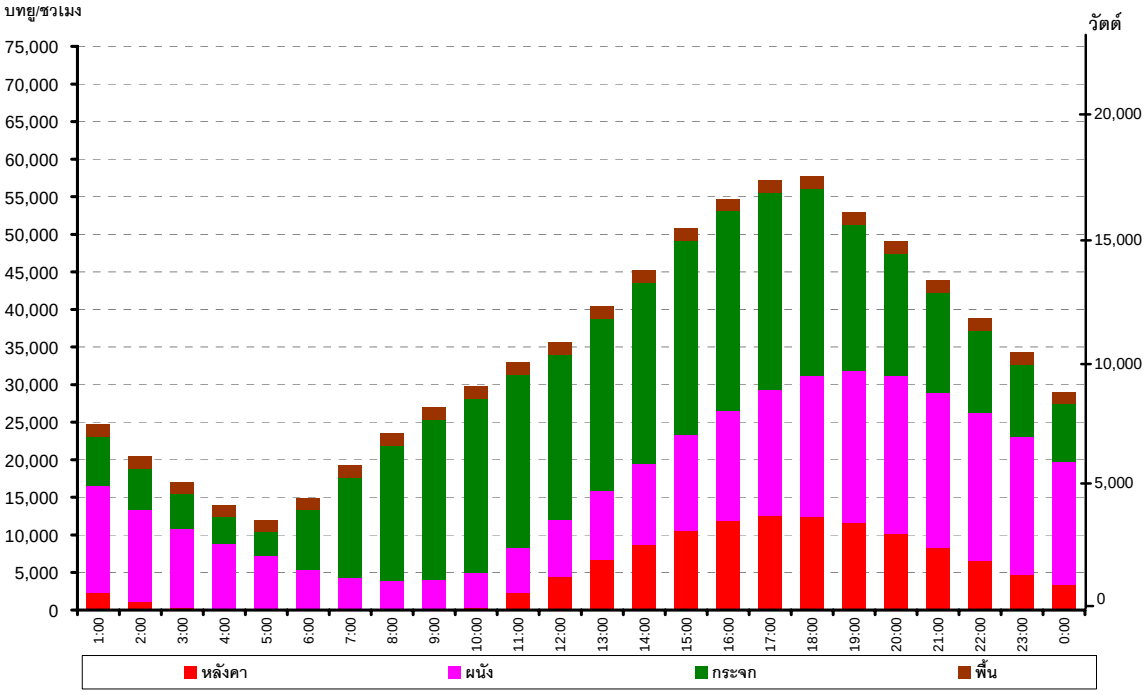
Table 51 Solar Cooling Load for Windows, Example 13

Section	Net ft^2	SC Ch. 27	SHGF Btu/$h \cdot ft^2$ Table 34	CLF Table 39	Cooling Load Btu/h
South windows	60	0.55	149	0.35	1721
North windows	30	0.55	35	0.75	433

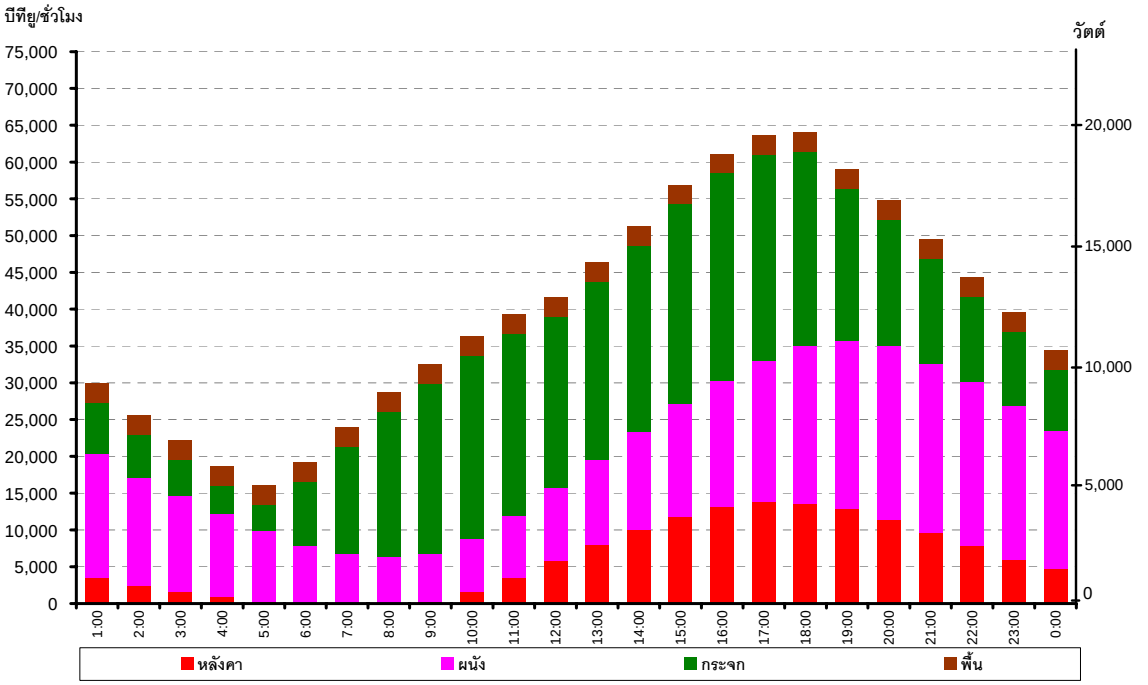
ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข แสดงแผนภูมิภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของผนังอาคาร 5 ชนิด ได้แก่ ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 4 นิ้ว ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก โฟมหนา 4 นิ้ว ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ใน 1 ปี

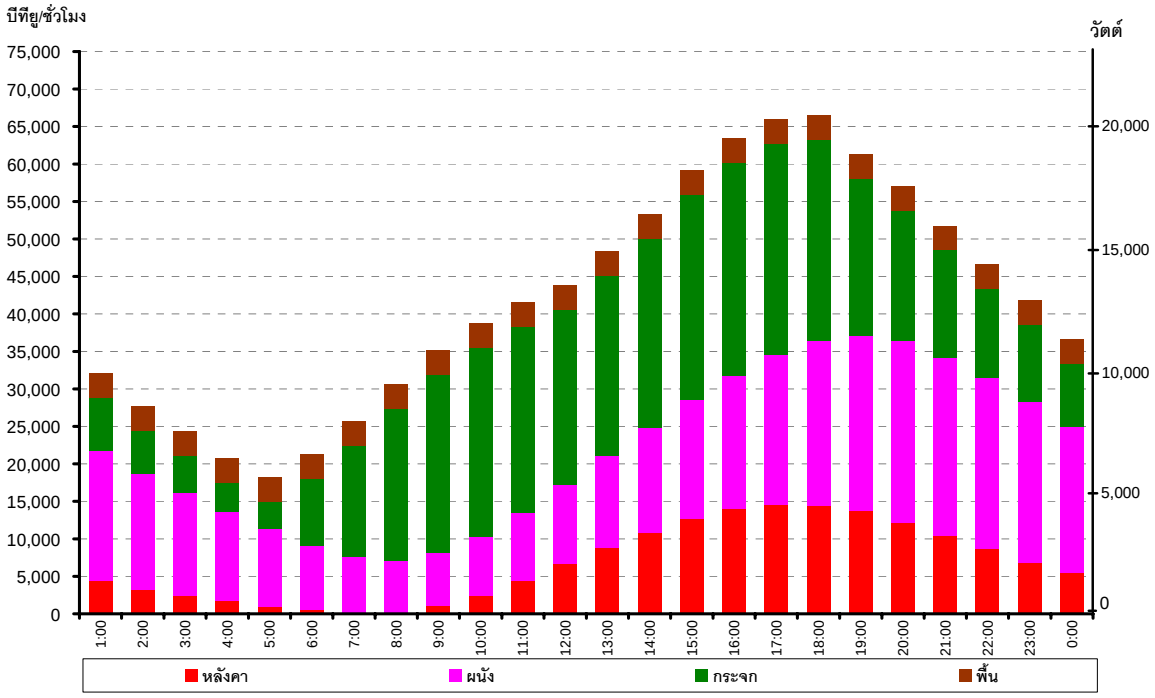
1) ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน 4 นิ้ว



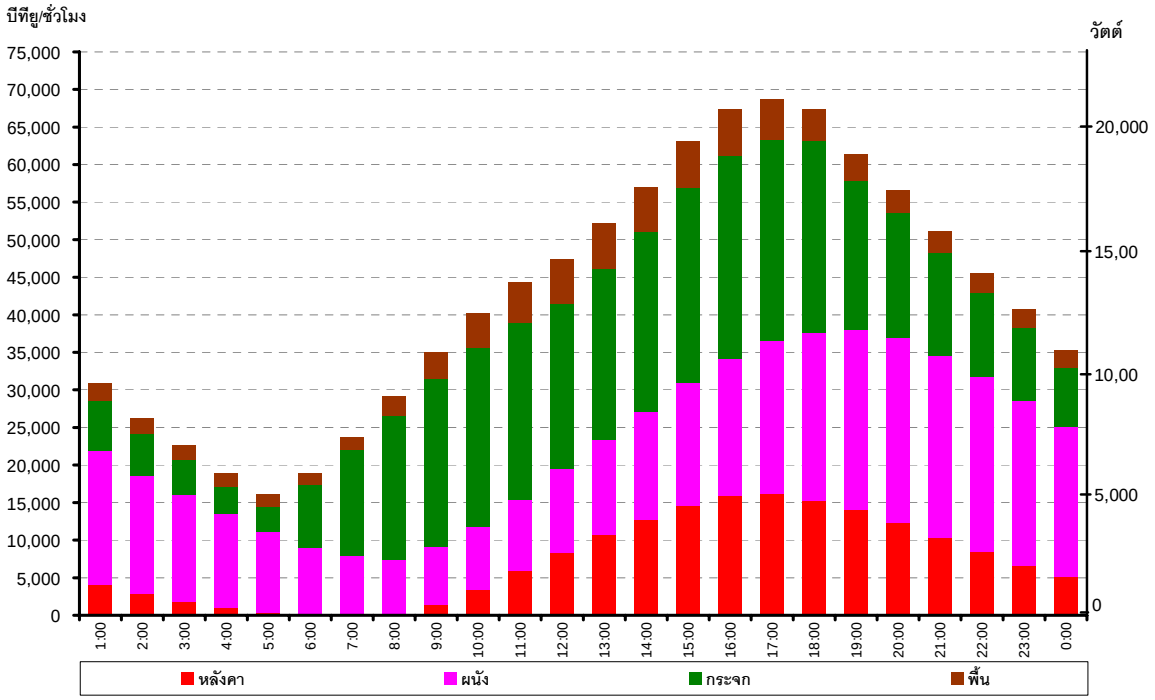
แผนภูมิที่ ข-1 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมกราคม



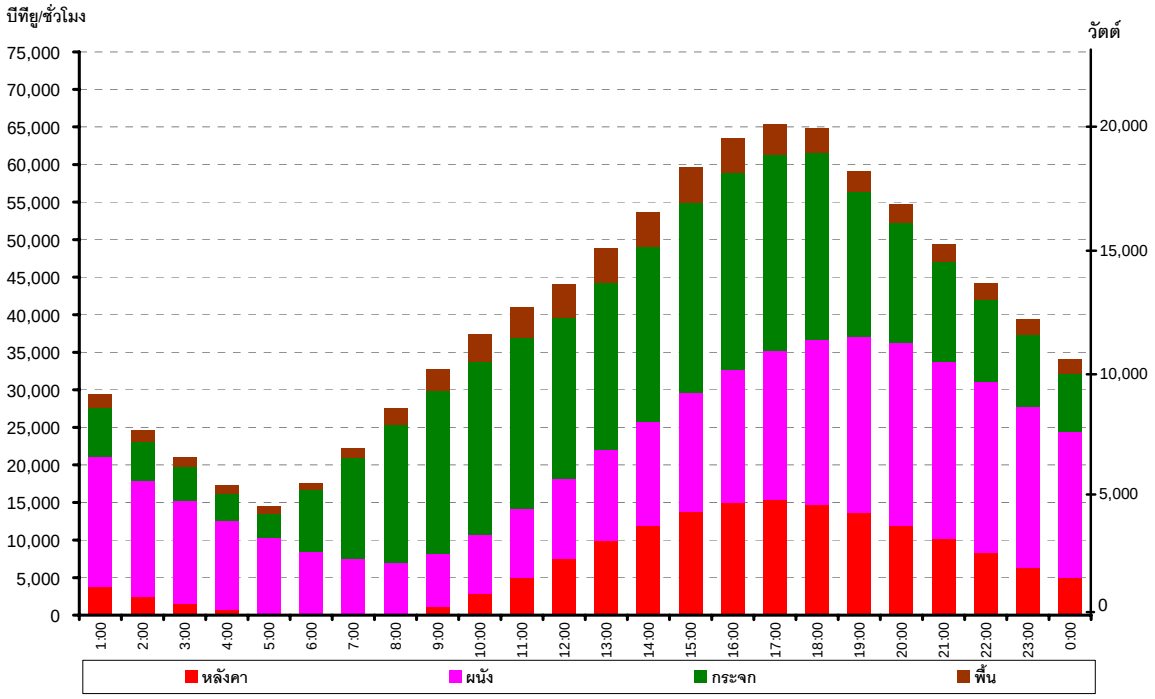
แผนภูมิที่ ข-2 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกุมภาพันธ์



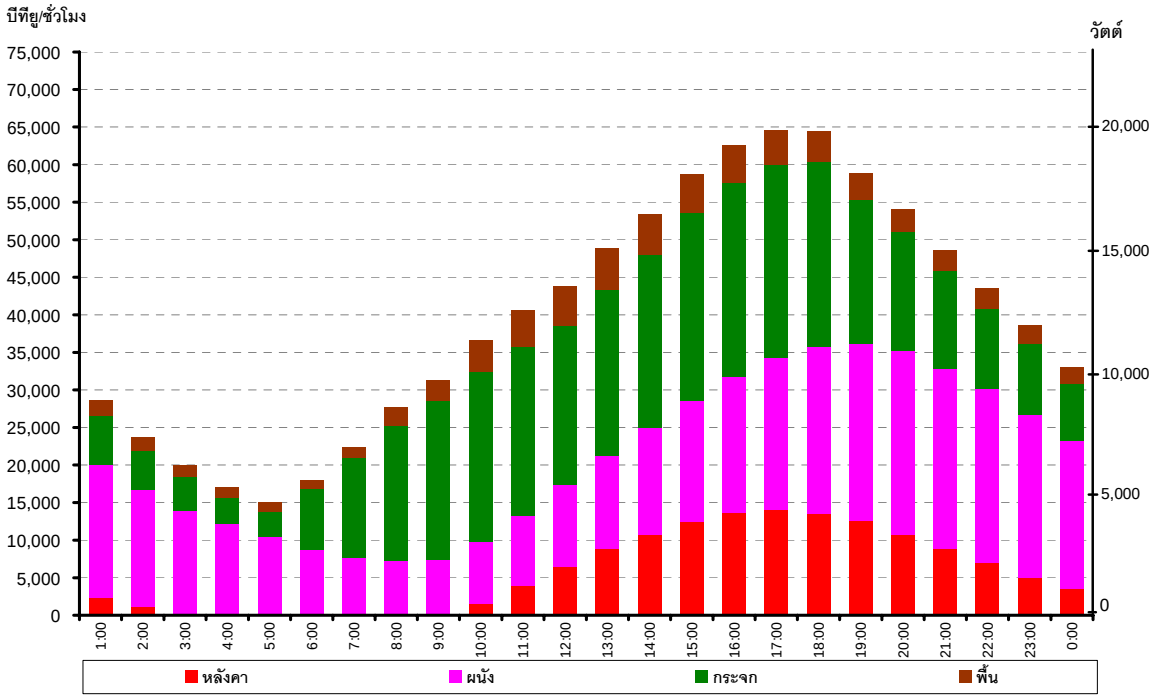
แผนภูมิที่ ข-3 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมีนาคม



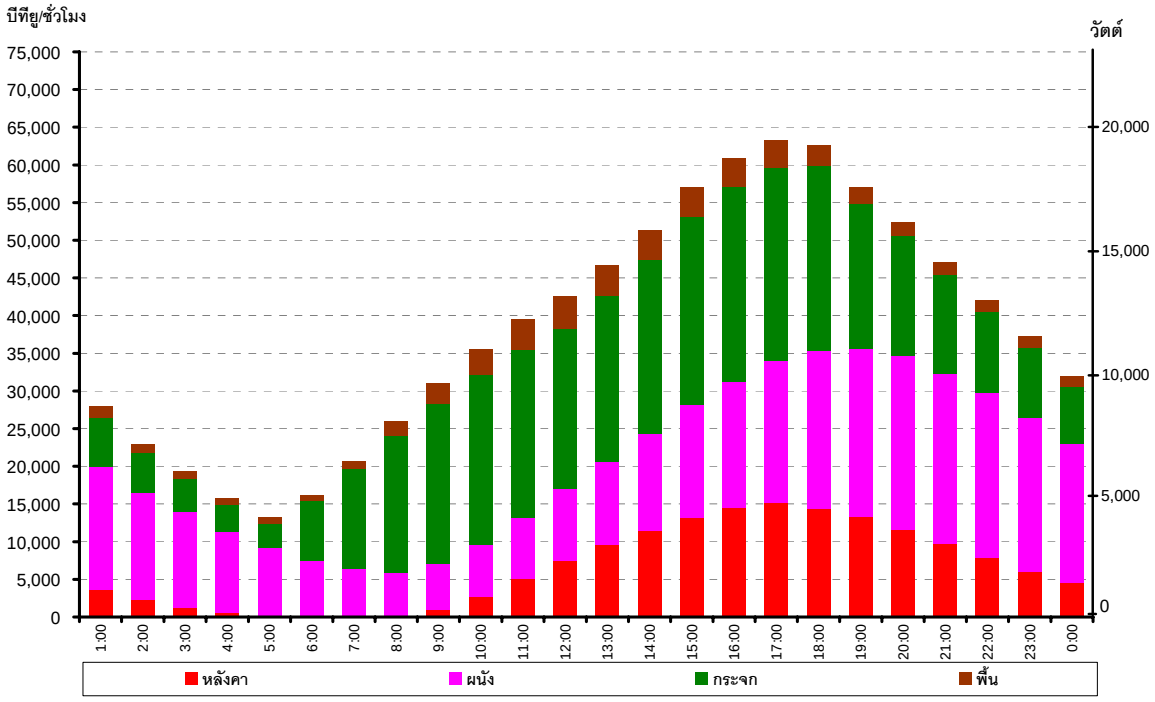
แผนภูมิที่ ข-4 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนเมษายน



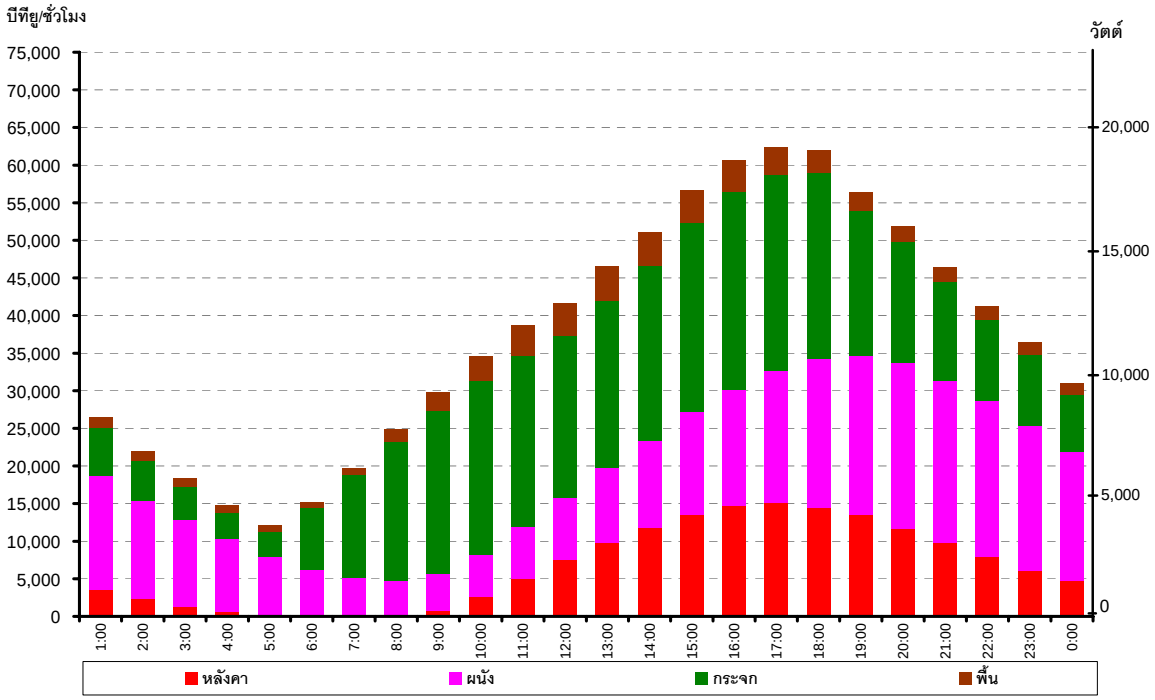
แผนภูมิที่ ข-5 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤษภาคม



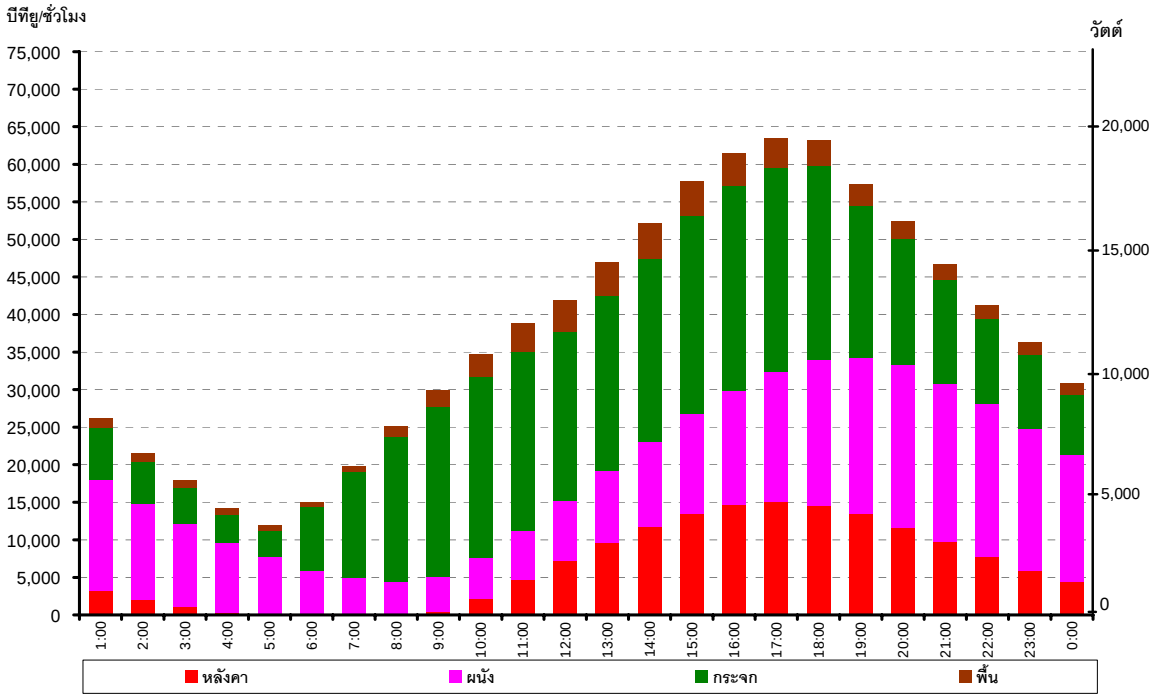
แผนภูมิที่ ข-6 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมิถุนายน



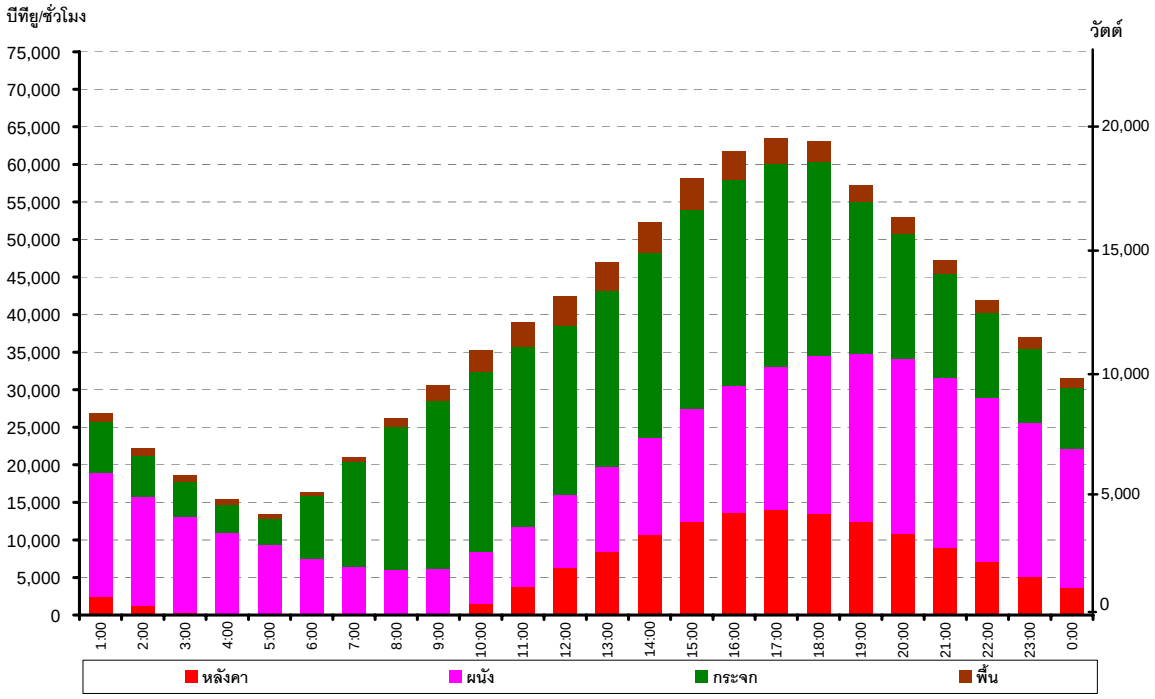
แผนภูมิที่ ข-7 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกรกฎาคม



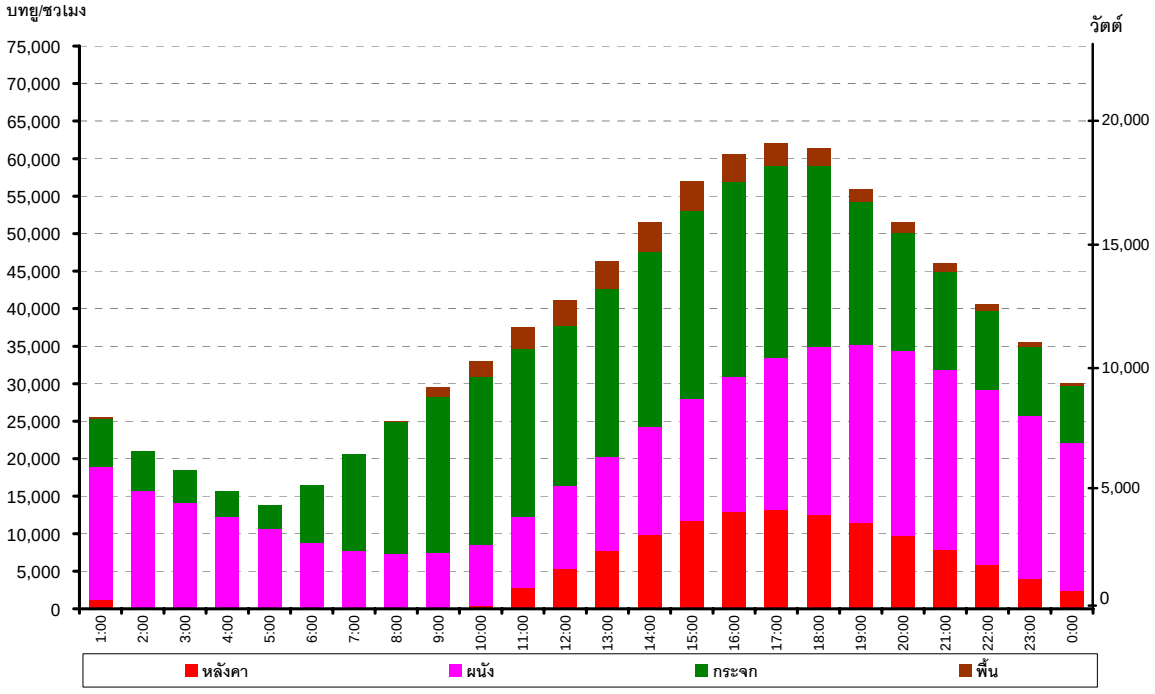
แผนภูมิที่ ข-8 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนสิงหาคม



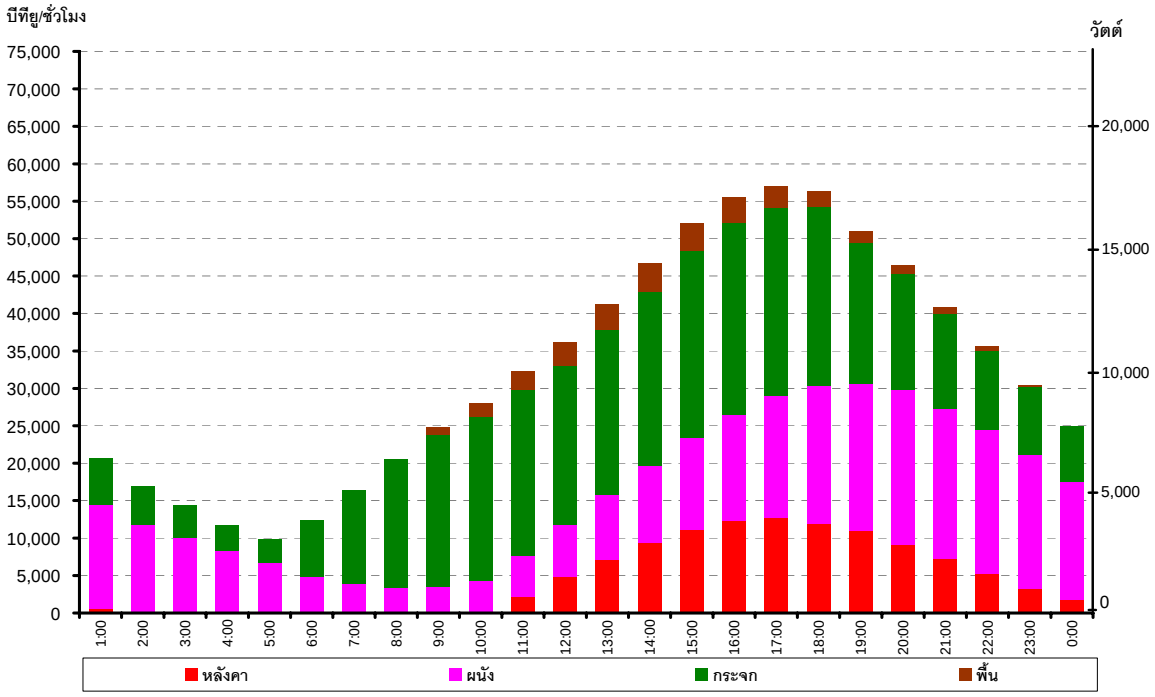
แผนภูมิที่ ข-9 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกันยายน



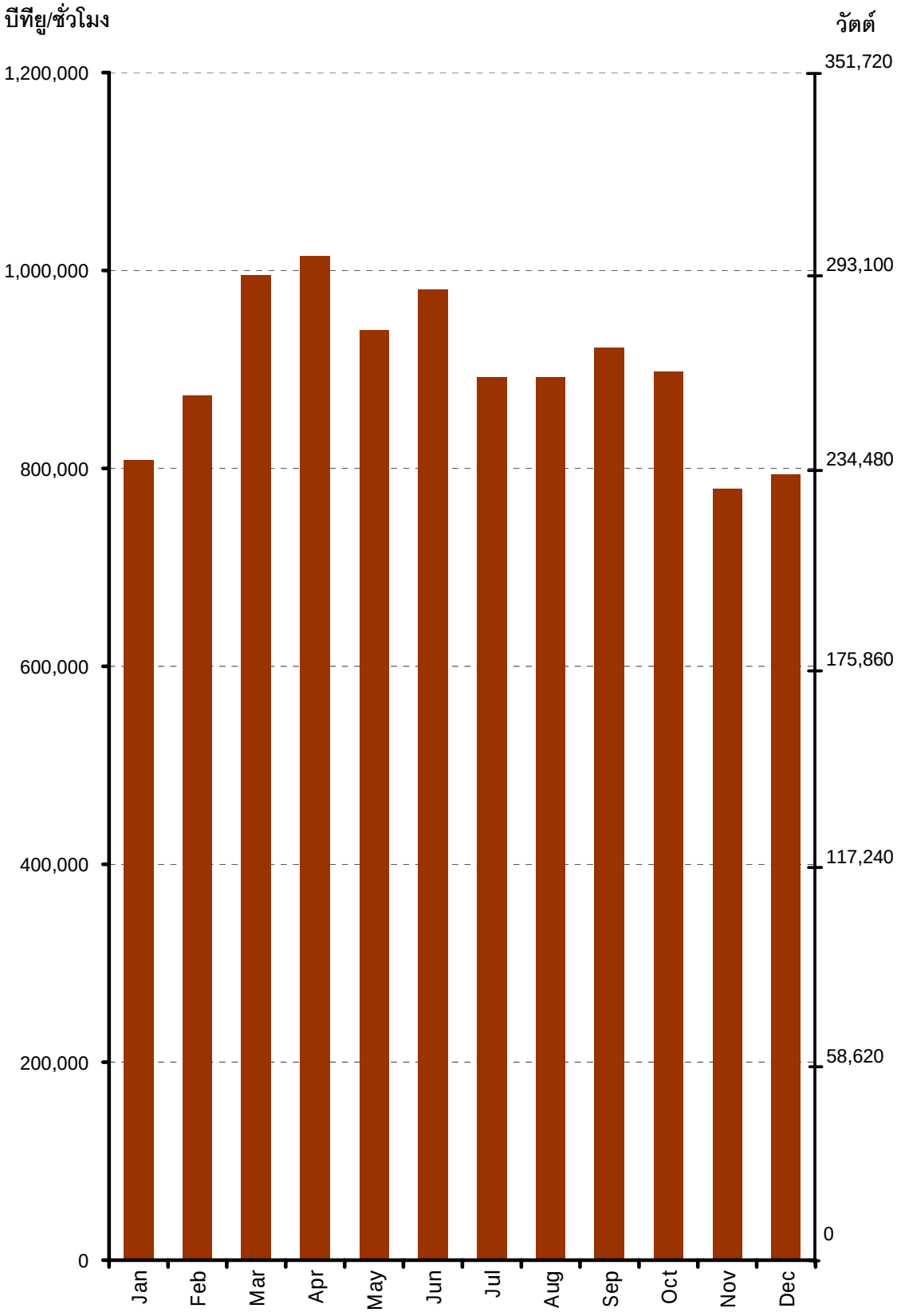
แผนภูมิที่ ข-10 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนตุลาคม



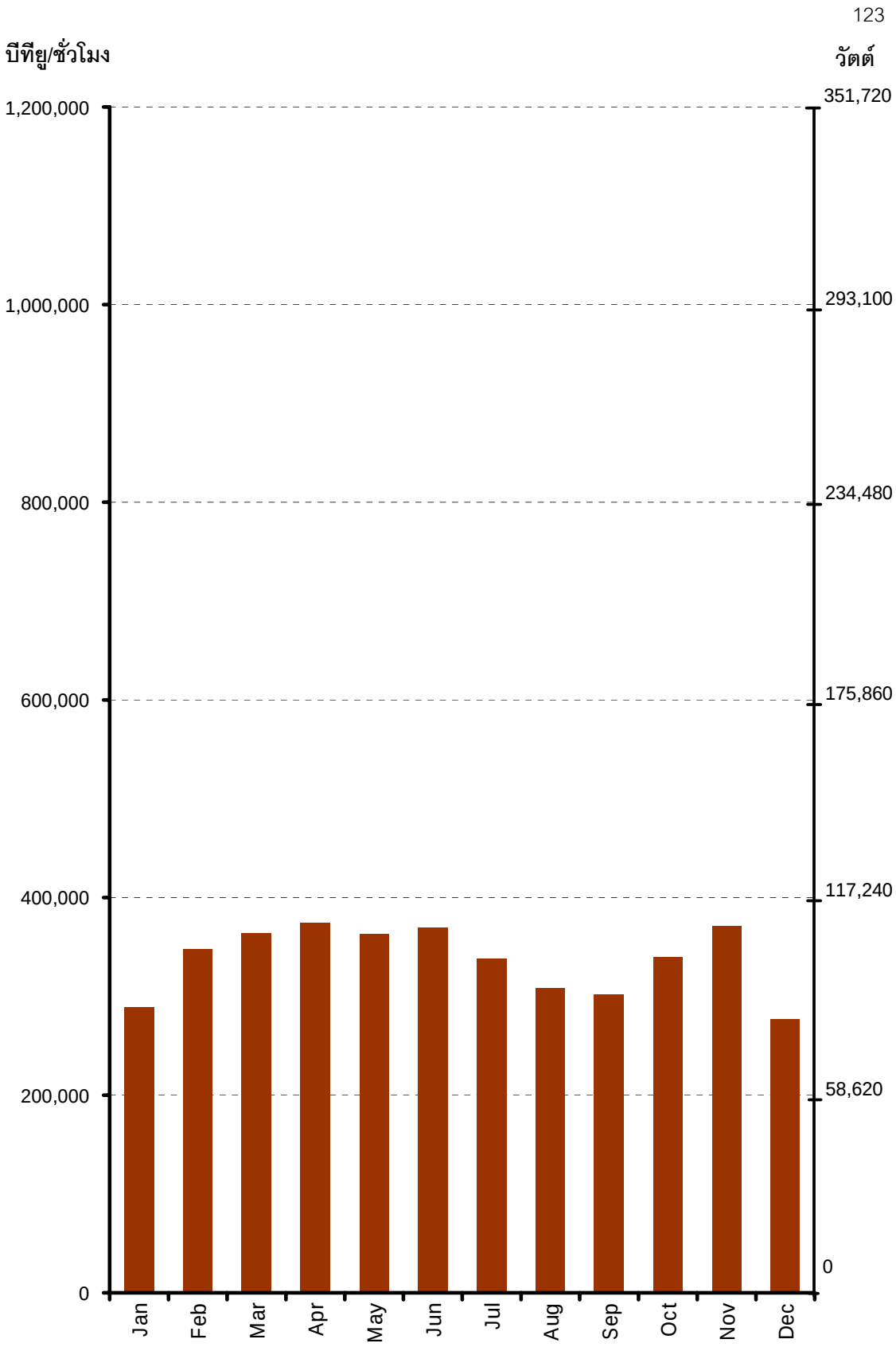
แผนภูมิที่ ข-11 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤศจิกายน



แผนภูมิที่ ข-12 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนธันวาคม

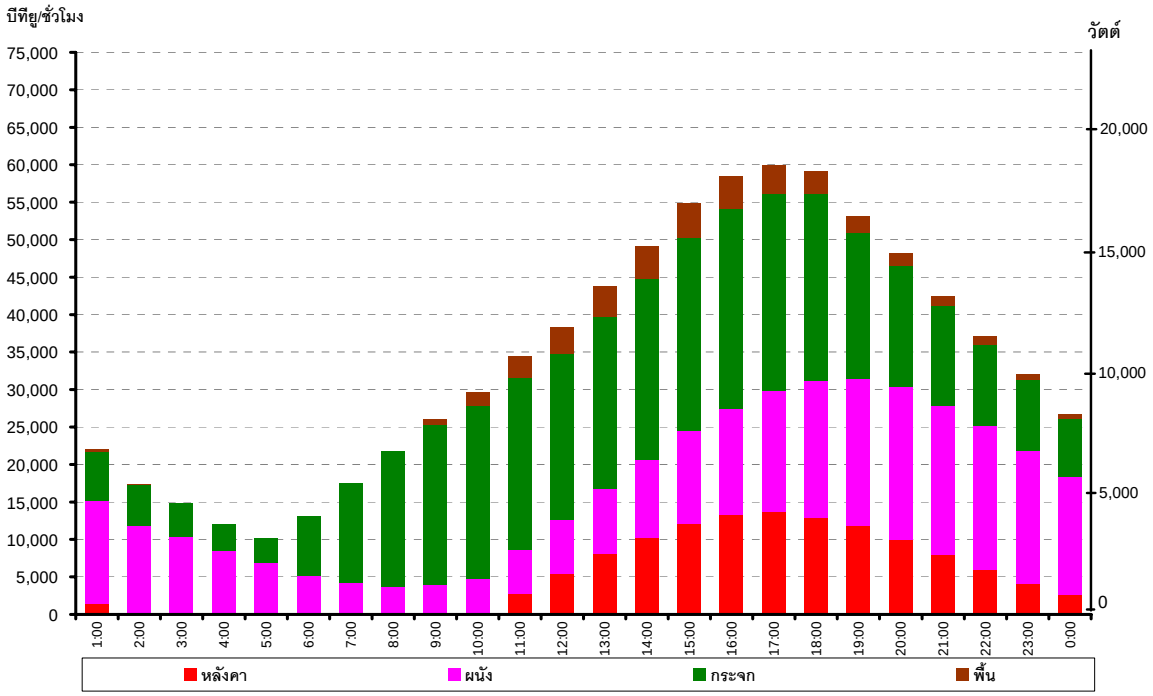


แผนภูมิที่ ข-13 แสดงภาระการทำความเย็นของอาคารผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

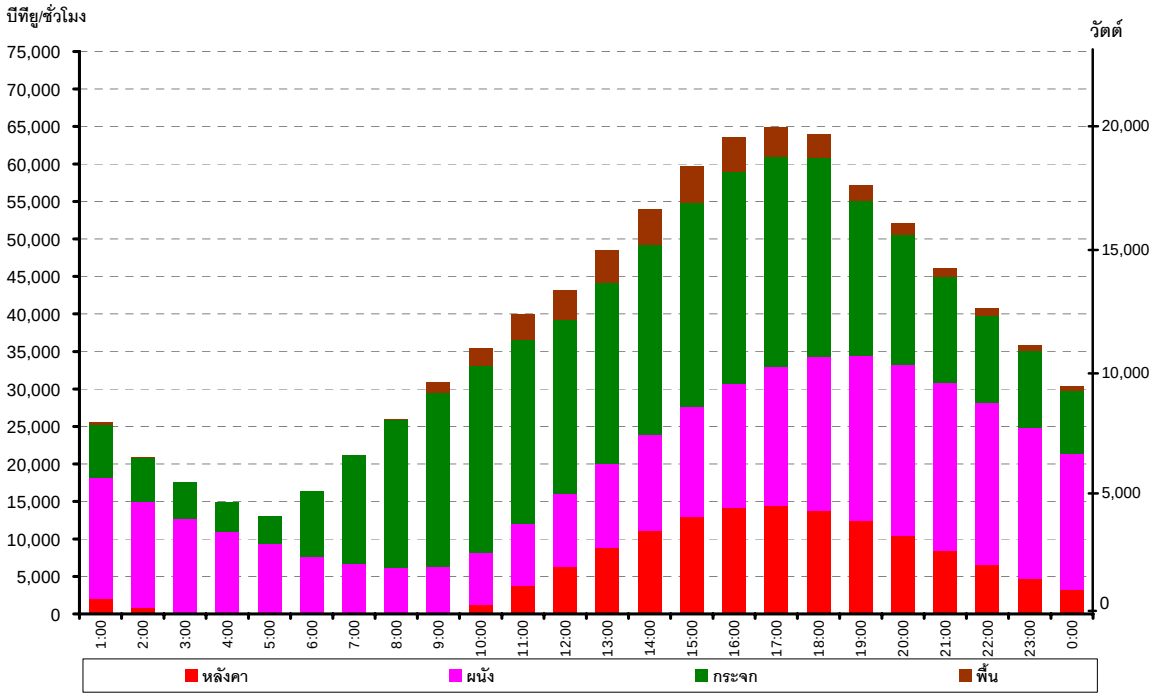


แผนภูมิที่ ข-14 แสดงภาระการทำความเย็นของผนังอาคารก่ออิฐมอญฉาบปูนหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

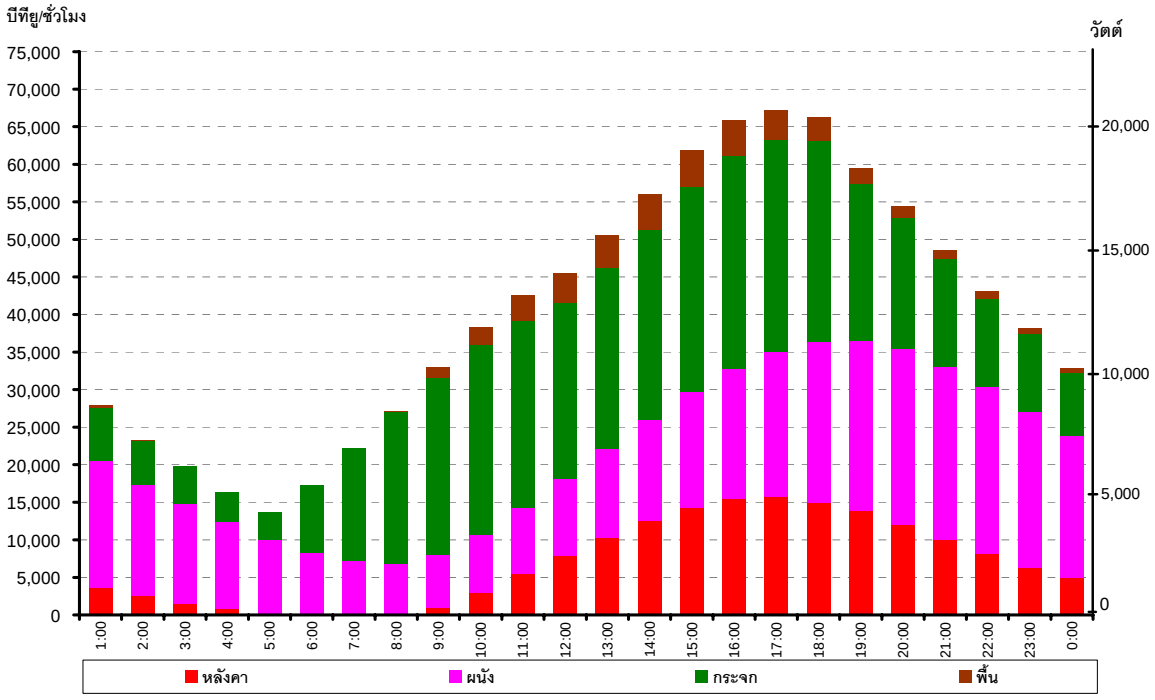
2) ผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูน 4 นิ้ว



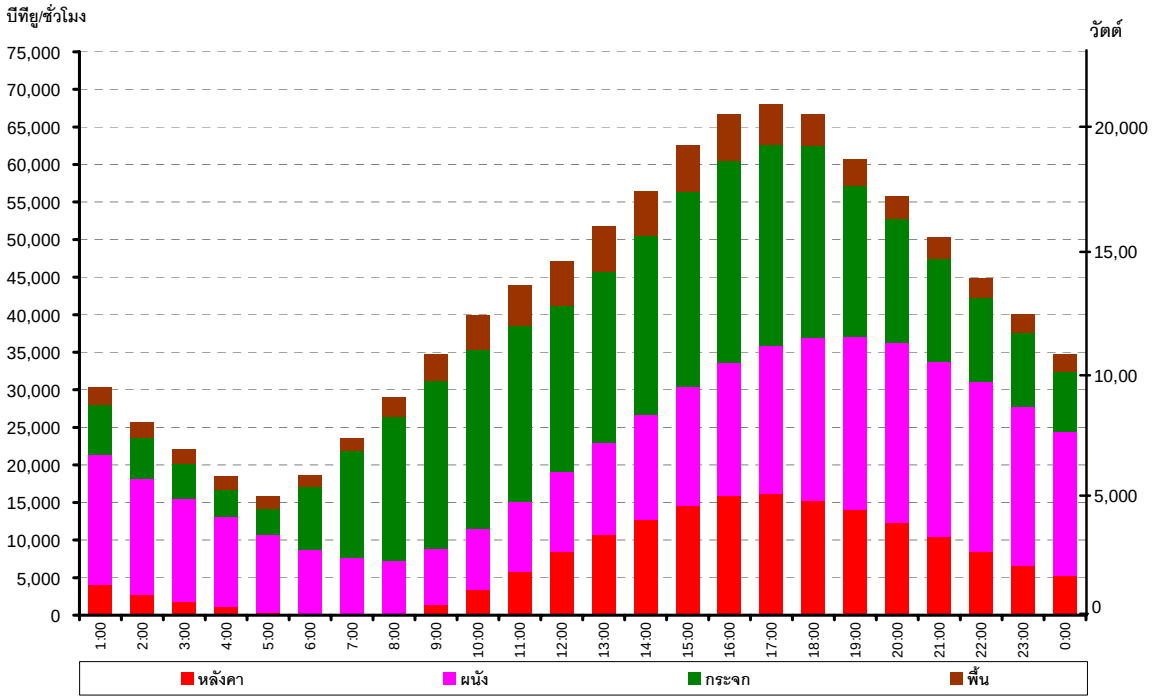
แผนภูมิที่ ข-15 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมกราคม



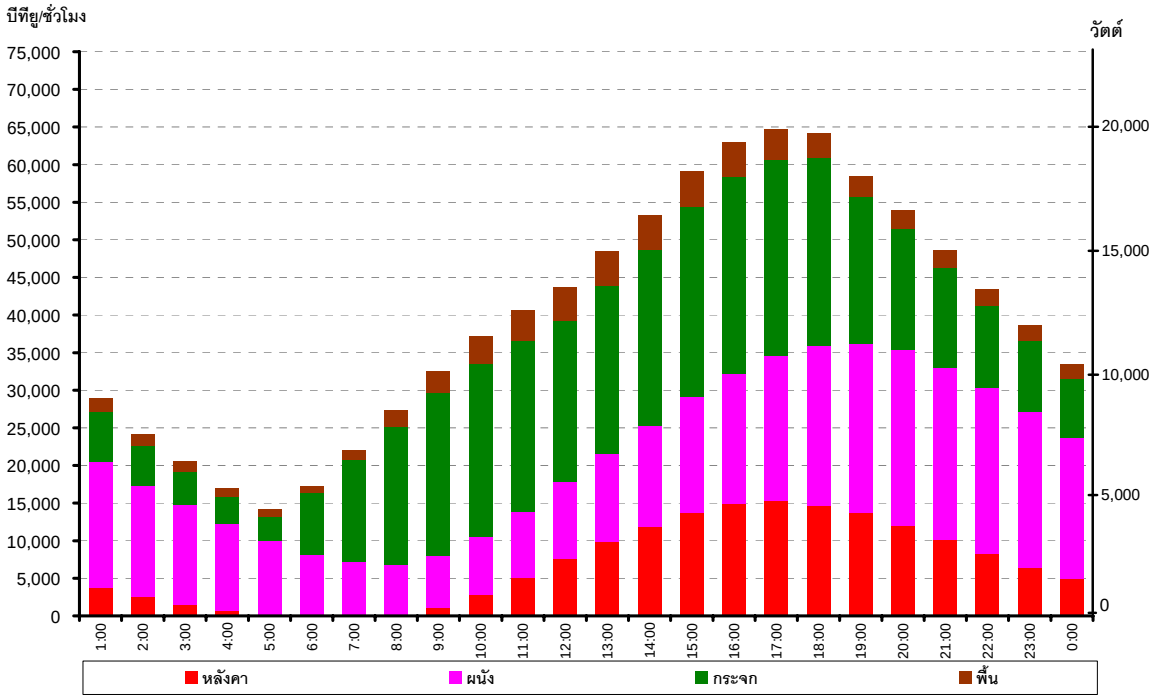
แผนภูมิที่ ข-16 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกุมภาพันธ์



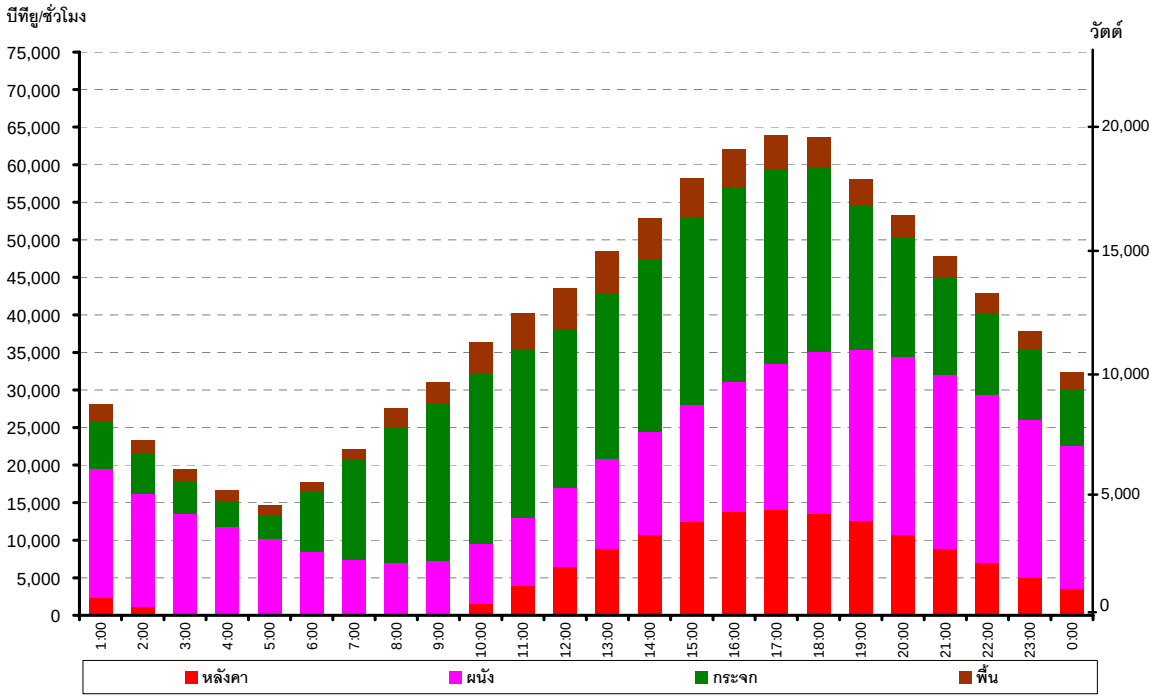
แผนภูมิที่ ข-17 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมีนาคม



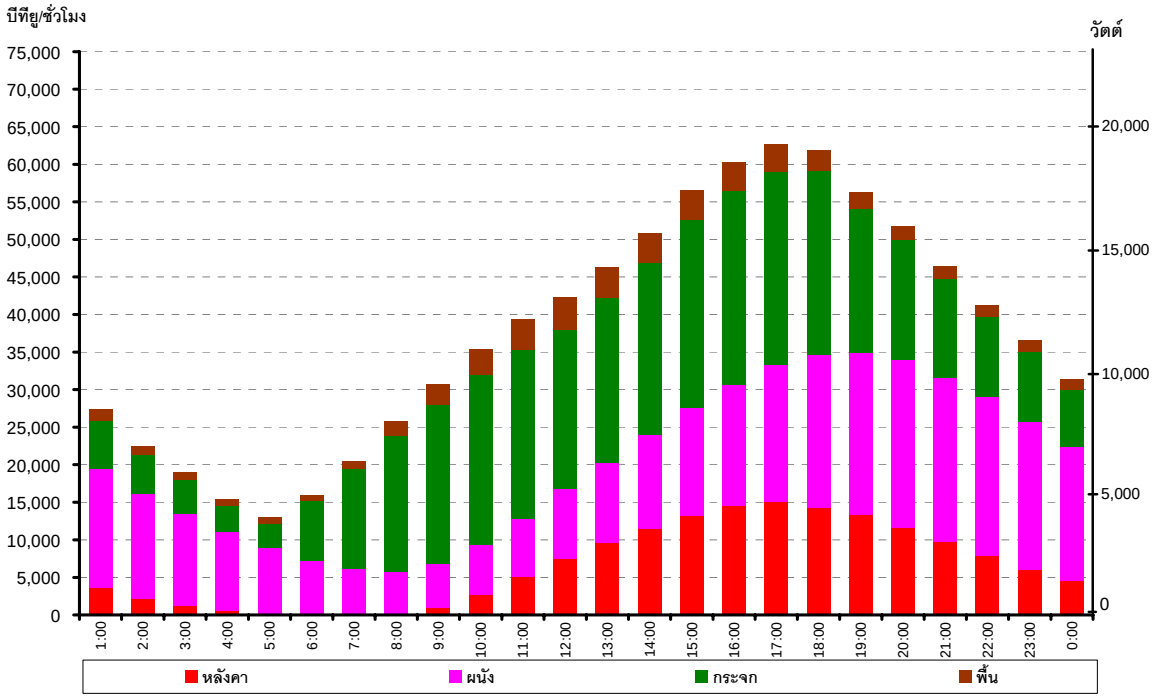
แผนภูมิที่ ข-18 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนเมษายน



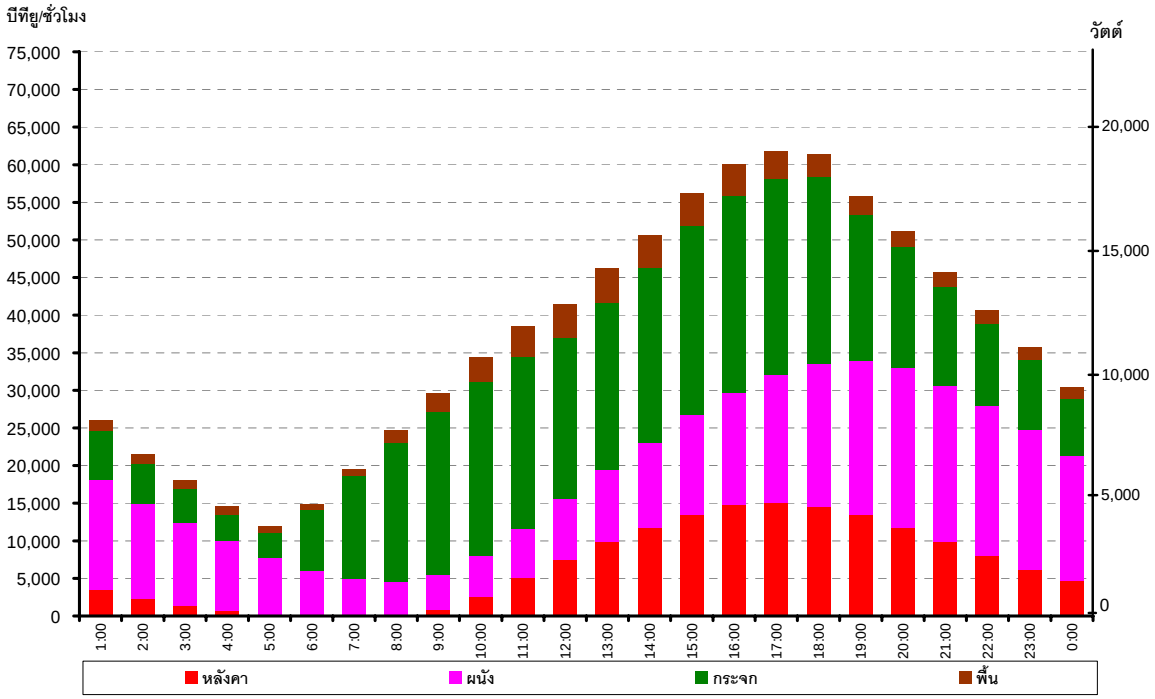
แผนภูมิที่ ข-19 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤษภาคม



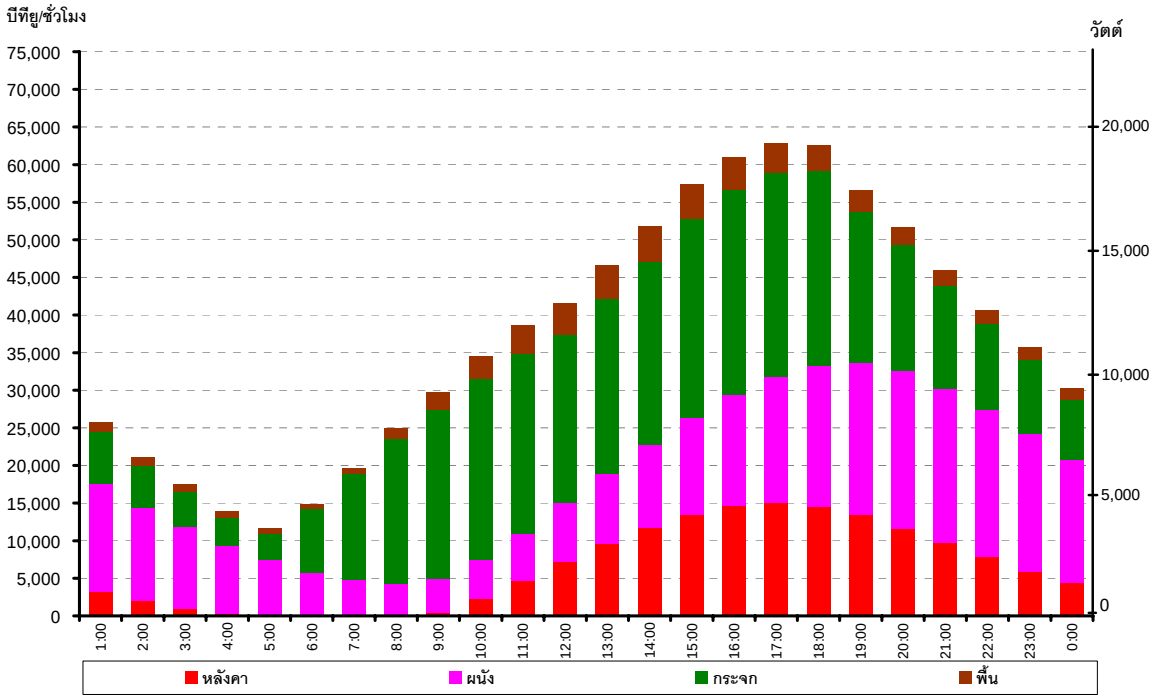
แผนภูมิที่ ข-20 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมิถุนายน



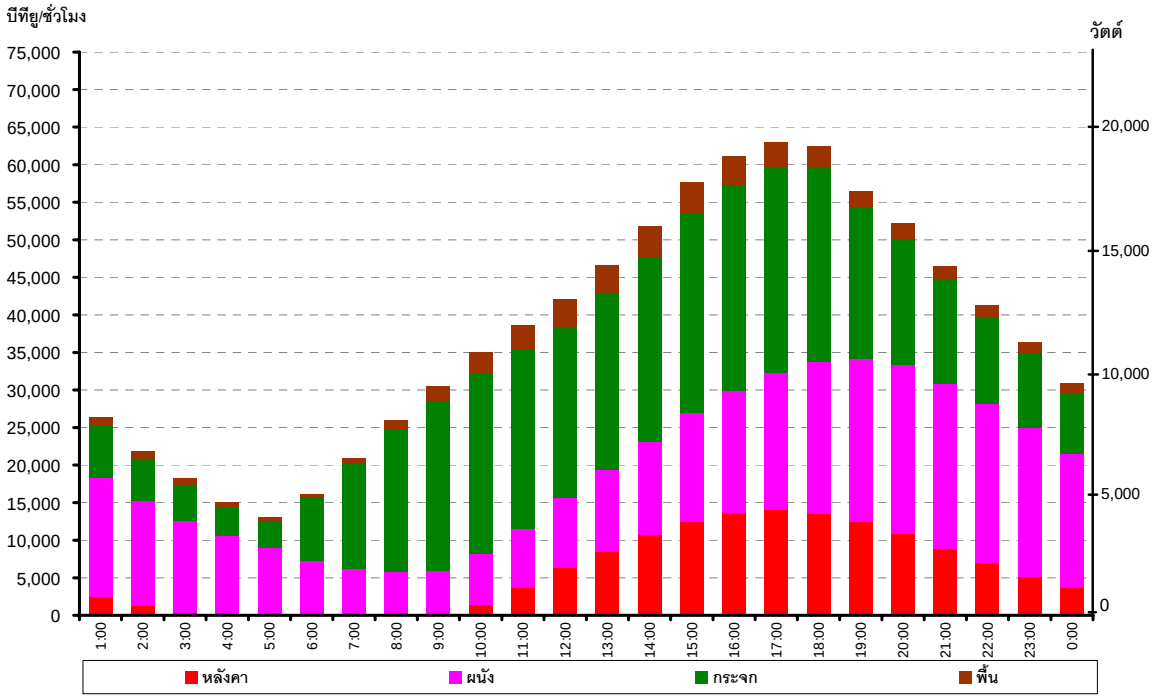
แผนภูมิที่ ข-21 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกรกฎาคม



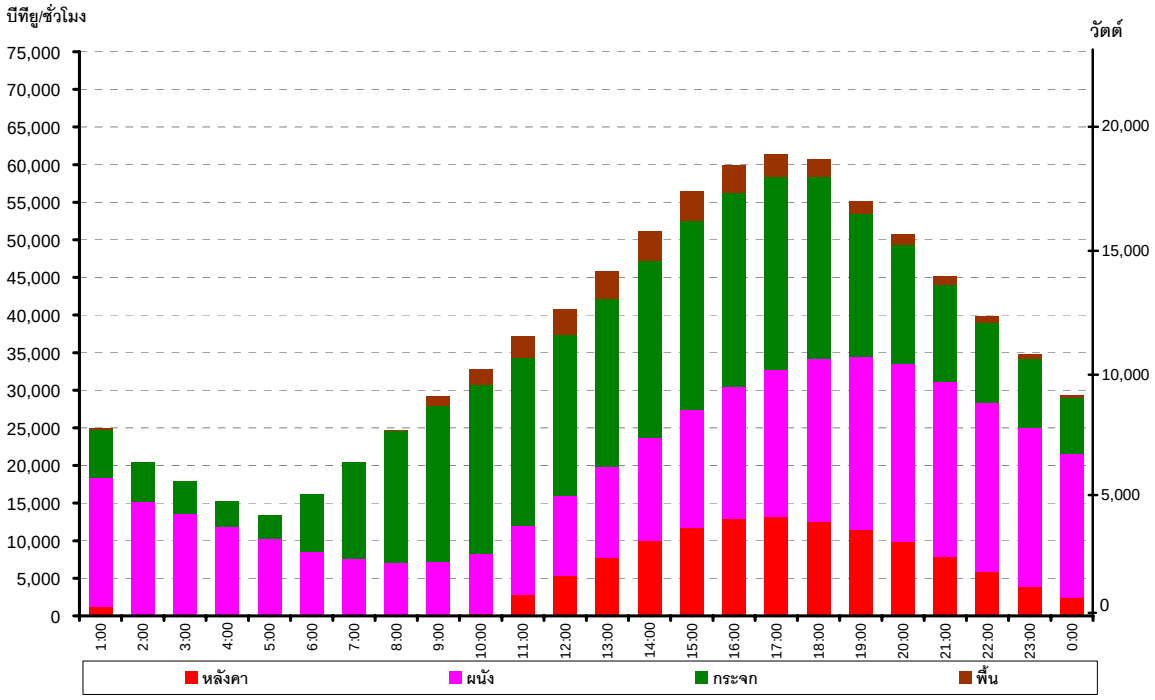
แผนภูมิที่ ข-22 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนสิงหาคม



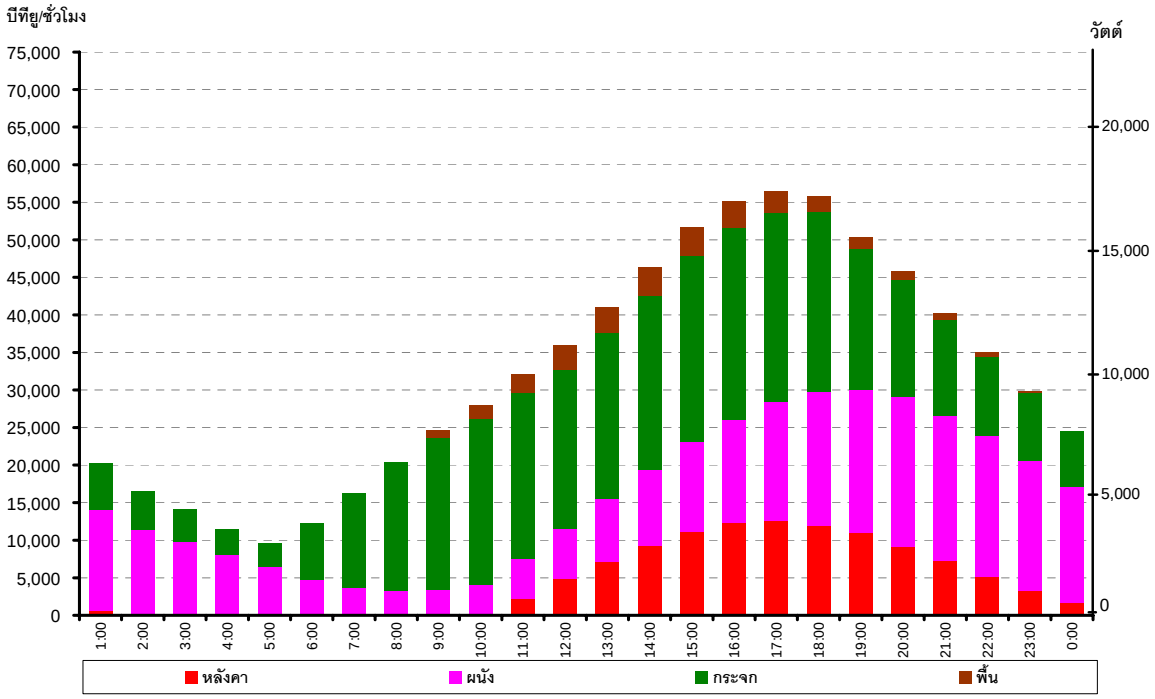
แผนภูมิที่ ข-23 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกันยายน



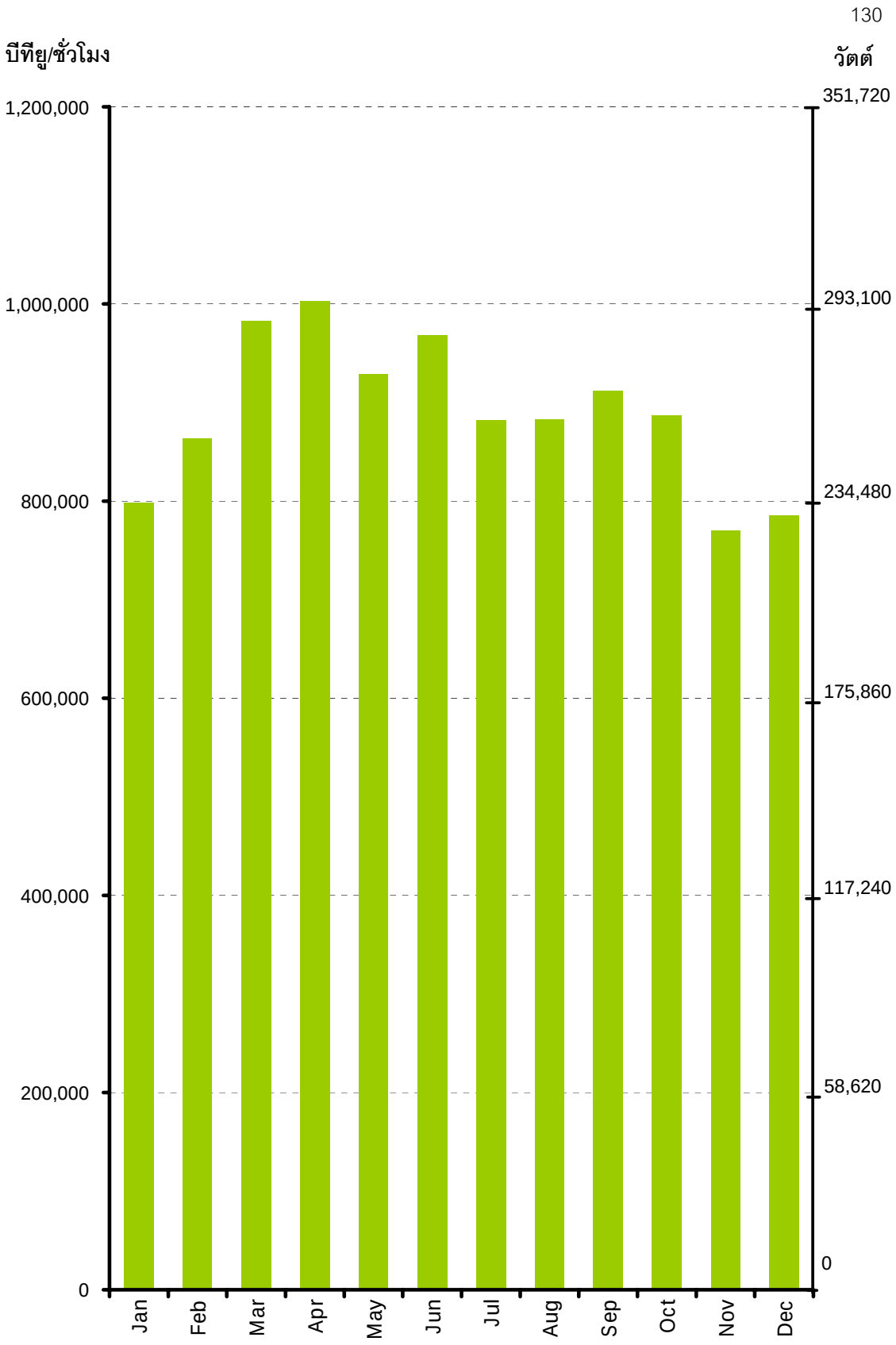
แผนภูมิที่ ข-24 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนตุลาคม



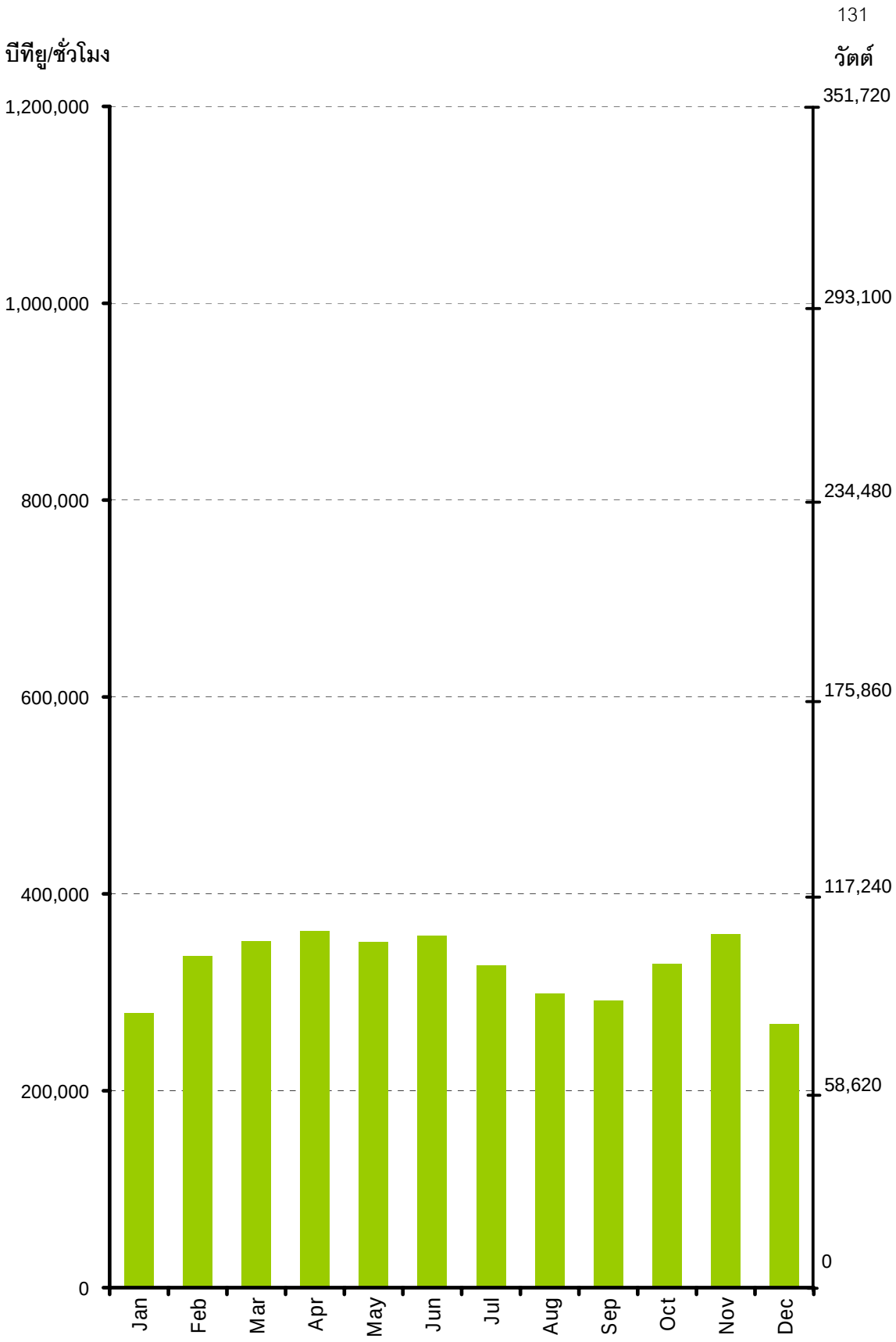
แผนภูมิที่ ข-25 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤศจิกายน



แผนภูมิที่ ข-26 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนธันวาคม

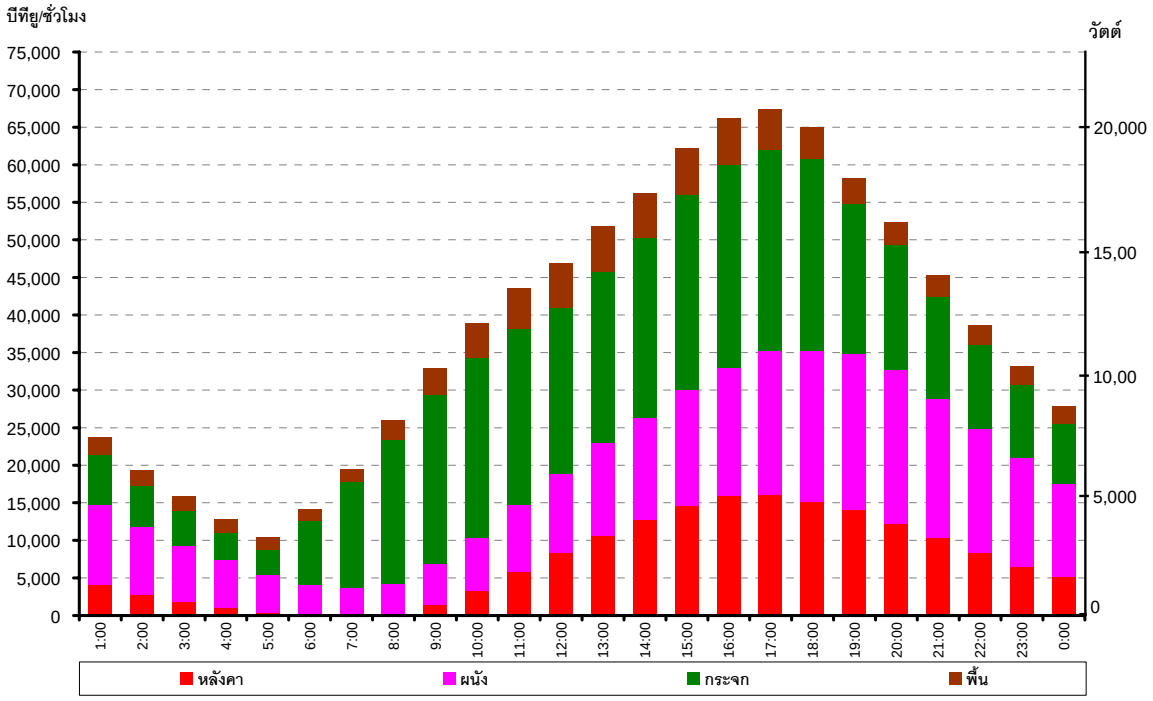


แผนภูมิที่ ข-27 แสดงภาระการทำความเย็นของอาคารผนังก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

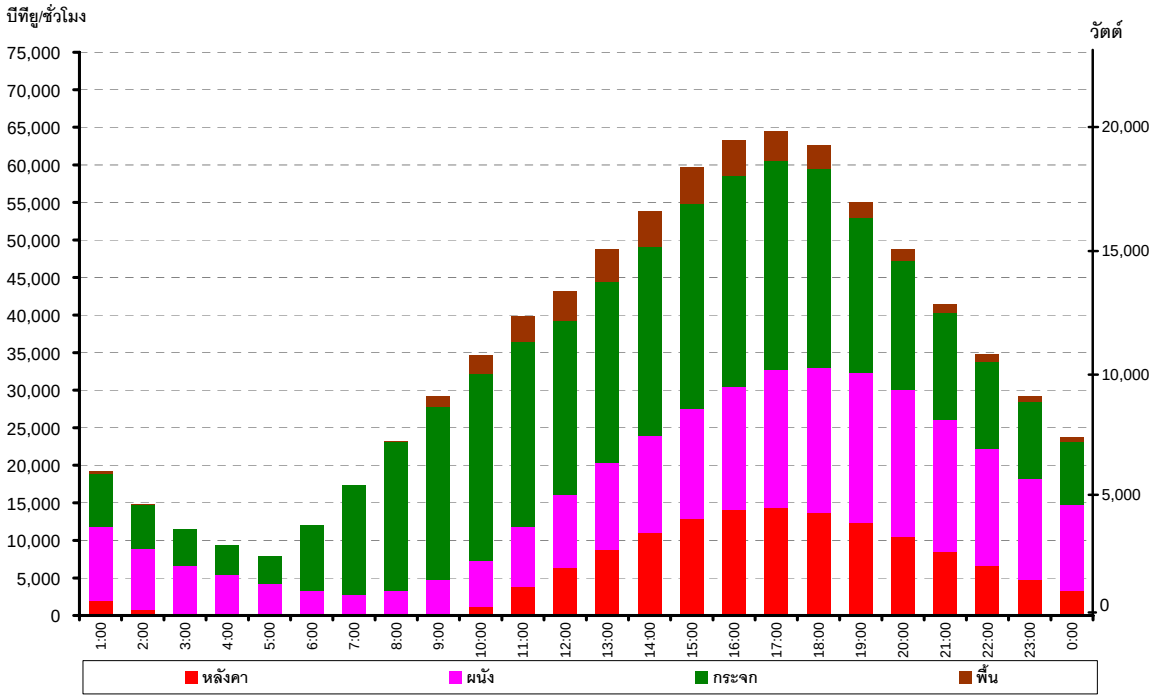


แผนภูมิที่ ข-28 แสดงภาระการทำความเย็นของผนังอาคารก่อซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

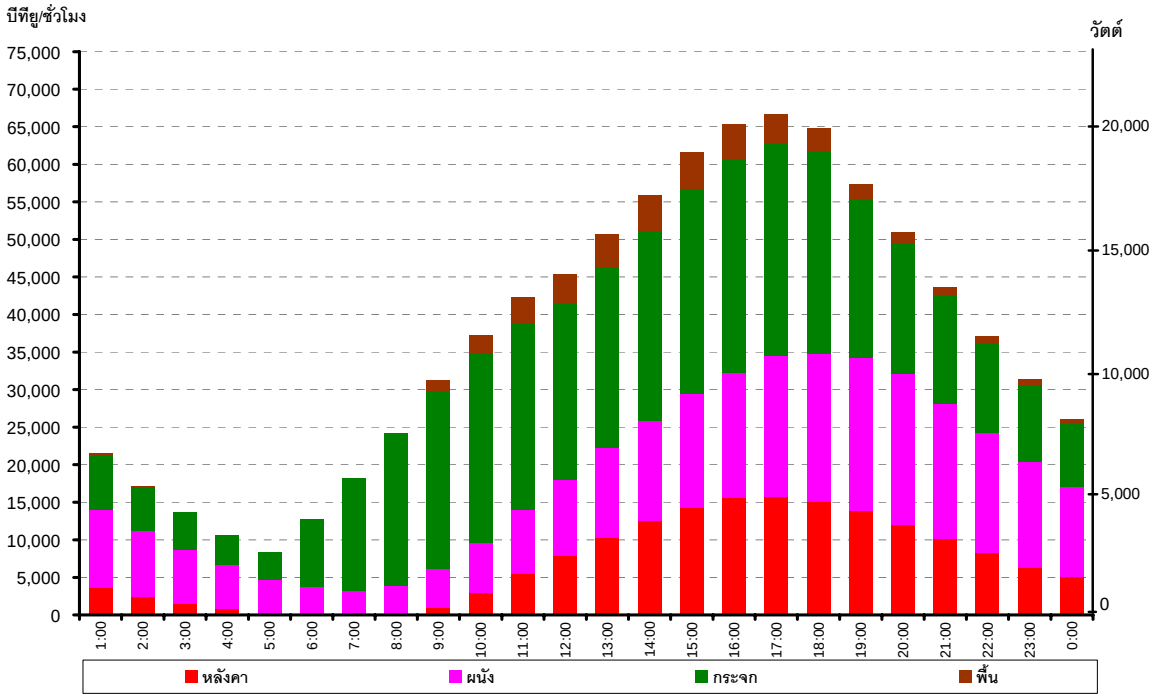
3) ผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน 4 นิ้ว



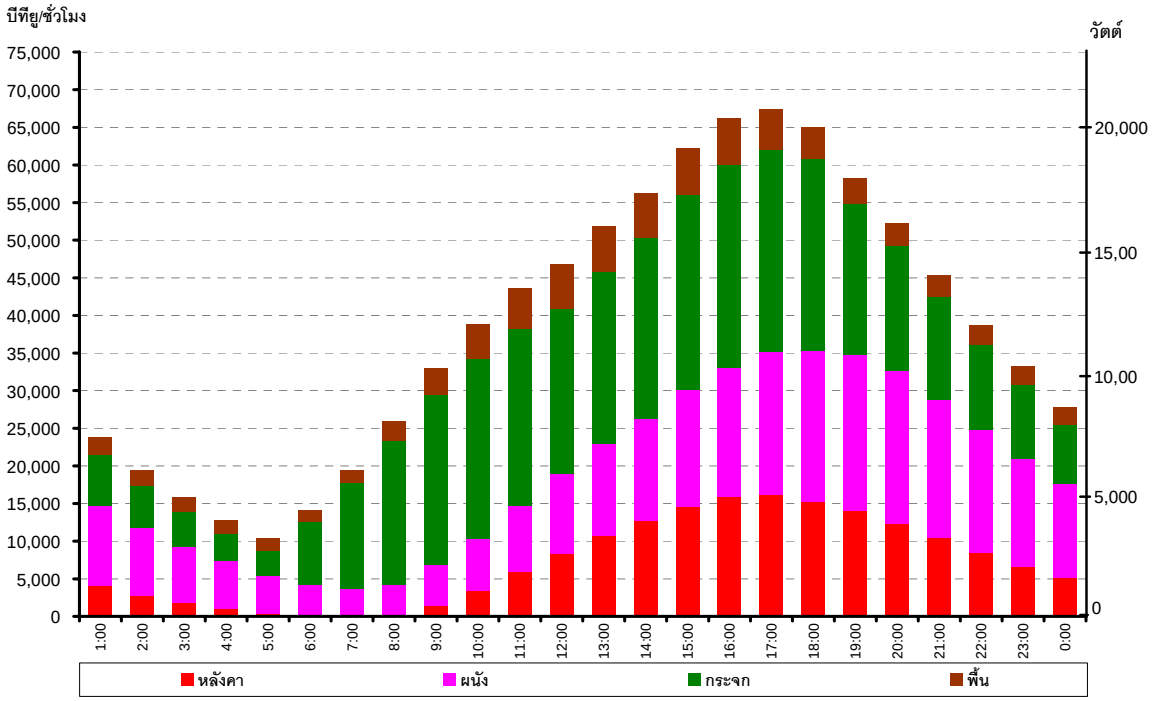
แผนภูมิที่ ข-29 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมกราคม



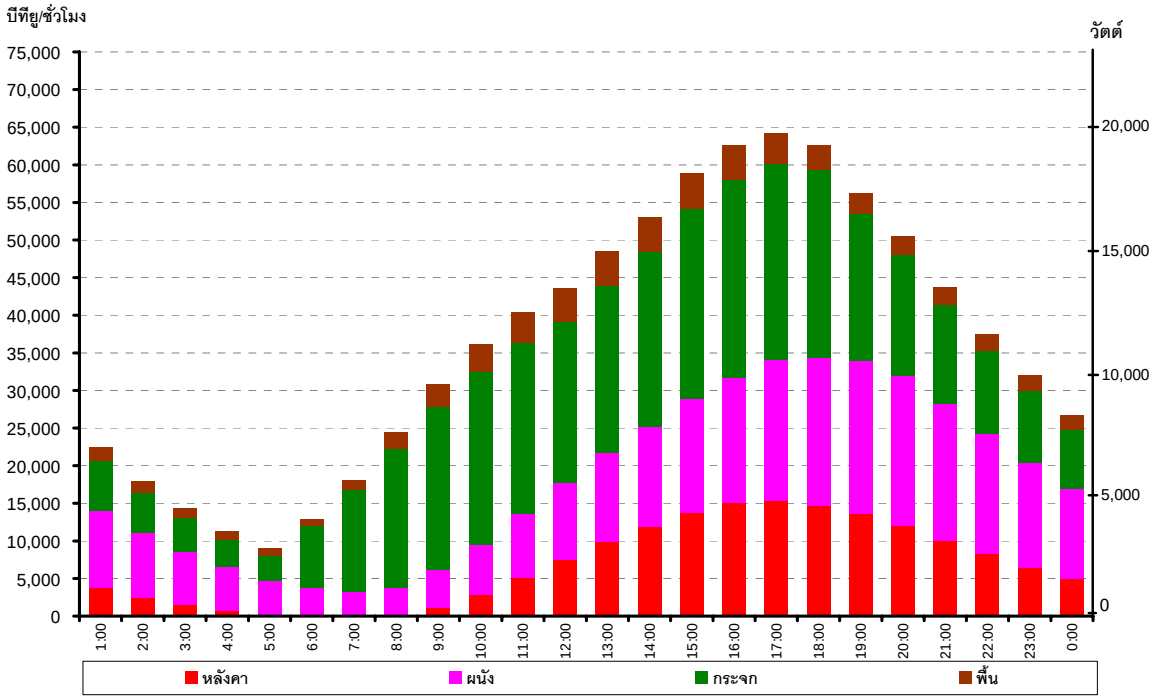
แผนภูมิที่ ข-30 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกุมภาพันธ์



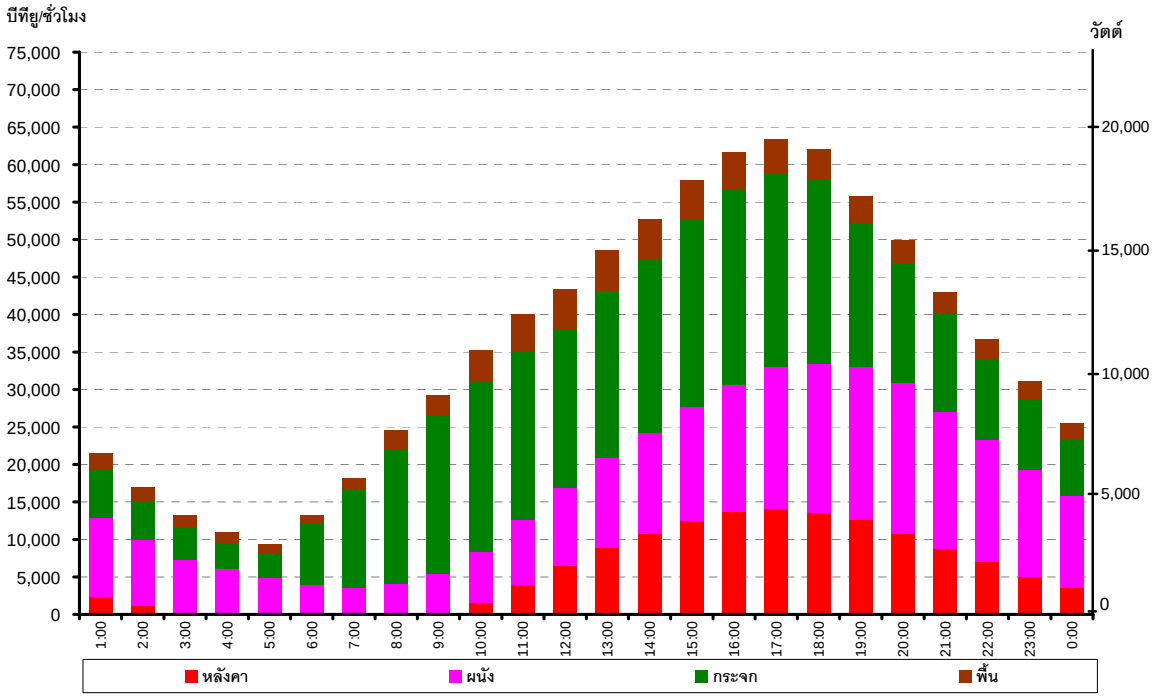
แผนภูมิที่ ข-31 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมีนาคม



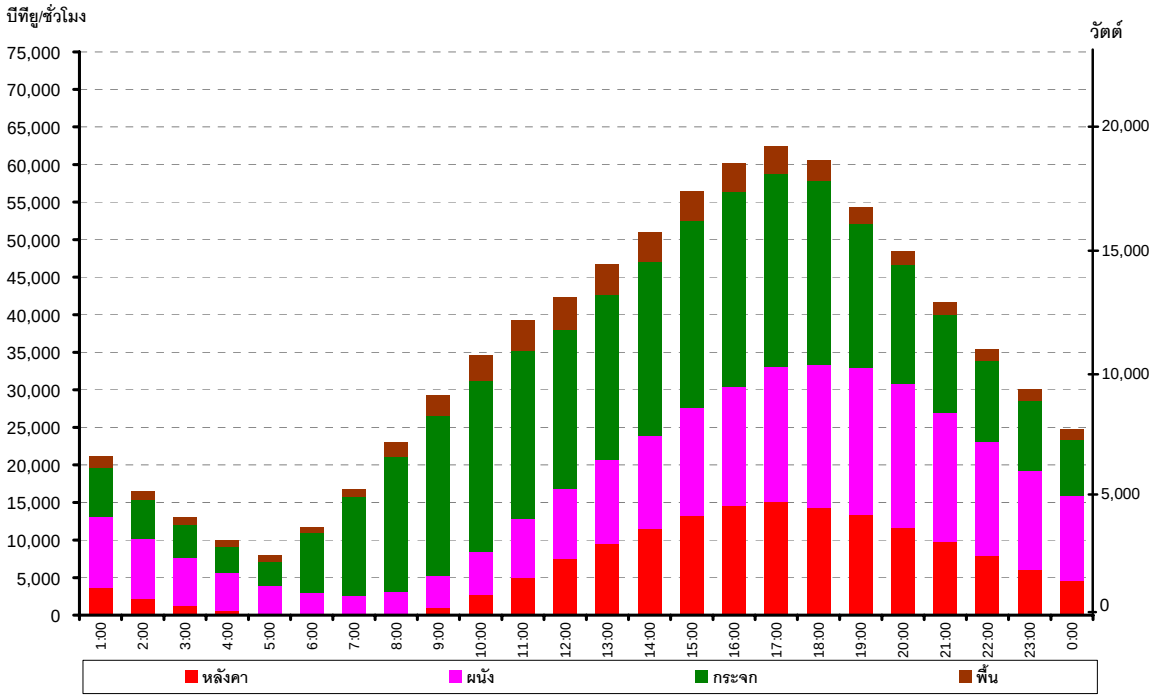
แผนภูมิที่ ข-32 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนเมษายน



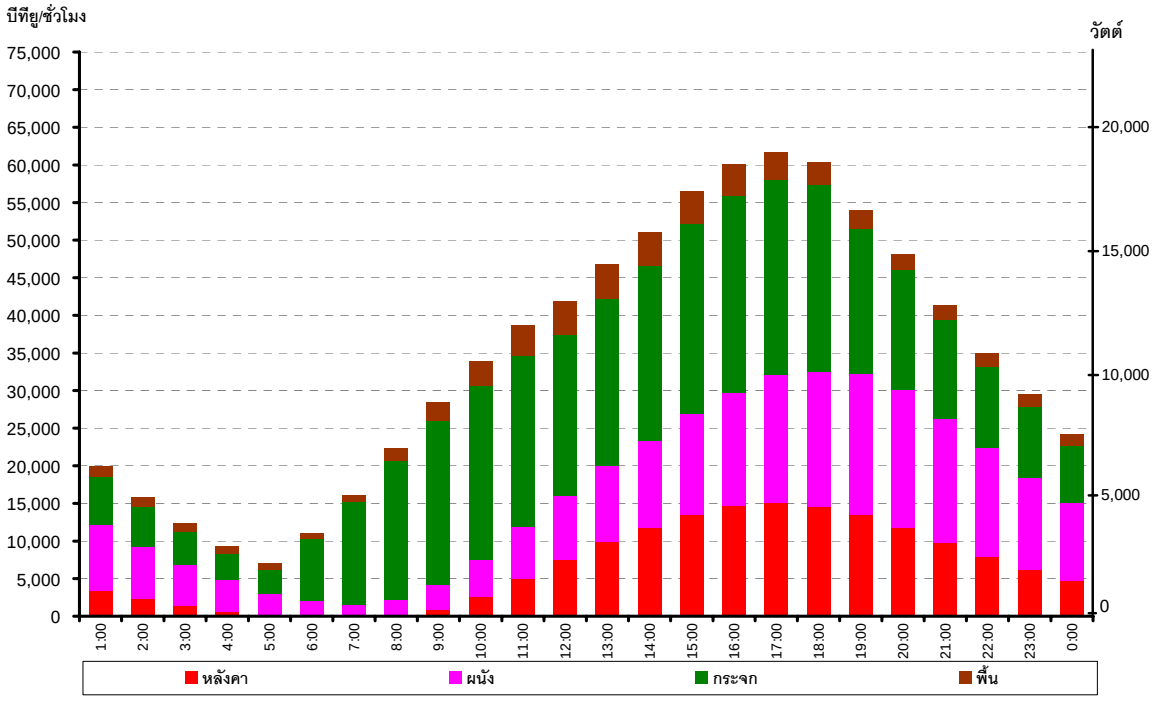
แผนภูมิที่ ข-33 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤษภาคม



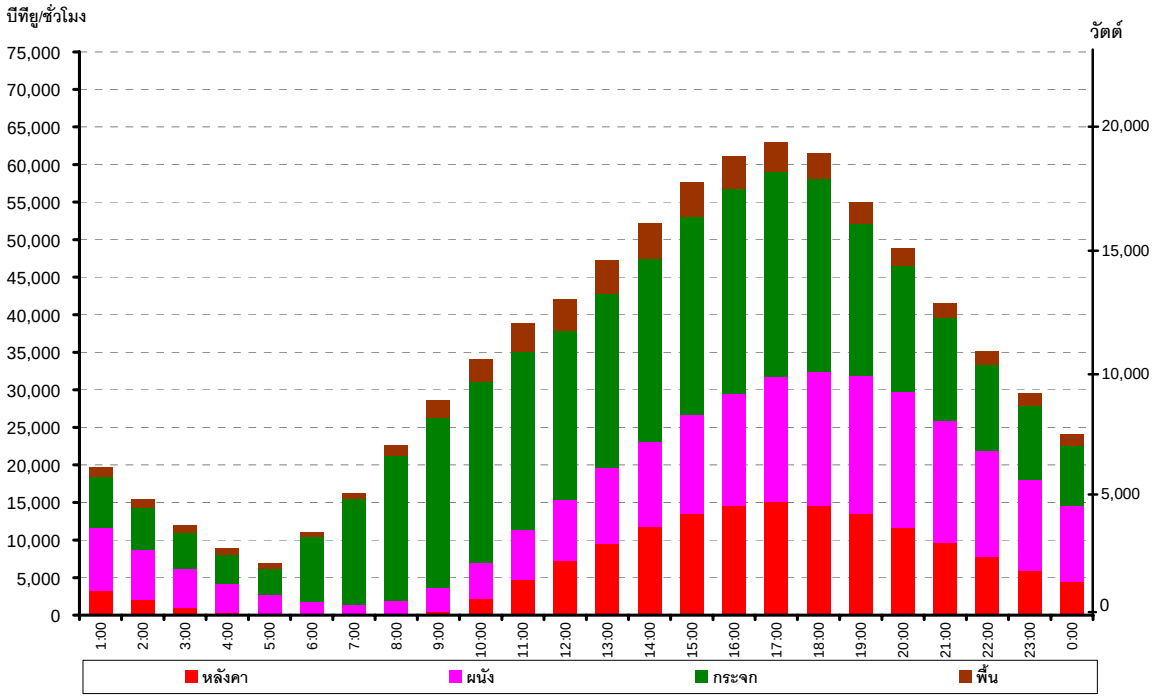
แผนภูมิที่ ข-34 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมิถุนายน



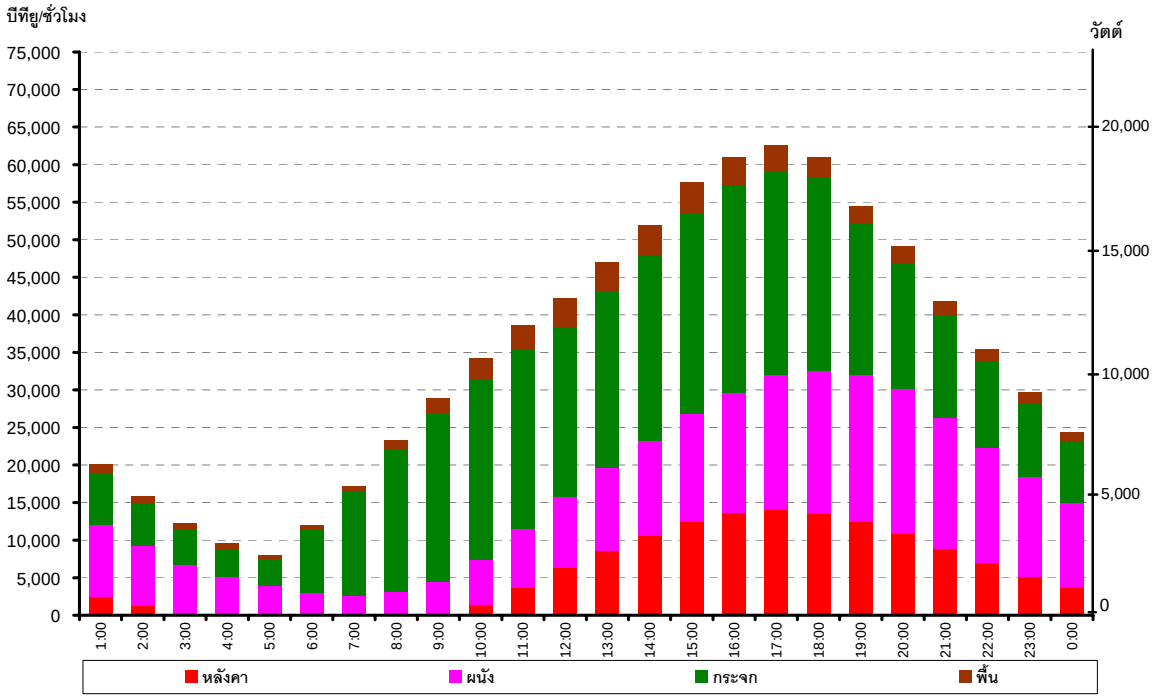
แผนภูมิที่ ข-35 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกรกฎาคม



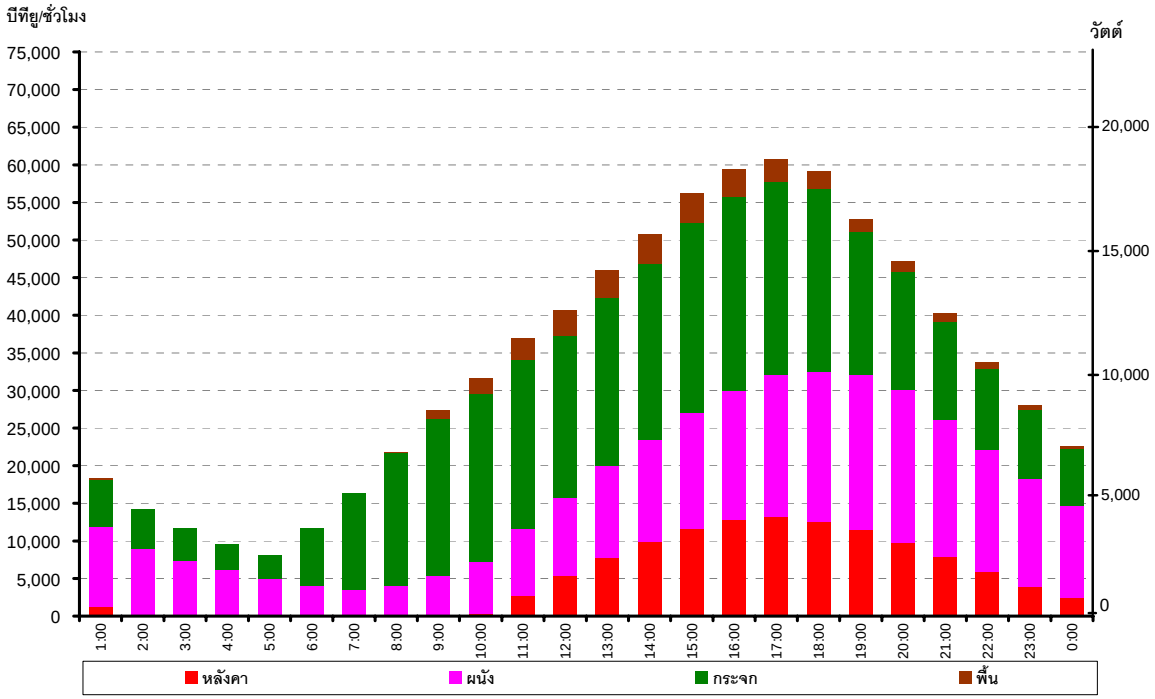
แผนภูมิที่ ข-36 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนสิงหาคม



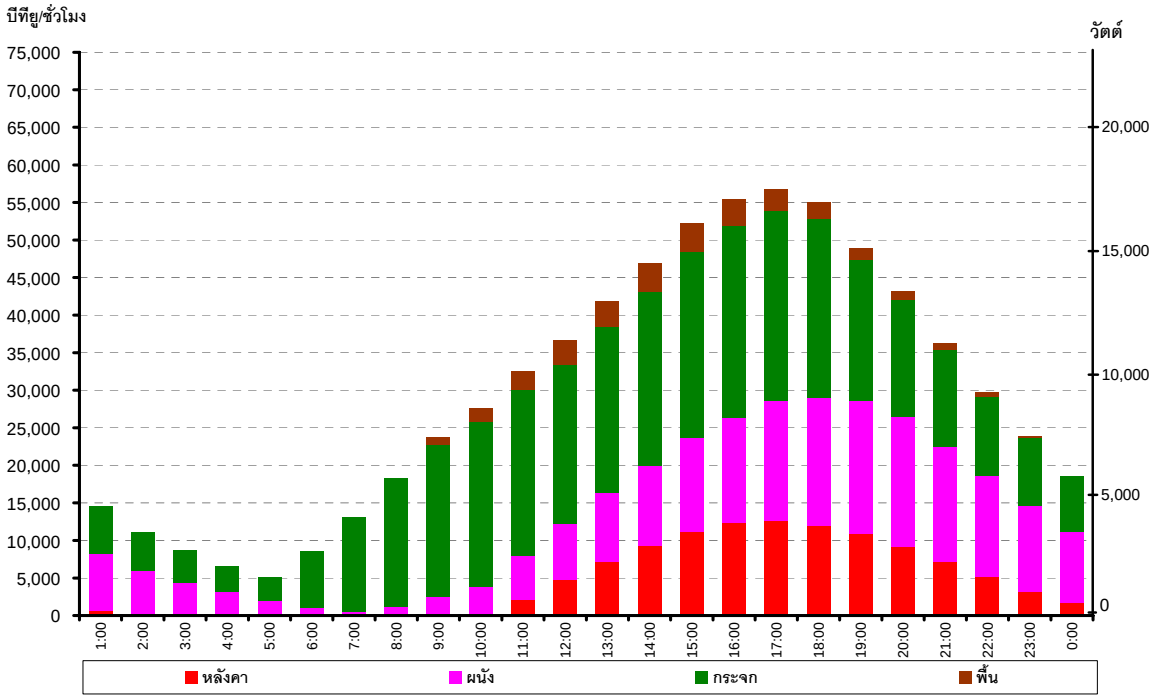
แผนภูมิที่ ข-37 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกันยายน



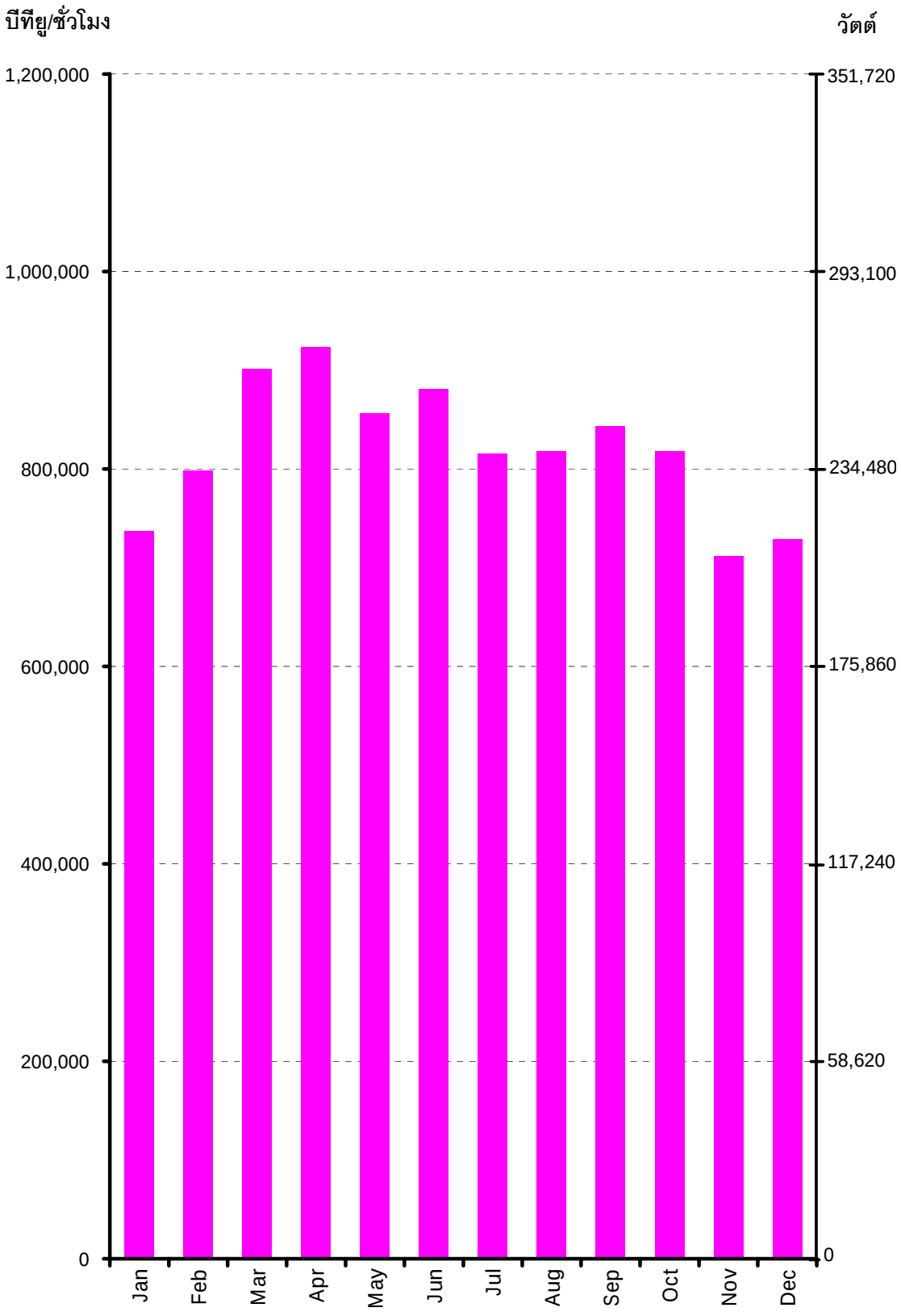
แผนภูมิที่ ข-38 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนตุลาคม



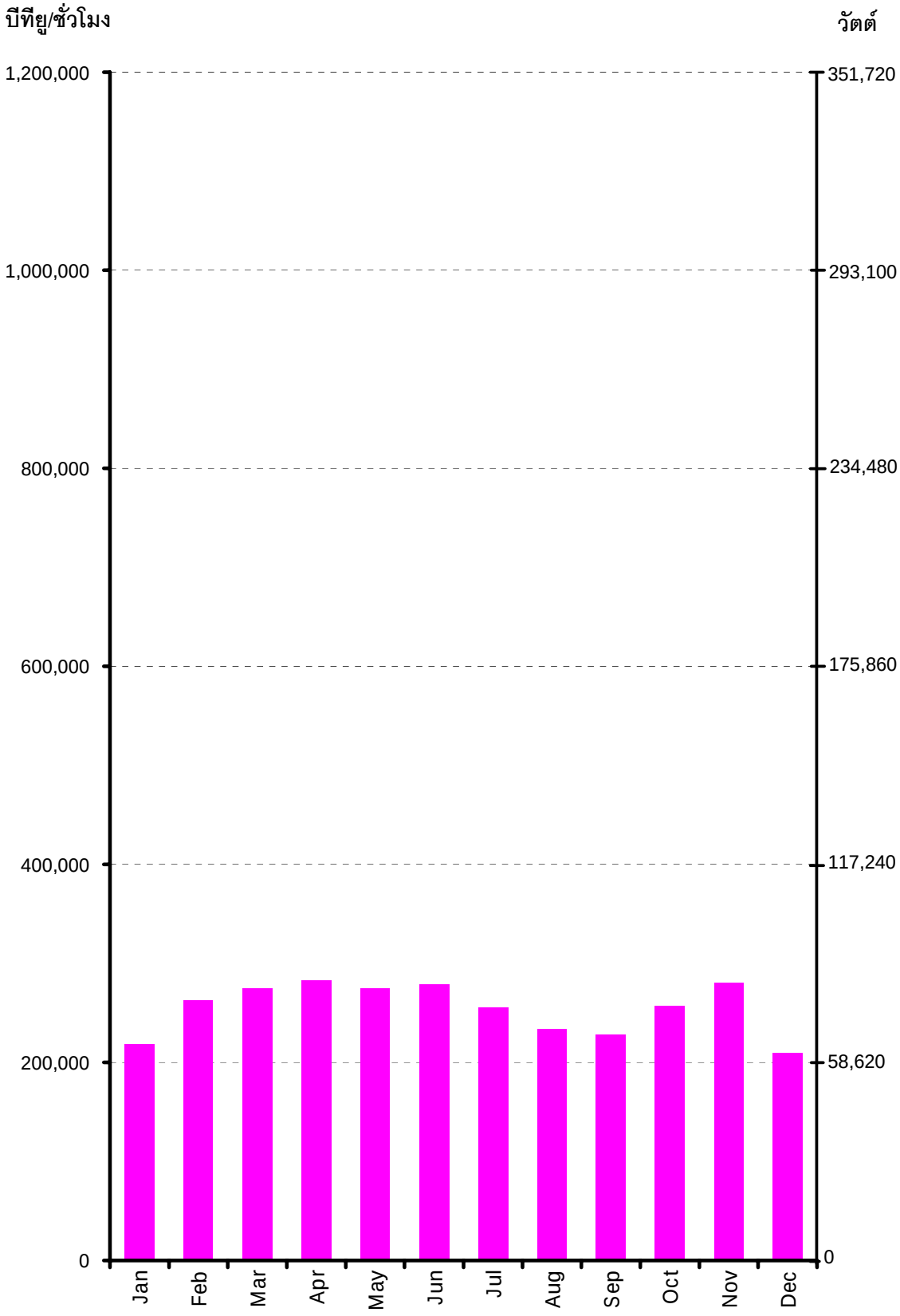
แผนภูมิที่ ข-39 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤศจิกายน



แผนภูมิที่ ข-40 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนธันวาคม

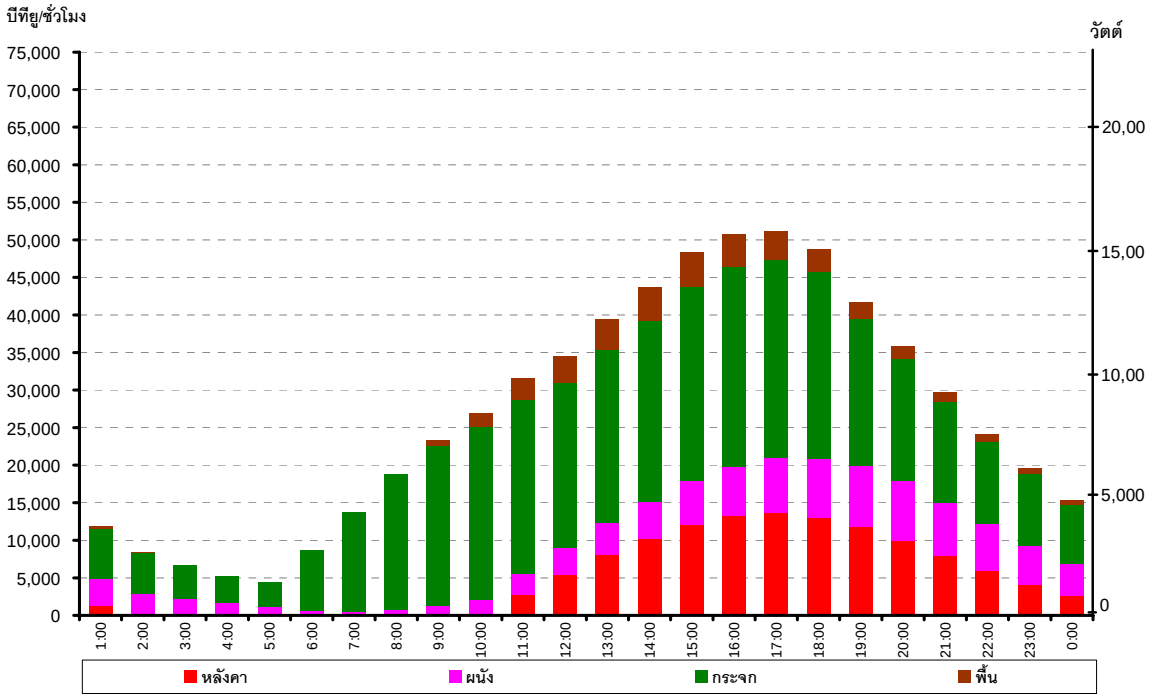


แผนภูมิที่ ข-41 แสดงภาระการทำความเย็นของอาคารผนังก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

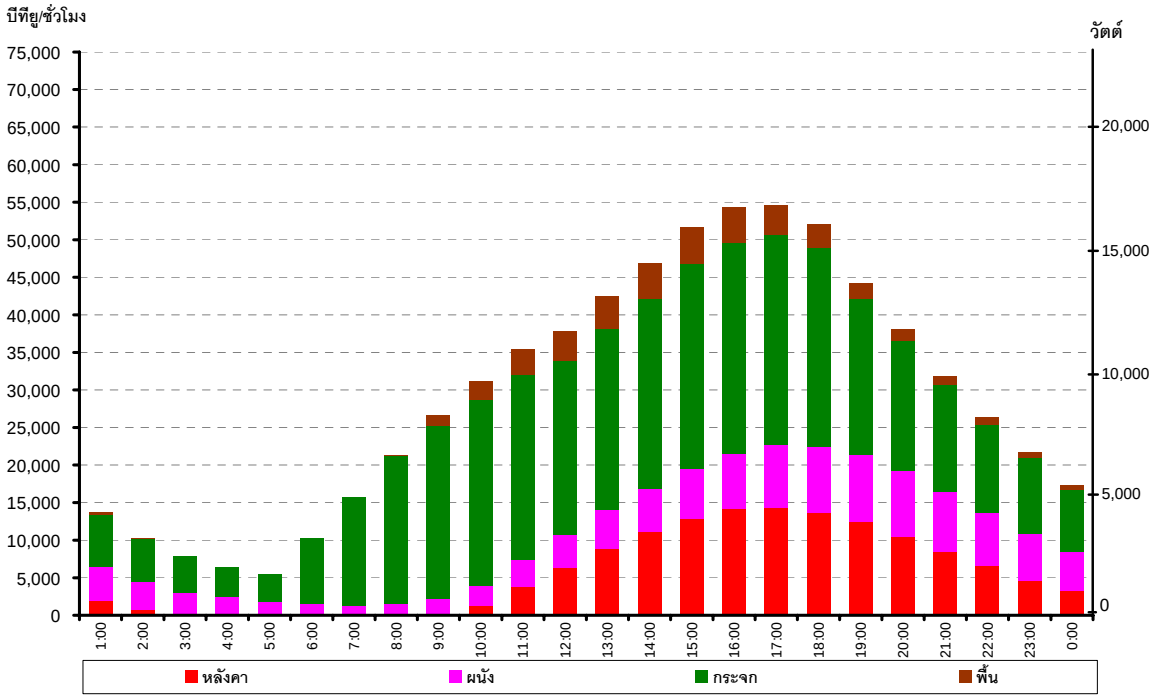


แผนภูมิที่ ข-42 แสดงภาระการทำความเย็นของผนังอาคารก่อคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

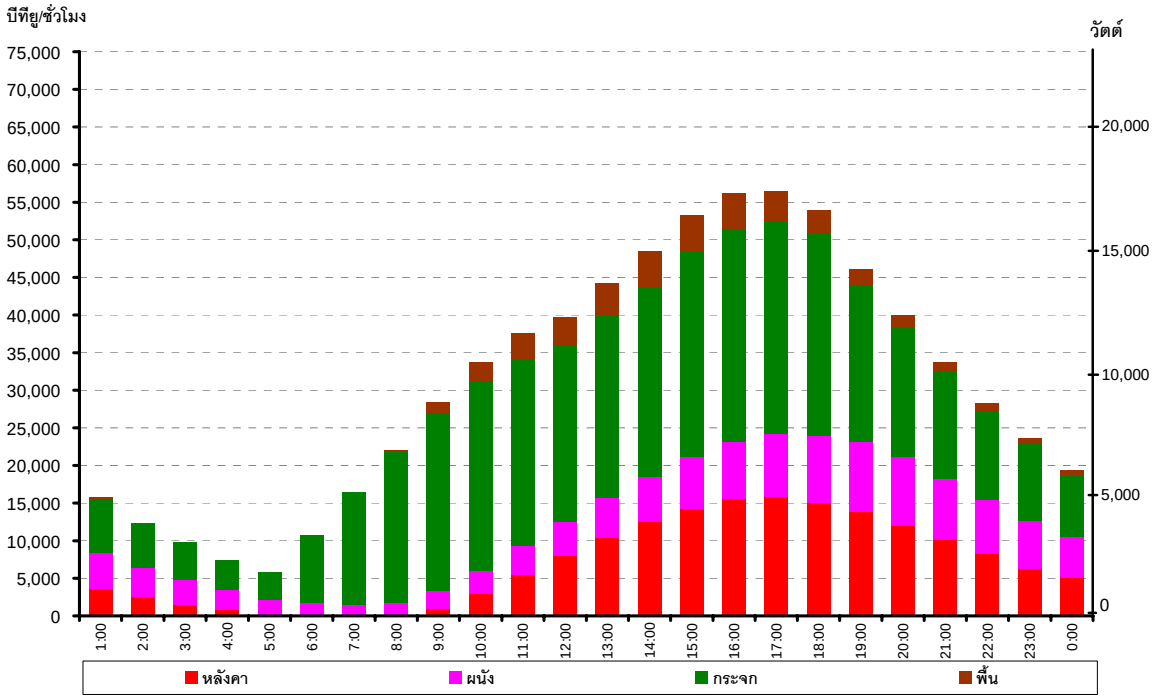
4) ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 4 นิ้ว



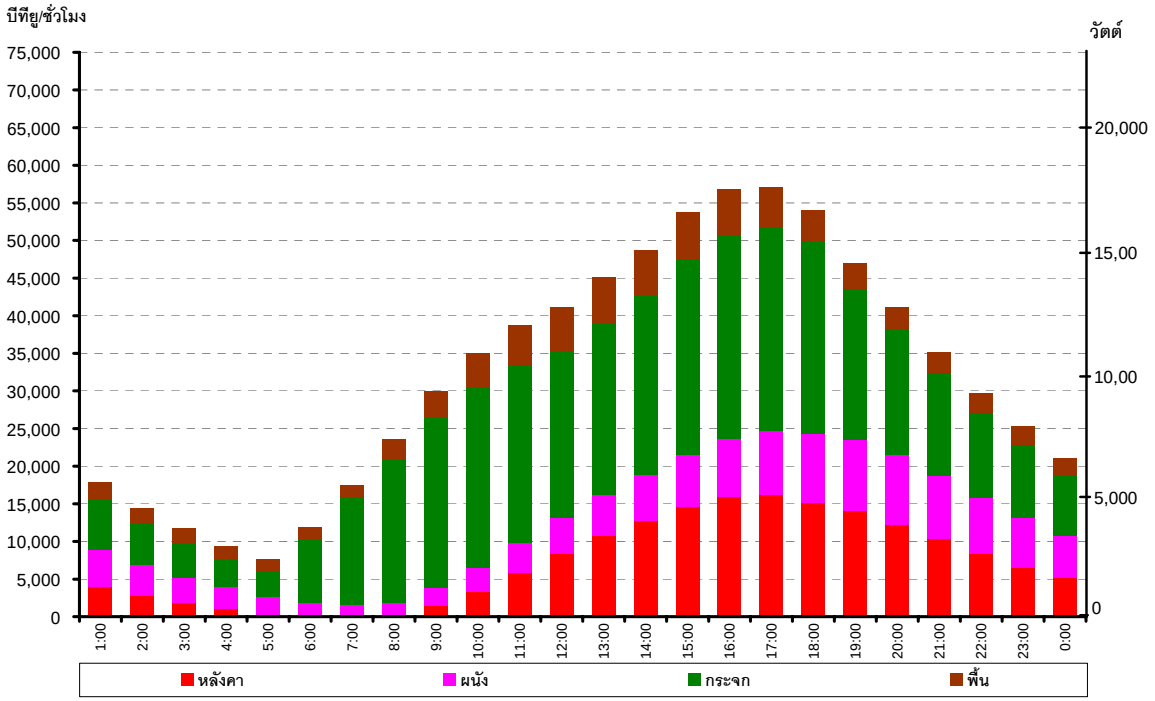
แผนภูมิที่ ข-43 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมกราคม



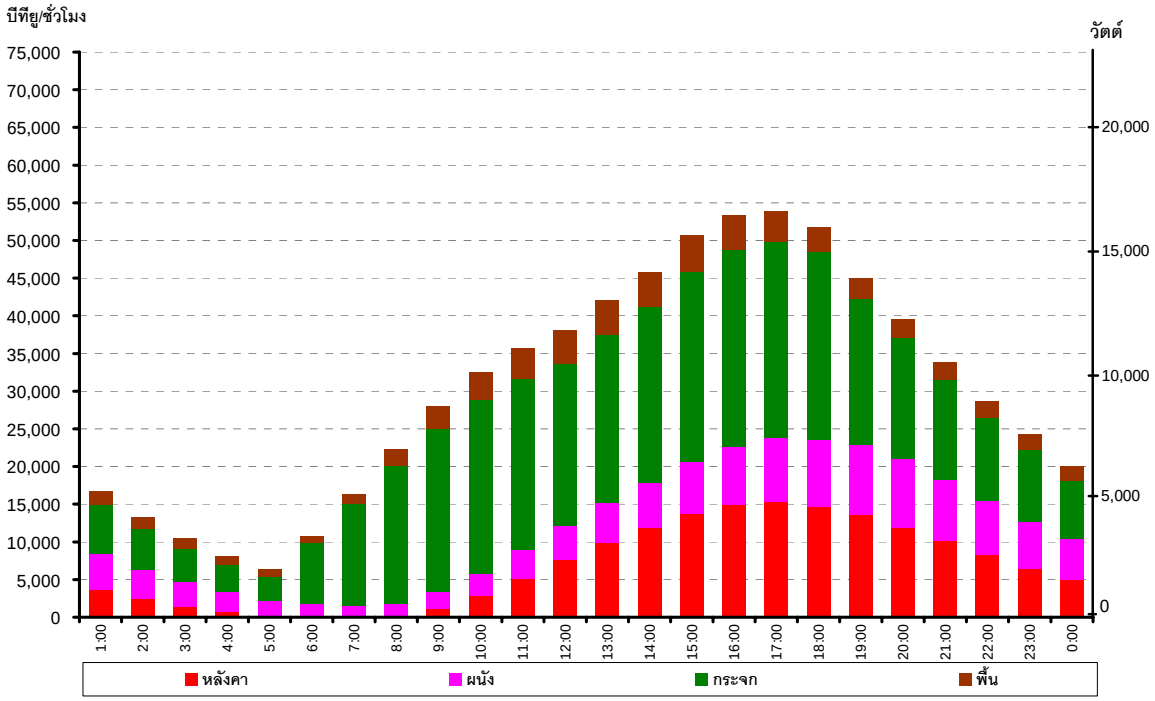
แผนภูมิที่ ข-44 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกุมภาพันธ์



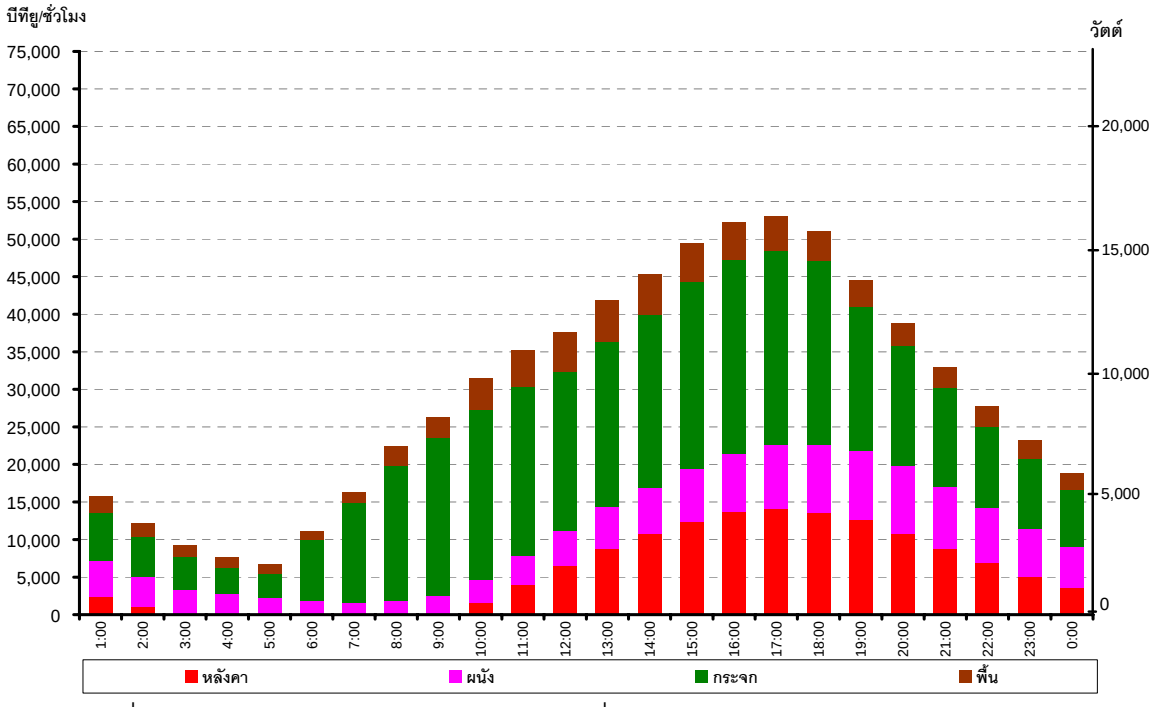
แผนภูมิที่ ข-45 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมีนาคม



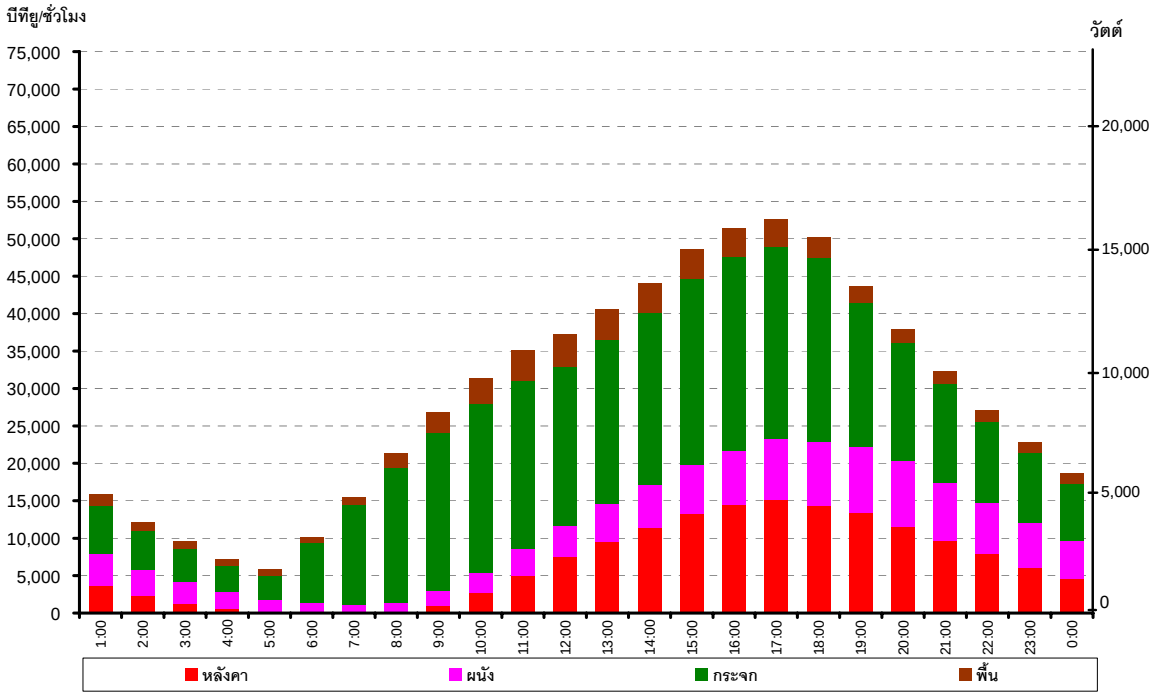
แผนภูมิที่ ข-46 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนเมษายน



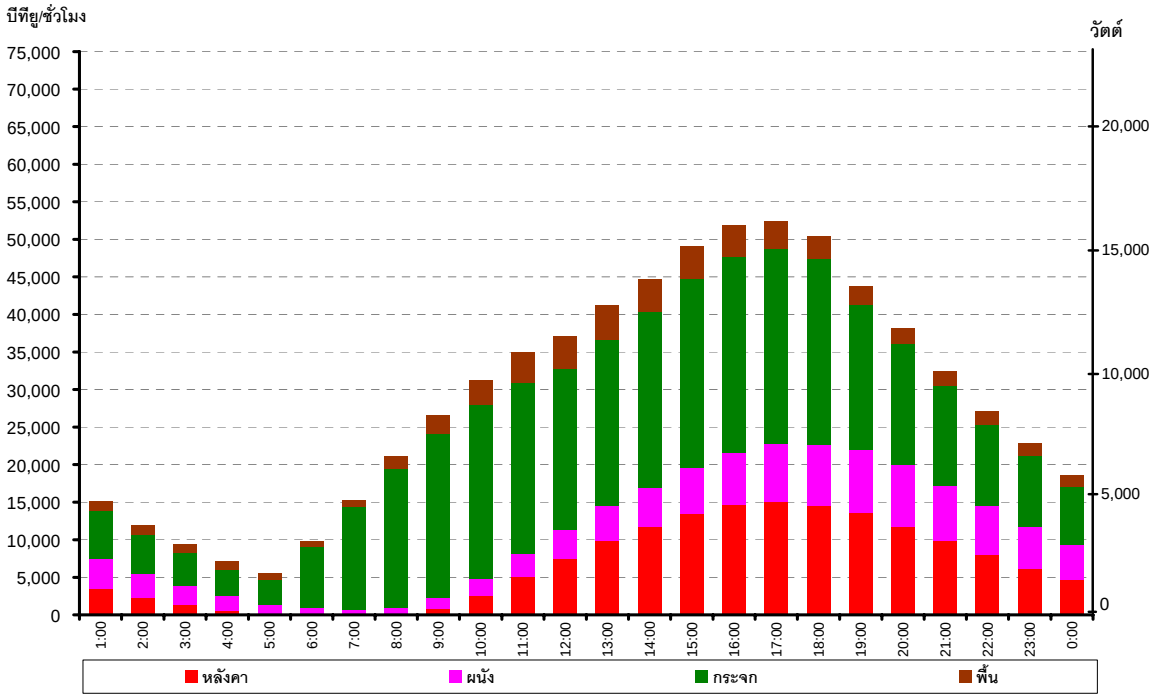
แผนภูมิที่ ข-47 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤษภาคม



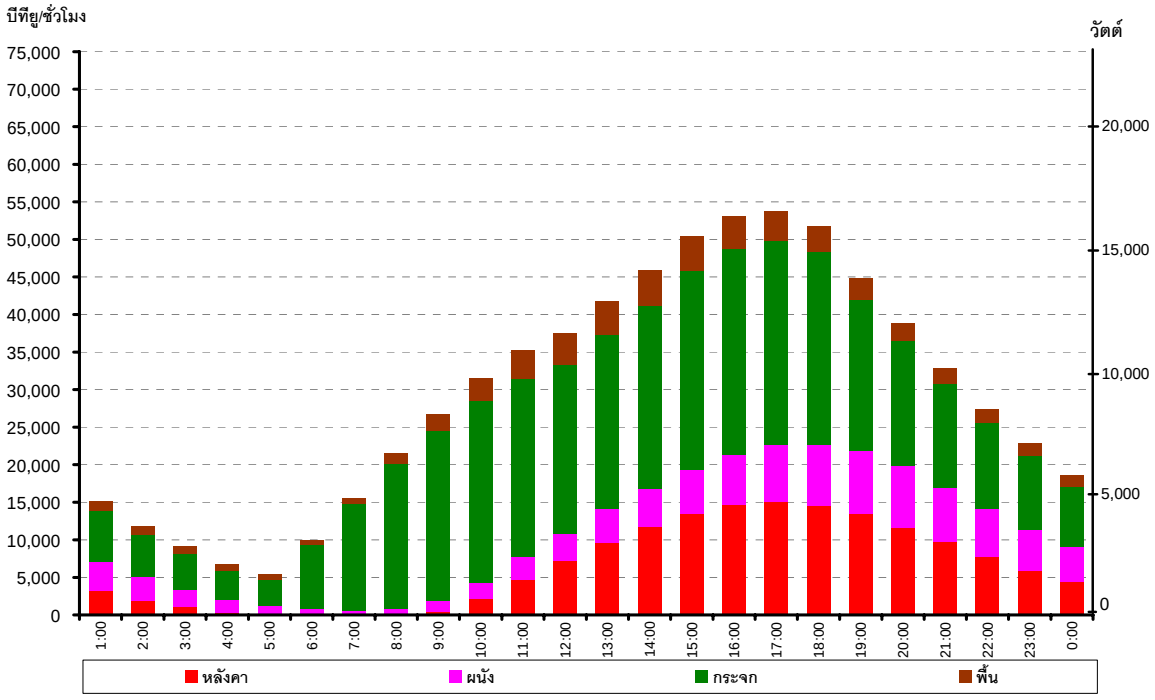
แผนภูมิที่ ข-48 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมิถุนายน



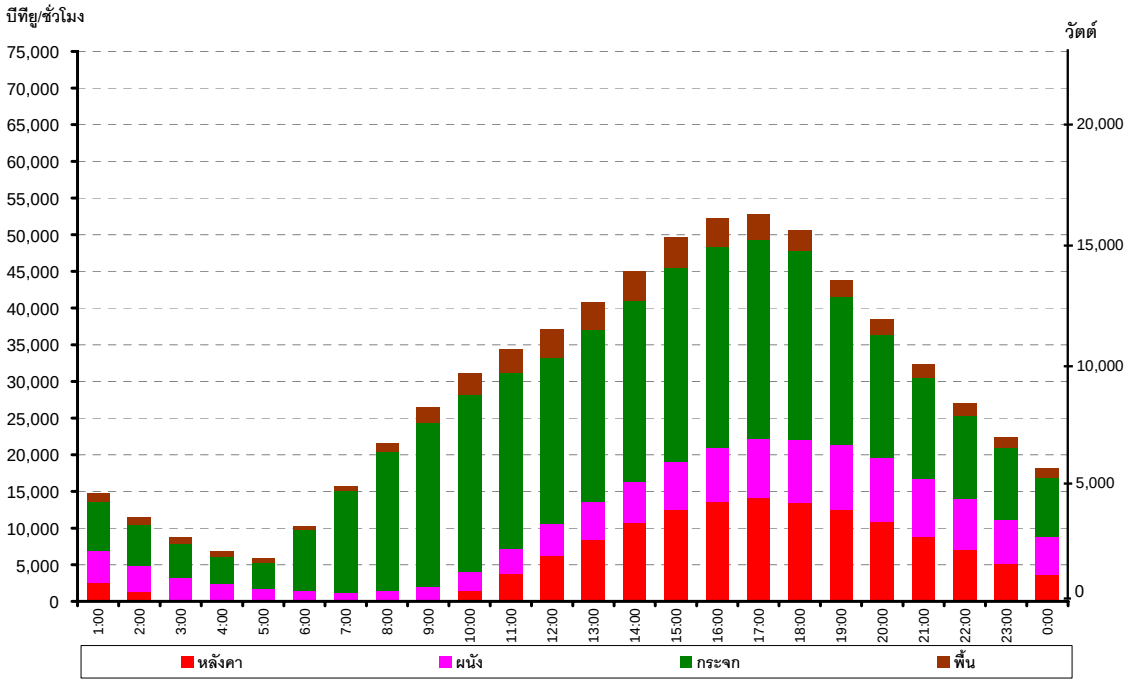
แผนภูมิที่ ข-49 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกรกฎาคม



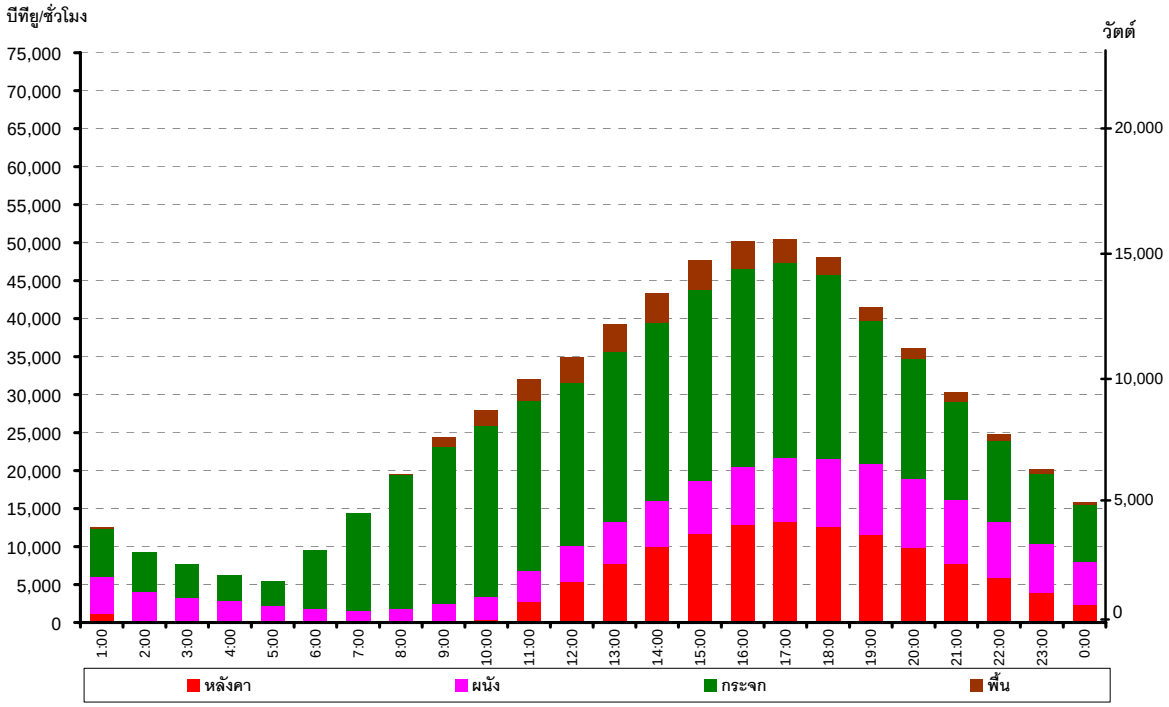
แผนภูมิที่ ข-50 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนสิงหาคม



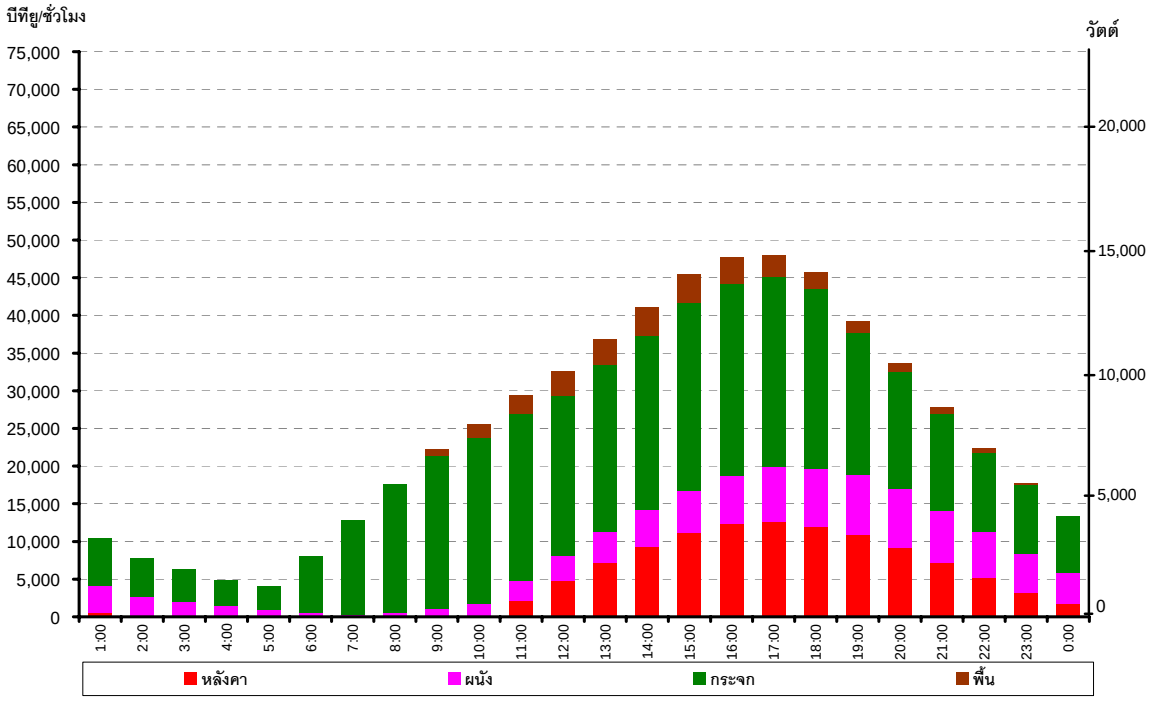
แผนภูมิที่ ข-51 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกันยายน



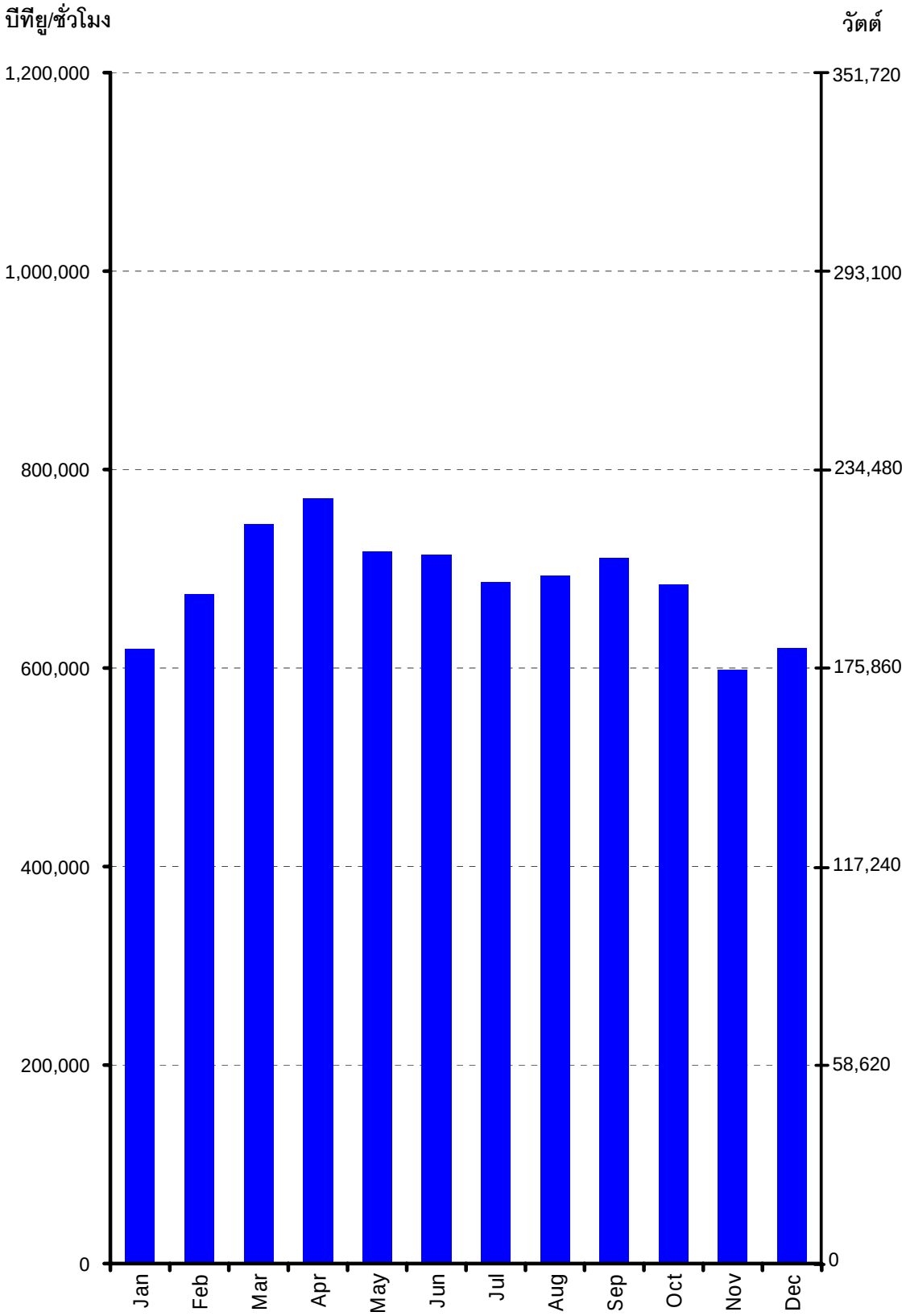
แผนภูมิที่ ข-52 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนตุลาคม



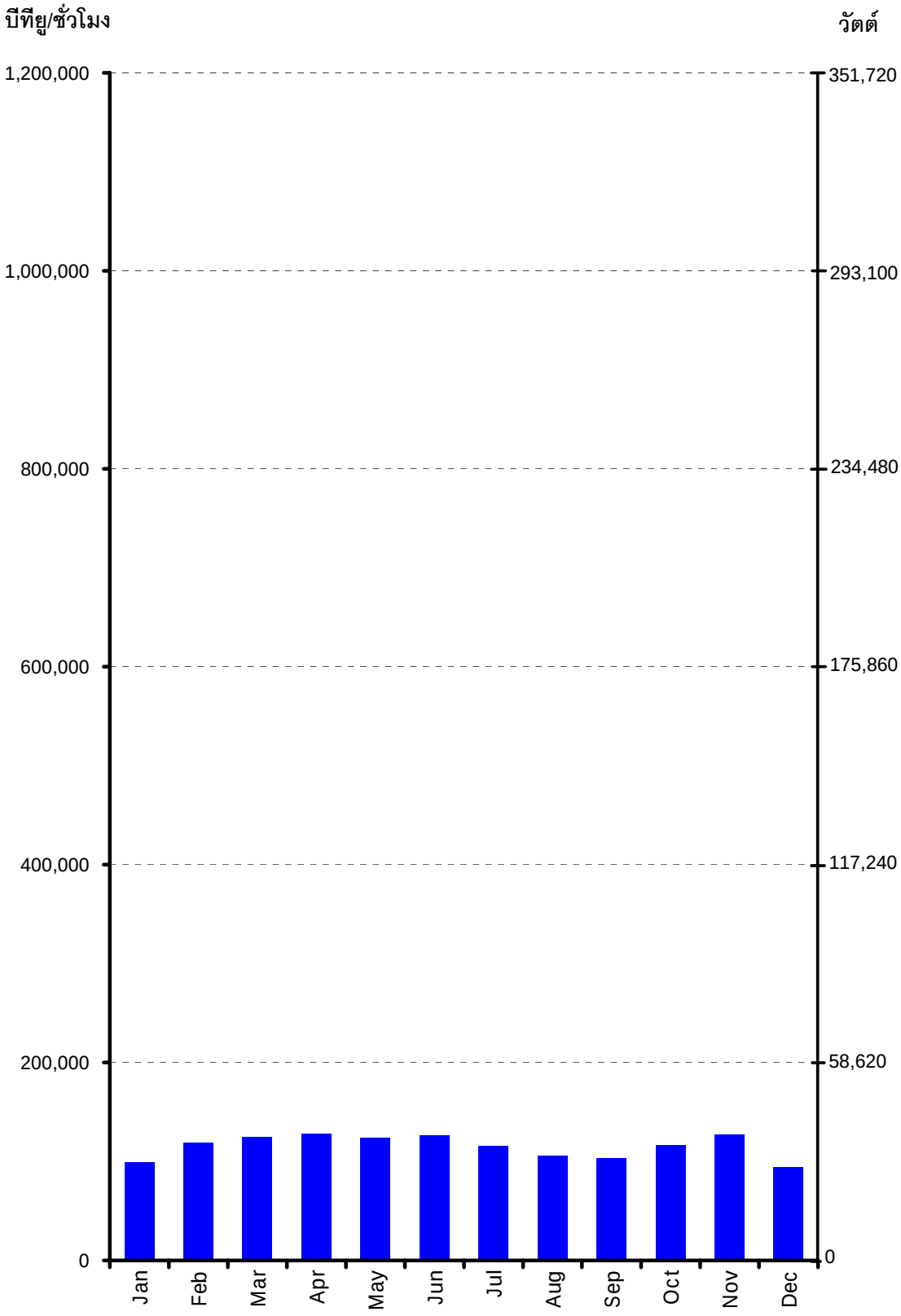
แผนภูมิที่ ข-53 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤศจิกายน



แผนภูมิที่ ข-54 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังโฟมคอนกรีตฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนธันวาคม

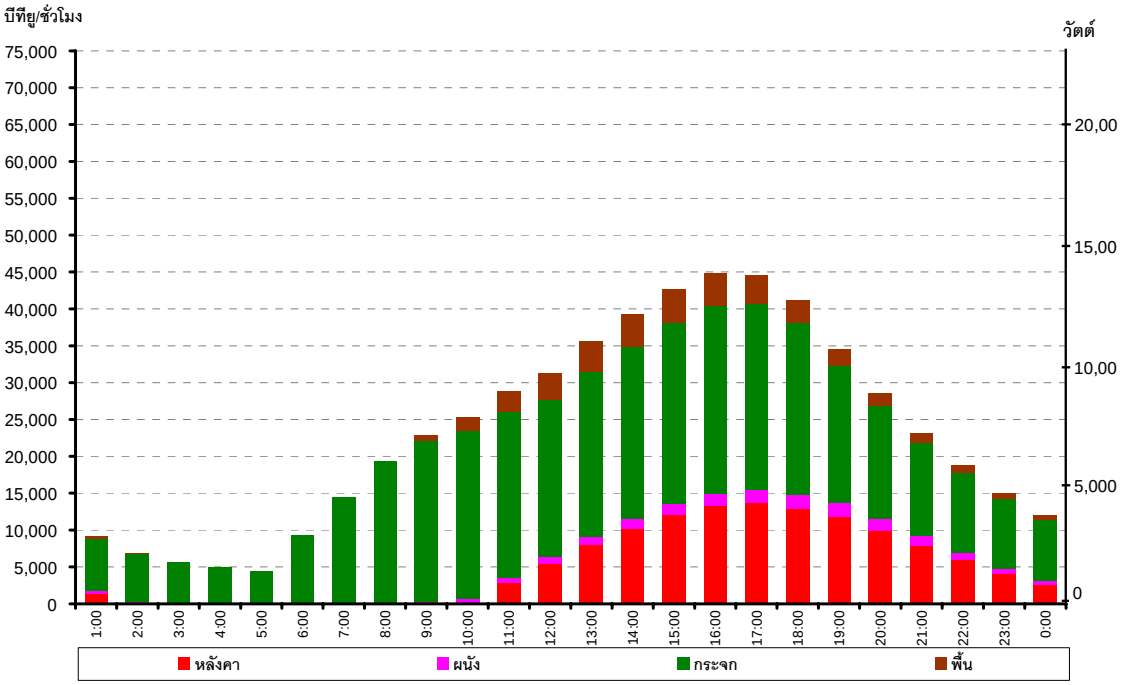


แผนภูมิที่ ข-55 แสดงภาระการทำความเย็นของอาคารผนังโฟมคอนกรีตหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

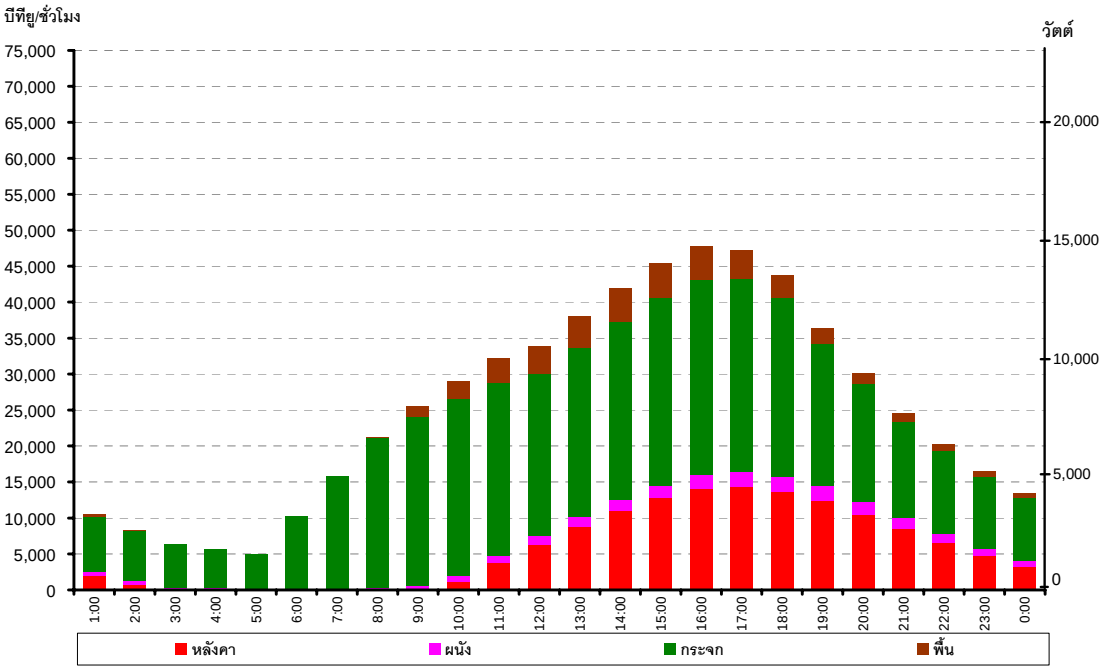


แผนภูมิที่ ข-56 แสดงภาระการทำความเย็นของผนังอาคารโฟมคอนกรีตหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

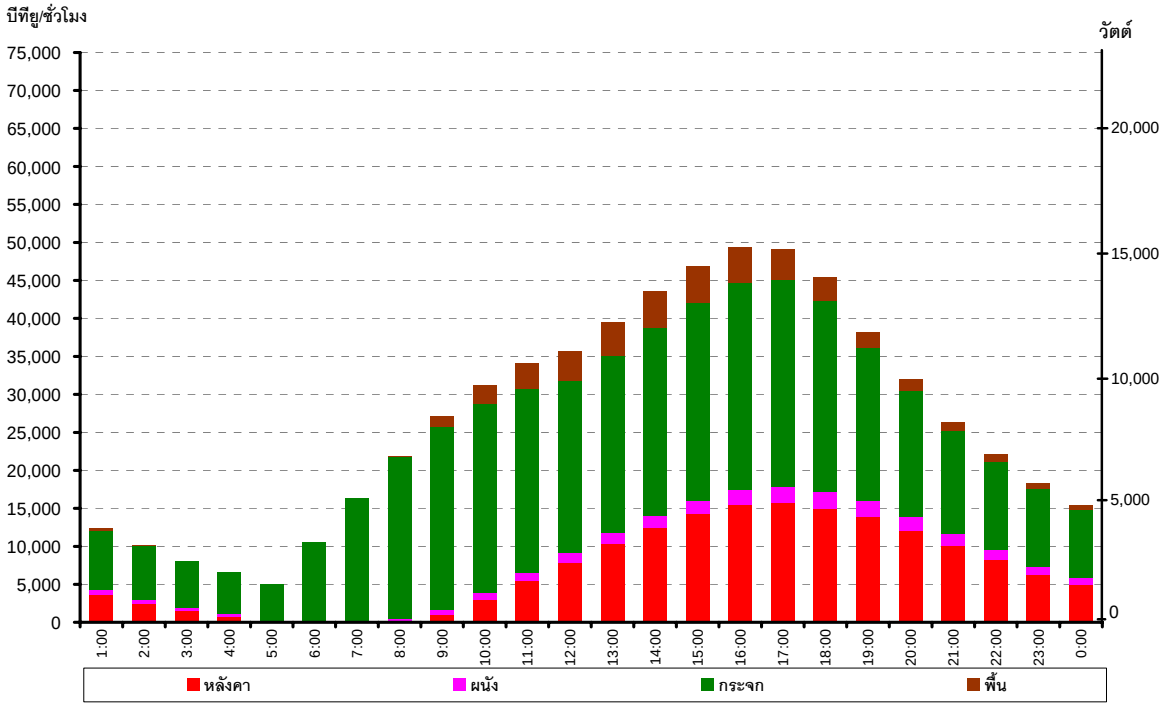
5) ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกโฟมหนา 4 นิ้ว



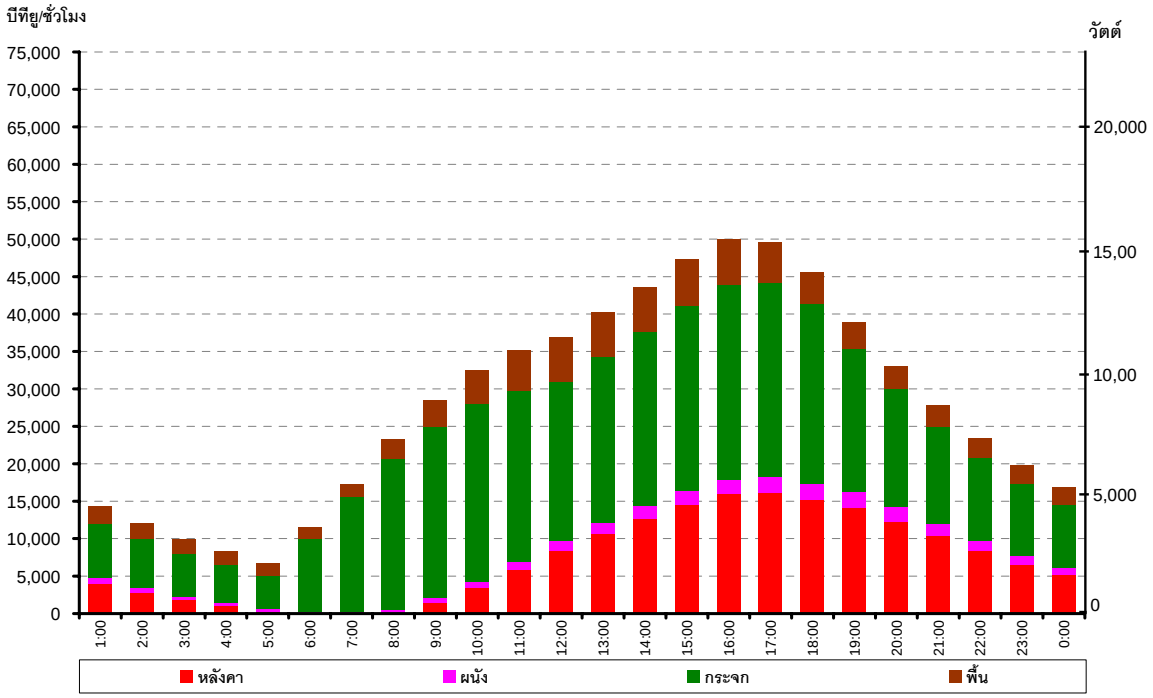
แผนภูมิที่ ข-57 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมกราคม



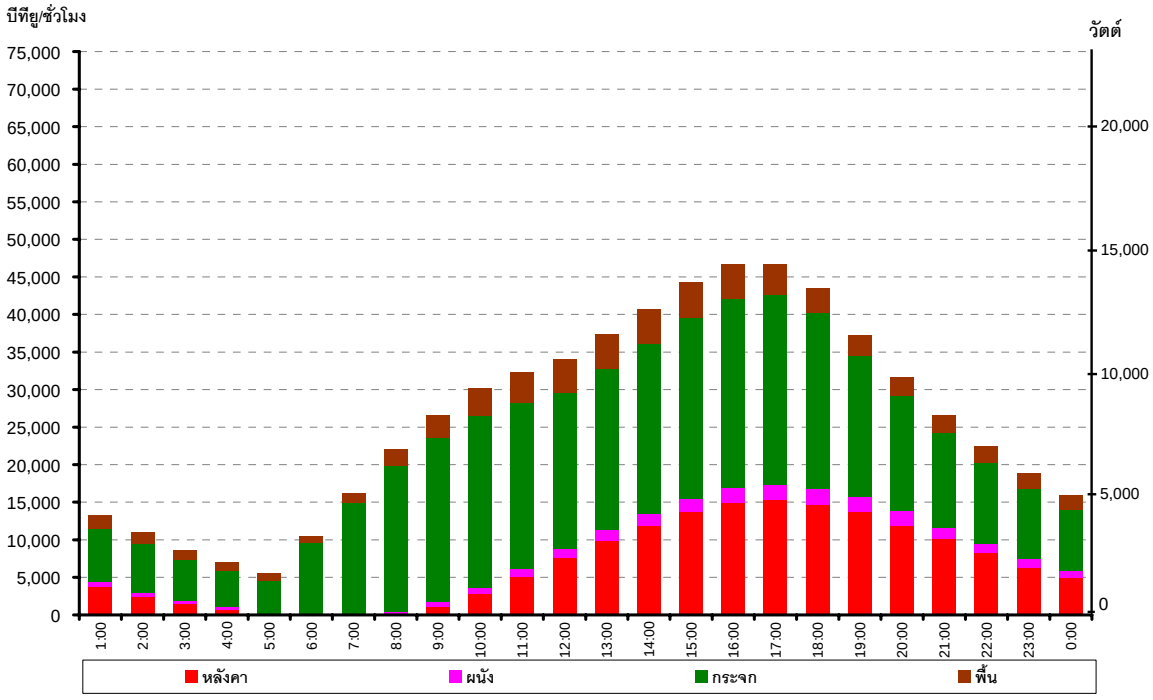
แผนภูมิที่ ข-58 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกุมภาพันธ์



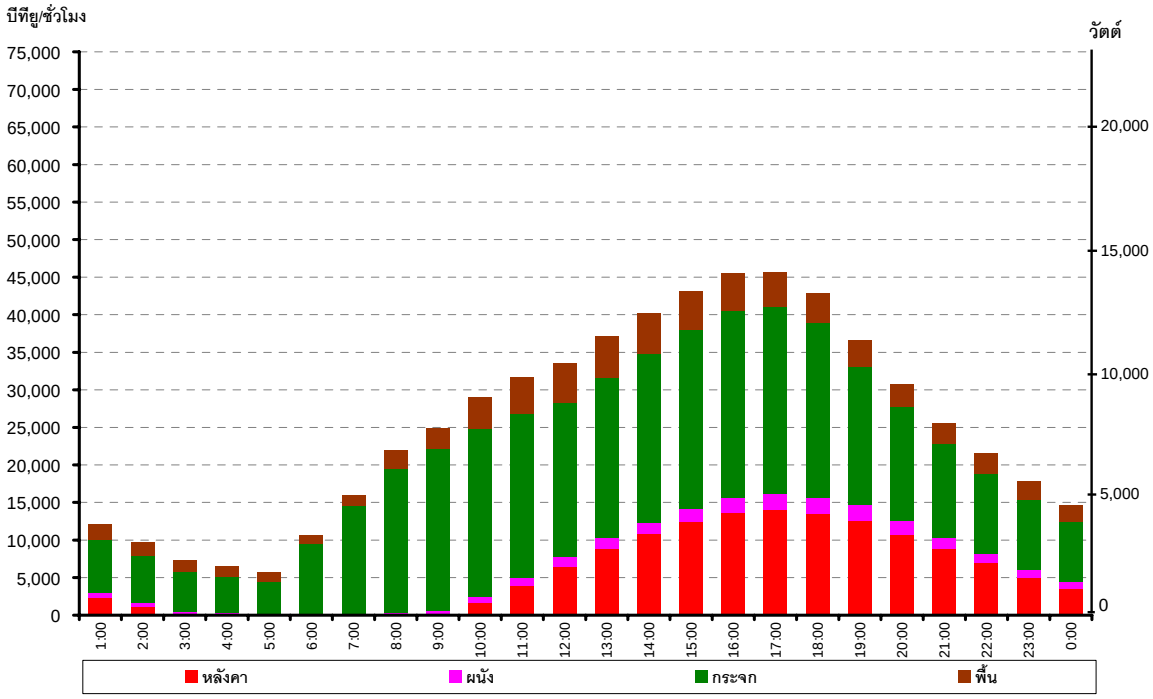
แผนภูมิที่ ข-59 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมีนาคม



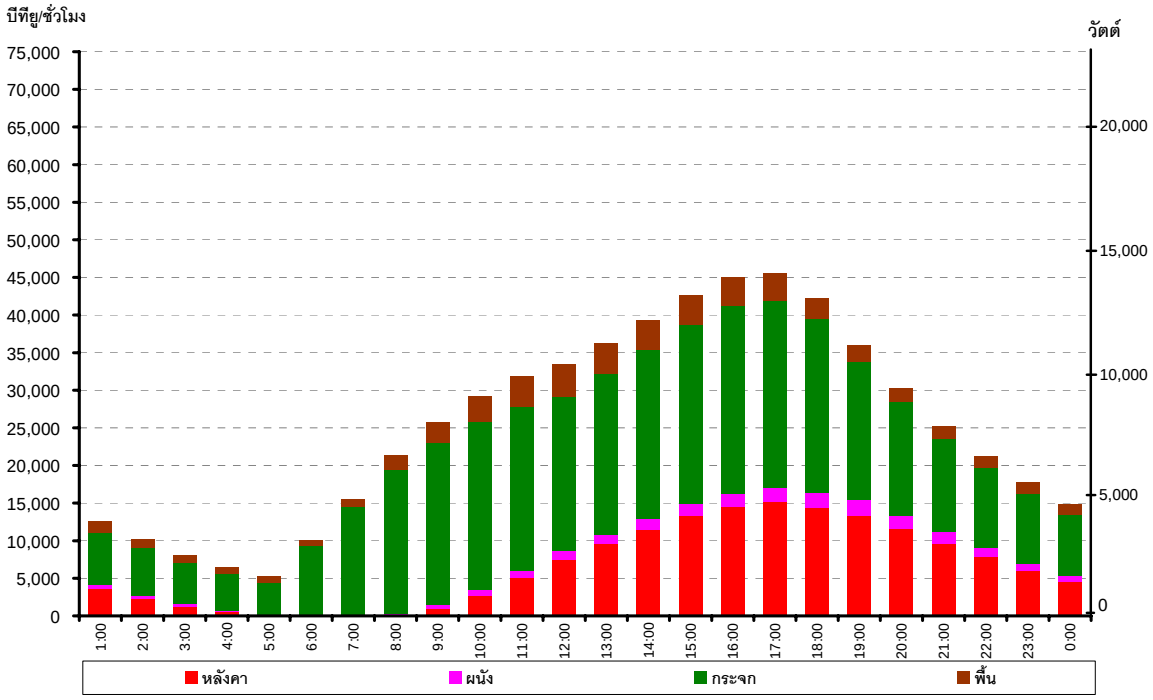
แผนภูมิที่ ข-60 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนเมษายน



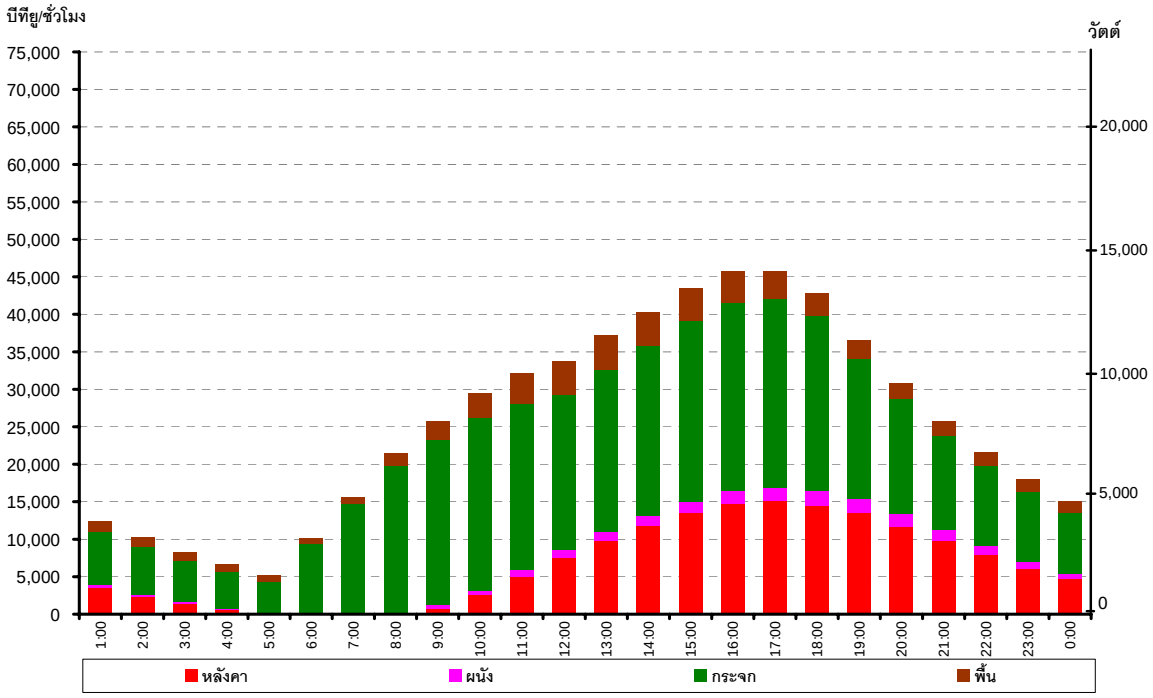
แผนภูมิที่ ข-61 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤษภาคม



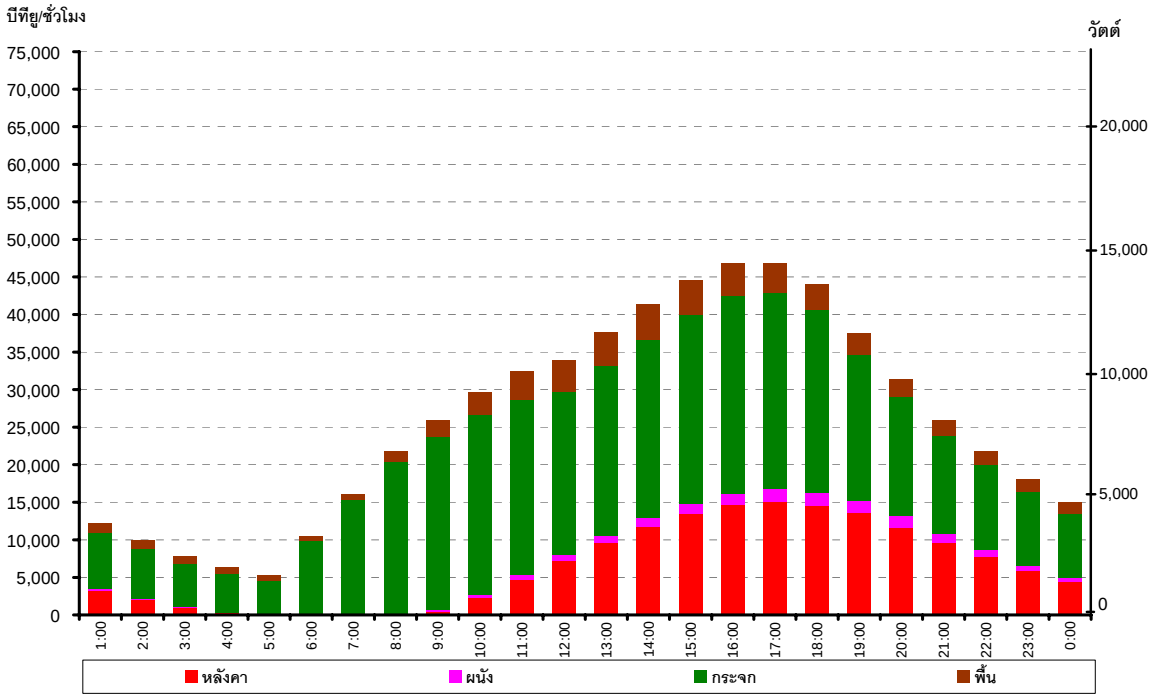
แผนภูมิที่ ข-62 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนมิถุนายน



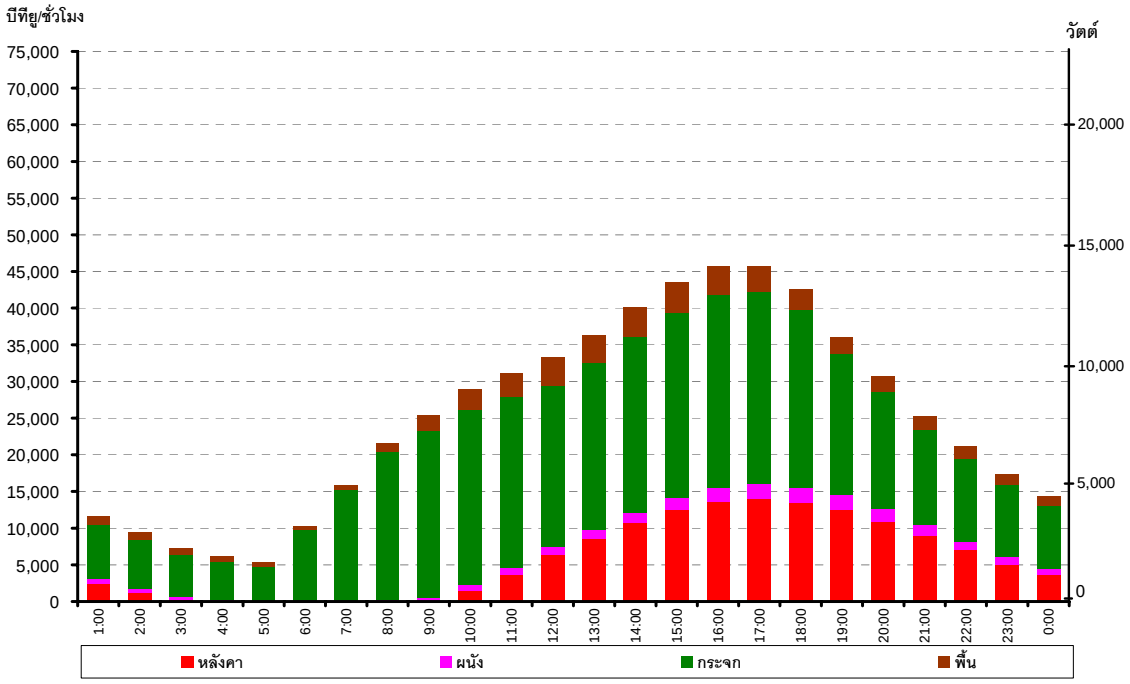
แผนภูมิที่ ข-63 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกรกฎาคม



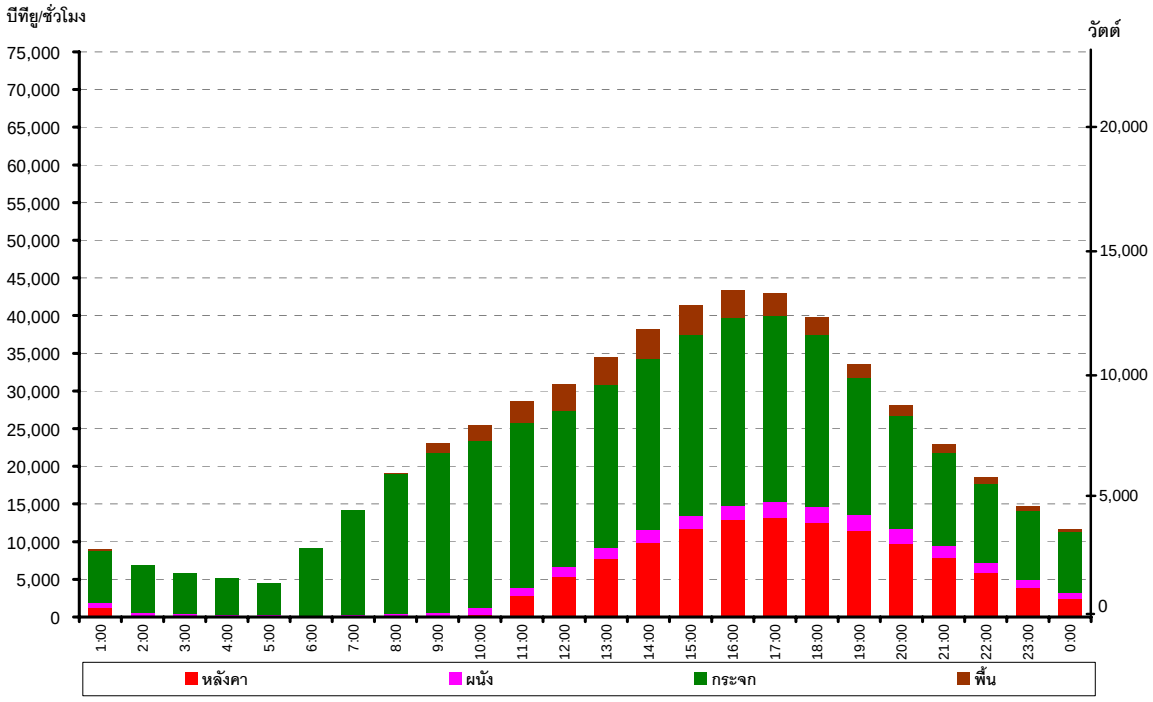
แผนภูมิที่ ข-64 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนสิงหาคม



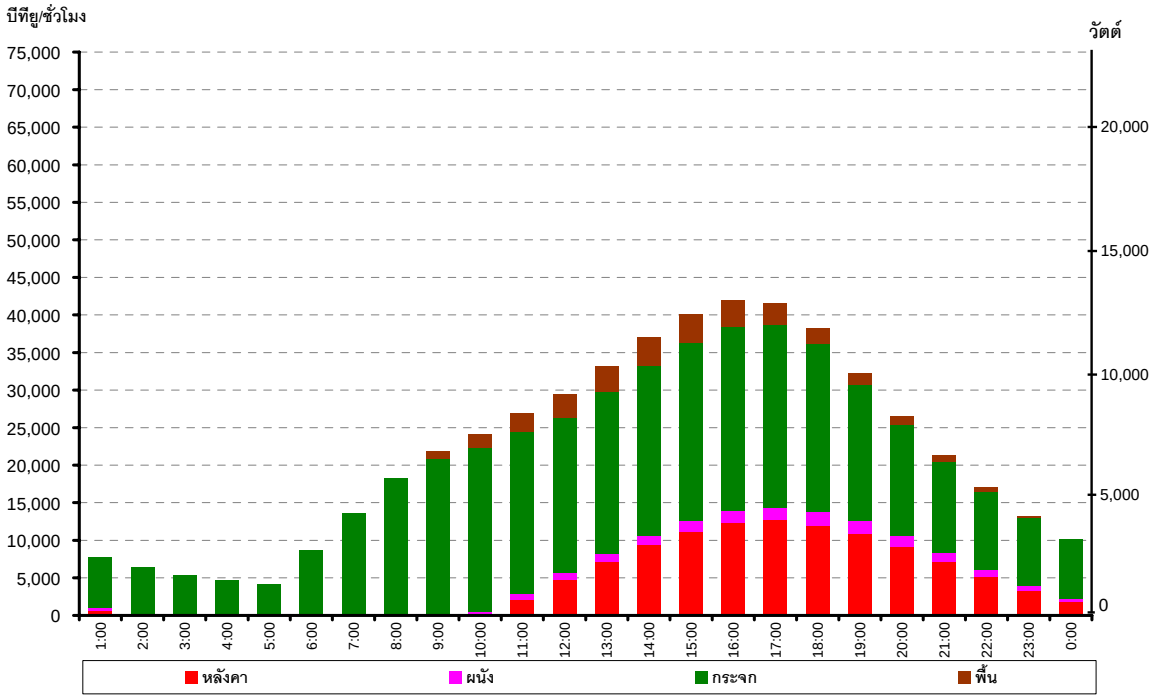
แผนภูมิที่ ข-65 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนกันยายน



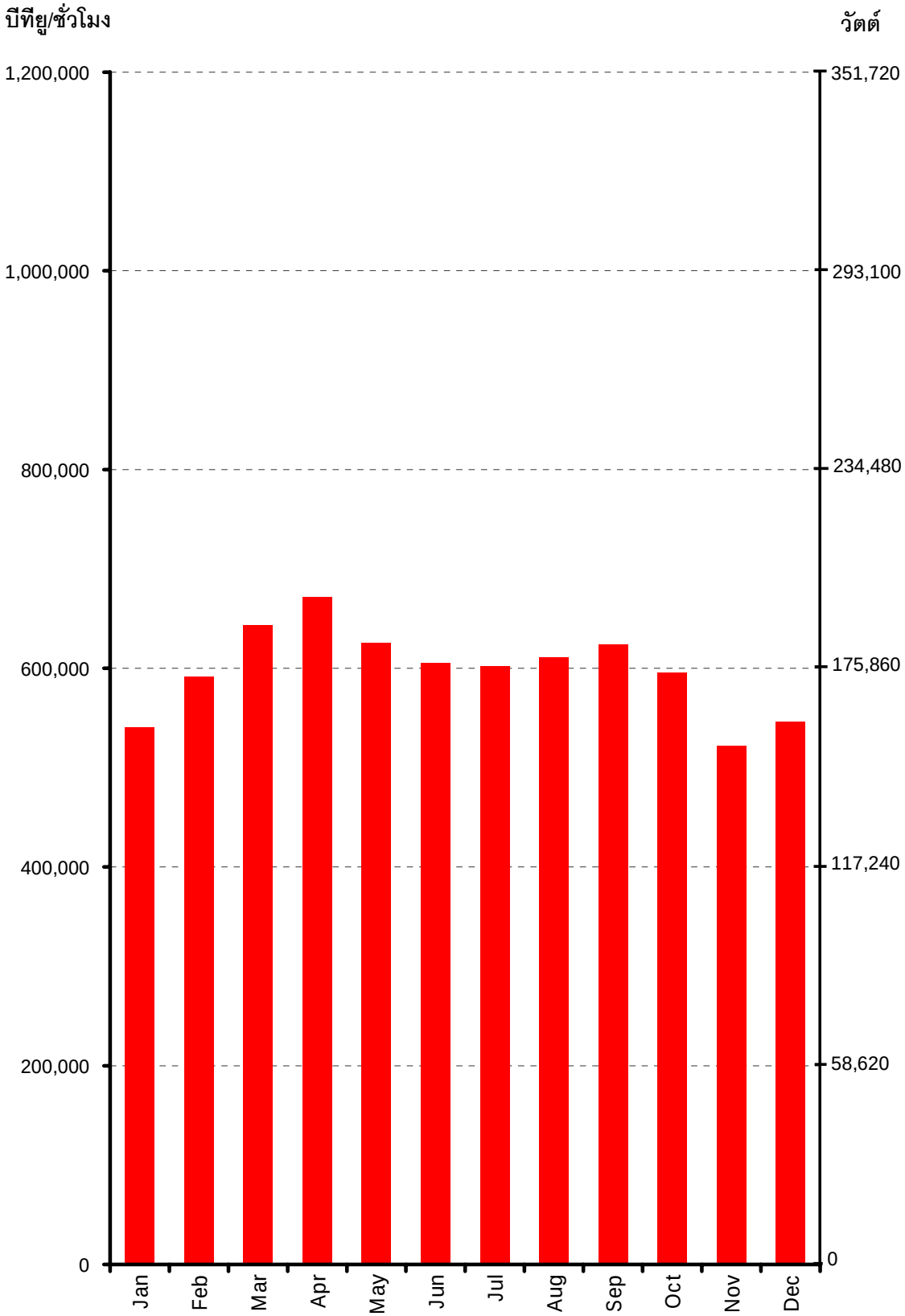
แผนภูมิที่ ข-66 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนตุลาคม



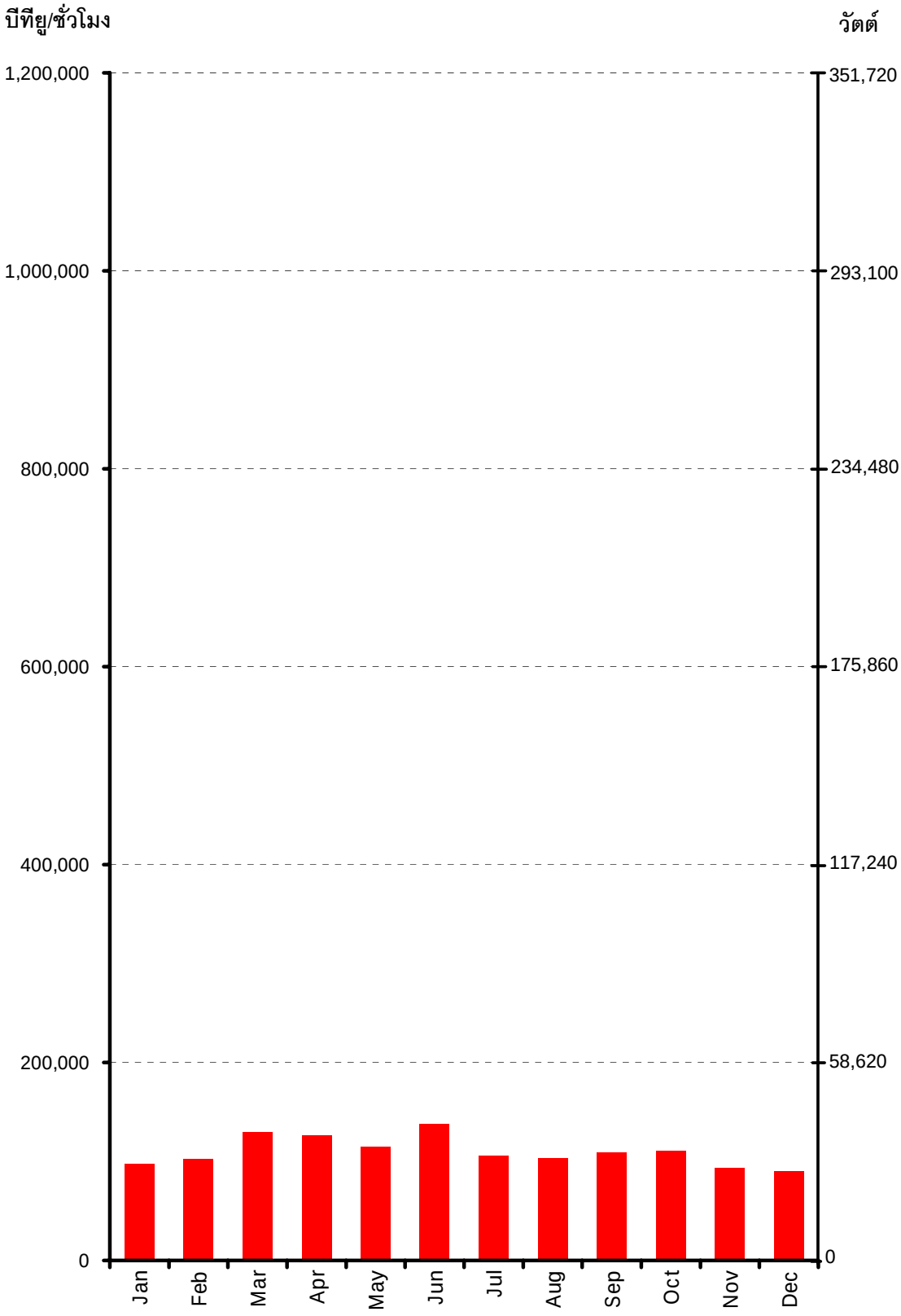
แผนภูมิที่ ข-67 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนพฤศจิกายน



แผนภูมิที่ ข-68 แสดงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว ใน 24 ชั่วโมง ของเดือนธันวาคม



แผนภูมิที่ ข-67 แสดงภาระการทำความเย็นของอาคารผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน



แผนภูมิที่ ข-68 แสดงภาระการทำความเย็นของผนังอาคารระบบฉนวนกันความร้อนหนา 4 นิ้ว เฉลี่ย 1 วันในแต่ละเดือน

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค-1 ตารางแสดงรายชื่อประเภทวัสดุและค่า Solar Transformity ที่ใช้ในการคำนวณ (Buranakarn, 1998, Table A-1)

ประเภท	ข้อมูล	Solar Transformity		หมายเหตุ (Reference sources)
		(sej/g)	(sej/J)	
วัตถุ	ส่วนผสมของคอนกรีต (Aggregate)	1.00E+09		(Odum et al., 1995, p. 4-4, 4-5)
	หินแร่ในอลูมิเนียม	8.55E+08		(Odum, 1996, p.187)
	หินซีเมนต์	1.00E+09		
	ดินเหนียว	2.00E+09		(Odum, 1996, p.310)
	หินปะการัง	1.00E+09		
	ยิปซั่ม	1.00E+09		(Brown and McClanahan, 1992, Table 2, p.22)
	หินปูน	6.70E+06		(Odum et al., 1995, p. 4-4, 4-5)
		1.00E+09		(Odum, 1996, p.310)
	ทราย	1.00E+09		(Odum, 1996, p.310)
	หินดินดาน (Shale)	1.00E+09		(Odum, 1996, p.310)
	น้ำ		4.80E+04	(Odum, 1996, p.120)
	สังกะสี หรือ ทองแดง	6.80E+10		(Brown et al., 1992, Table A1)
เชื้อเพลิงและพลังงาน	ถ่านหิน		4.00E+04	(Odum, 1996, p.310)
	น้ำมันดิบ	2.01E+09	5.30E+04	(Odum, 1996, p.186)
	ไฟฟ้า		1.74E+05	(Odum, 1996, p.305)
	เชื้อเพลิงเหลว (ขยะ)		6.60E+04	ใช้ เชื้อเพลิง
	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)		7.00E+04	(Odum et al., 1983, Table 14.1, p. 276-282)
	ก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซปิโตรเลียม		4.80E+04	(Odum, 1996, p.308)
	น้ำมัน, เบนซิน, เชื้อเพลิง		6.60E+04	(Odum, 1996, p.308)
	ก๊าซออกซิเจน	1.00E+09		
	ไอน้ำ		5.02E+04	(Buranakarn, 1998, Table A-1)

ประเภท	ข้อมูล	Solar Transformity		หมายเหตุ (Reference sources)
		(sej/g)	(sej/J)	
การขนส่ง	รถบรรทุก	9.65E+11 sej/ton-mile		(Buranakarn, 1998, Table E-1)
		6.61E+11 sej/tonne-kilometer		(Buranakarn, 1998, Table E-1)
		7.55E+10	1.20E+06	(McGrance, 1994, p. 24)
	รถไฟ (Class I)	5.07E+10 sej/ton-mile		(Buranakarn, 1998, Table E-2)
		3.47E+10 sej/tonne-kilometer		(Buranakarn, 1998, Table E-2)
		4.55E+09	8.70E+06	(McGrance, 1994, p. 40)
		3.07E+10 sej/ton-mile		Updated (Bayley et al., 1977)
	เรือ (US domestic)	1.17E+11 sej/ton-mile		(Buranakarn, 1998, Table E-3)
		7.99E+10 sej/tonne-kilometer		(Buranakarn, 1998, Table E-3)
		7.55E+10 sej/ton-mile		Updated (Bayley et al., 1977)
เครื่องจักรและวัสดุอุปกรณ์	เครื่องจักร	6.70E+09		(Odum et al., 1987b, Table 1, p. 4-5)
	แท่งอลูมิเนียม	1.63E+10		(Odum et al., 1995, p. B-2; Odum et al., 1983, Table 3.1, p. 40-45)
	ปุ๋ยแอมโมเนีย	3.80E+09	1.86E+06	(Odum, 1996, p.310)
	ซีเมนต์	2.31E+09		Updated (Haukoos, 1995, Table A-13, p. 172) w/o service
	สารเคมี	3.80E+08		(Brown et al., 1992, Table A1)
	ผลิตภัณฑ์ทางเคมี		3.45E+04	(Odum et al., 1983, Table 11.1, p. 207-215)
	บล็อคคอนกรีต	1.35E+09		(Haukoos, 1995, Table A-15, p. 177-179) w/ services
	โลหะผสมทองแดงและสังกะสี (MSW)	6.77E+10		(Odum et al., 1987, p. 159)
	วัตถุระเบิด (เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท)	3.80E+09	1.86E+06	ใช้ปุ๋ยแอมโมเนีย (Odum, 1996, p.310)
	โลหะเหล็ก (MSW)	9.18E+08		(Odum et al., 1987a, p.159)

ประเภท	ข้อมูล	Solar Transformity		หมายเหตุ (Reference sources)
		(sej/g)	(sej/J)	
	ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์บอร์ด (1972)	1.84E+09	1.12E+05	Updated (Haukoos, 1995, Table A-7, p. 157-158) w/o service
		2.40E+09	1.58E+05	Updated (Haukoos, 1995, Table A-7, p. 157-158) w/o service
	กระจกแผ่นเรียบ	4.74E+09		Updated (Haukoos, 1995, Table A-16, p. 180-182) w/ service
	อาหาร		2.00E+06	(Brown et al., 1992, Table C-7)
	เศษอาหาร (MSW)		1.80E+06	(Odum et al., 1987a, p.159)
	แก้ว (MSW)	8.44E+08		(Odum et al., 1987a, p.159)
	กาวและสารยึดติด	3.80E+08		ใช้สารเคมี
	ผลิตภัณฑ์ไม้อัด (Split products)	1.92E+09	1.27E+05	Updated (Haukoos, 1995, Table A-9, p. 161-162) w/o services
	แร่เหล็ก	8.60E+08		(Odum, 1986 p.186)
	กระดาษ		1.42E+05	(Keller, 1992, p.116)
	ผลิตภัณฑ์พาร์ติเคิลบอร์ด (1972)	1.57E+09	1.04E+05	Updated (Haukoos, 1995, Table A-6, p. 155-156) w/o services
		2.05E+09	1.36E+05	Updated (Haukoos, 1995, Table A-6, p. 155-156) w/ services
	พลาสติก (MSW)	3.80E+08		(Odum et al., 1987a, p.159)
	ปุ๋ยโพแทสเซียม (MSW)	1.10E+09	3.00E+06	(Odum, 1996, p.310)
	ยาง		2.10E+04	(Odum et al., 1983, Tble 3.1, p.40-45)
	ยาง (MSW)	4.30E+09		(Odum et al., 1987a, p.159)
	เกลือแกง	1.10E+09		ใช้ปุ๋ยโพแทสเซียม
	ไม้เนื้ออ่อน, ไม้อัด และอื่นๆ (Split products)	1.63E+09	1.08E+05	Updated (Haukoos, 1995, Table A-4a, p. 147-148) w/o services
	เหล็ก	1.78E+09		(Odum, 1996, p.186)
	สิ่งทอ (MSW)		3.80E+06	(Odum et al., 1987a, p.159)
	ยางรถยนต์ (MSW)		2.10E+04	ใช้ยาง (Rubber)\
	Wood chips		1.56E+04	(Doherty, 1995, p.145)

ประเภท	ข้อมูล	Solar Transformity		หมายเหตุ (Reference sources)
		(sej/g)	(sej/J)	
	Wood harvested		8.01E+03	(Odum, 1996, p.80)
	Yard-wood trimmings (MSW)		4.30E+03	(Odum et al., 1987a, p.159)
การบริการ	คนงาน (primitive)		8.10E+04	(Odum, 1996, p.68)
	คนงาน (1983)			(Odum, 1996, Table D.1, p.314)
	คนงาน (1993)			(Odum, 1996, Table D.1, p.314)

ภาคผนวก ค-2 ตารางแสดงรายชื่อประเภทวัสดุและค่า Solar Transformity ที่ใช้ในการคำนวณ (Buranakarn, 1998, Table A-2)

ประเภท	ข้อมูล	Solar Transformity			
		with services (sej/g)	without services (sej/g)	with services (sej/J)	without services (sej/J)
วัสดุอาคาร	ซีเมนต์ผสมขี้เถ้าลอย (byproduct)	2.20E+09	2.19E+09		
	ซีเมนต์ไม่ผสมขี้เถ้าลอย (conventional)	1.98E+09	1.97E+09		
	คอนกรีตผสมเสร็จ (conventional)	1.44E+09	1.44E+09		
	คอนกรีตผสมเสร็จผสมขี้เถ้าลอย (byproduct)	1.55E+09	1.54E+09		
	คอนกรีตผสมเสร็จ (1982) น้ำหนักเปียก	6.22E+07	6.06E+07		
	คอนกรีตผสมเสร็จ (1982) น้ำหนักแห้ง	1.26E+09	1.23E+09		
	คอนกรีตบดละเอียด	4.82E+09	4.82E+09		
	ขี้เถ้าลอย	1.40E+10			
	อิฐ (conventional)	2.22E+09	2.19E+09		
	Brick and stuctural Clay Tile (1977)	2.32E+09	2.23E+09		
	แร่เหล็ก (1975)		1.22E+09		8.61E+07
	แร่เหล็กลูกกลม (1975)		1.48E+09		2.13E+06
	แร่เหล็ก Sinter (1975)		1.99E+09		2.86E+06
	กากแร่ (1996)	7.06E+09	6.61E+09	1.01E+07	9.50E+06
	เหล็กกล้า, ขบวนการEAF (conventional)	4.15E+09	4.10E+09		

ประเภท	ข้อมูล	Solar Transformity			
		with services (sej/g)	without services (sej/g)	with services (sej/J)	without services (sej/J)
	เหล็กกล้า, ขบวนการEAF (material recycle)	4.41E+09	4.37E+09		
	เหล็กกล้า, ขบวนการBOF (conventional)	5.35E+09	5.31E+09		
	เหล็กกล้า, ขบวนการBOF (material recycle)	5.35E+09	5.31E+09	7.69E+06	7.62E+06
	อลูมิเนียมเบื้องต้น (ingots)	1.17E+10	1.14E+10	1.79E+08	1.75E+08
	อลูมิเนียมลูกกลม	6.93E+10	6.77E+10	1.06E+09	1.04E+09
	อลูมิเนียมแผ่น (conventional)	1.27E+10	1.27E+10		
	ไม้เนื้ออ่อนอัดแผ่น	1.21E+09	1.12E+09	5.77E+04	5.33E+04
	ไม้เนื้ออ่อนอัดแผ่นบาง	1.21E+09	1.12E+09	5.77E+04	5.33E+04
	ไม้เนื้อแข็งอัดแผ่น	1.44E+09	1.12E+09	6.90E+04	6.00E+04
	ไม้เนื้อแข็งอัดแผ่นบาง	1.44E+09	1.12E+09	6.90E+04	6.00E+04
	ท่อนไม้	8.79E+08	8.33E+08	4.20E+04	3.98E+04
	เศษไม้	8.79E+08	8.33E+08	4.20E+04	3.98E+04
	ไม้ทำพื้นและบานเลื่อน	8.79E+08	8.33E+08	4.20E+04	3.98E+04
	Composite plywood with byproduct wood shaved	1.64E+09	1.49E+09		
	พื้นไวนิล (PVC)	6.32E+09	6.02E+09	1.94E+05	1.85E+05
	ท่อนพลาสติก (HDPE) (conventional)	5.75E+09	5.04E+09		
	ท่อนพลาสติก (HDPE) (adaptive reuse)	6.33E+09	5.61E+09	1.95E+05	1.73E+05
	พลาสติก (USA)	3.28E+09	3.15E+09	1.01E+05	9.69E+04
	พลาสติก (Europe)		5.76E+09		1.77E+05

ประเภท	ข้อมูล	Solar Transformity			
		with services (sej/g)	without services (sej/g)	with services (sej/J)	without services (sej/J)
	โพลีเอทีลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)		5.27E+09		1.62E+05
	โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)		5.87E+09		1.80E+05
	กระจกแผ่นเรียบ	1.90E+09	1.60E+09	1.37E+07	1.15E+07
	แผ่นกระเบื้องปูพื้น	3.06E+09	2.86E+09		
	Float glass	7.87E+09	7.68E+09		
	การรื้อถอน	4.70E+09	4.68E+09		
		5.28E+14	sej/sq.ft.		
			5.26E+14	sej/sq.ft.	
		1.85E+16	sej/sq.m.		
			1.84E+16	sej/sq.m.	
	ตึกสร้างแล้วเสร็จ	4.58E+09	3.00E+09		
		1.64E+14	1.07E+14		
		sej/sq.ft.	sej/sq.ft.		
		1.82E+15	1.19E+15		
		sej/sq.m.	sej/sq.m.		
	การทาสี	1.52E+10	1.51E+10		
	เฟอร์นิเจอร์ไม้	4.69E+09	2.89E+09	2.24E+05	1.38E+05

ภาคผนวก ค-3 ตารางแสดงการคำนวณการขนส่งของวัสดุผนัง 5 ชนิดต่อพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร

วัสดุ	**ระยะทาง (กม.)**	**ขนส่ง (เที่ยว)**	**อัตราสิ้นเปลื้อง (กม./ลิตร)**	**ค่าความร้อนน้ำมันดีเซล (จูล/ลิตร)***	**จูล**
ผนังอิฐมอญ	50	28	6	36,420,000	8.50E+09
ผนังซีเมนต์บล็อก	50	25	6	36,420,000	7.59E+09
ผนังคอนกรีตมวลเบา	50	8	6	36,420,000	2.43E+09
ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต	50	13	6	36,420,000	3.95E+09
ผนัง EIFS	50	8	6	36,420,000	2.43E+09

* ค่าความร้อนน้ำมันดีเซล 1 ลิตร = 36,420,000 จูล ,(รายงานพลังงานของประเทศไทย, 2548)

ภาคผนวก ค-4 ตารางแสดงการคำนวนแรงงานการก่อสร้างผนังวัสดุทึบทั้ง 5 ชนิดต่อพื้นที่ 159.31 ตารางเมตร

วัสดุ	แรงงานชาย (คน)	ต้องการพลังงาน (กิโลแคลอรี่/วัน)*	ก่อผนังได้ (ตร.ม./8ชม.)	ค่าพลังงาน (จูล/แคลอรี่)**	จูล
ผนังอิฐมอญ	1	3000	6	4.18	1.11E+08
ผนังซีเมนต์บล็อก	1	3000	9	4.18	7.40E+07
ผนังคอนกรีตมวลเบา	1	3000	18	4.18	3.70E+07
ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต	1	3000	6	4.18	3.70E+07
ผนัง EIFS	1	3000	6	4.18	2.66E+07

* (Buranakarn,1998, Table E-2 p.241)

** (Boyle, A.,M. 2007, p. 6)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

น.ส.อัจฉรียา ชัยยะสมุทร เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 26 สิงหาคม พ.ศ.2525 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2 และเข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษา ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี เมื่อปีพ.ศ. 2543 และจบการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิตเมื่อ พ.ศ. 2547 ในปี พ.ศ. 2549 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย