

การปรับปรุงอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ
เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก



นางสาวฐิติมา โอฟารีบุตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BUILDING RETROFITTING OF UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM: UNEP
FOR REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSION



Miss Thitima Olarikabutr

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่ง

สหประชาชาติเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

โดย

นางสาว ฐิติมา ไชยศิริบุตร

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

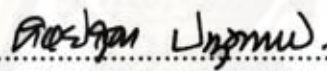
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

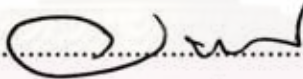
รองศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ บุรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต


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

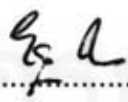
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์)


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


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ยุวรี อินนา)

ฐิติมา โอฟาริกบุตร: การปรับปรุงอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก. (BUILDING RETROFITTING OF UNITED NATIONS FOR ENVIRONMENT PROGRAM: UNEP FOR REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ นูรณากาญจน์, 221 หน้า.

การปรับปรุงอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีนโยบายเร่งด่วนของเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 50% ซึ่งอาคารเดิมมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 618 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี พลังงานไฟฟ้า 60% (371 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี) ใช้เพื่อการทำความเย็น

การวิจัยทำการศึกษาในประเด็นพลังงานและความคุ้มค่า โดยวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นใน 4 กลุ่มตัวแปรหลัก คือ สัดส่วนเปลือกอาคาร วัสดุเปลือกอาคาร ระบบปรับอากาศและสภาพแวดล้อม โดยปรับปรุงอาคาร 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 เปลือกอาคารส่วนทึบแสง โดยติดตั้งฉนวนโฟมชนิดกันไฟลาม (EIFS) หนา 4" ภายนอกอาคาร ในอัตราส่วนพื้นที่ 13% ของเปลือกอาคาร มีค่า U-value 0.05 Btu/hr.ft².°F ฉนวนไฟเบอร์กลาสหนา 9" บนฝ้าเพดานในอัตราส่วนพื้นที่ 43% ของเปลือกอาคาร มีค่า U-value 0.03 Btu/hr.ft².°F PU โฟมหนา 1½" บนพื้นคอนกรีตในอัตราส่วนพื้นที่ 41% ของเปลือกอาคาร มีค่า U-value 0.12 Btu/hr.ft².°F ระยะที่ 2 ส่วนกระจกช่องแสงและระบบปรับอากาศ โดยติดตั้งกระจกฮีทสติอป 3 ชั้นแนวช่องแสงเดิมในอัตราส่วนพื้นที่ 3% ของเปลือกอาคาร มีค่า U-value 0.19 Btu/hr.ft².°F และระบบปรับอากาศที่มีค่า COP 3.45 และให้ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมคงที่

ผลการศึกษาวิจัยพบว่าการออกแบบปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 สามารถลดพลังงานในการทำ ความเย็นลง 142 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ลดการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ 78 กิโลกรัมต่อตาราง เมตรต่อปี (13%) ในราคาลงทุน 3,871 บาทต่อตารางเมตร มีระยะเวลาคืนทุน 7 ปี การปรับปรุงอาคาร ระยะที่ 2 สามารถลดพลังงานในการทำ ความเย็นลง 475 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ลดการ ปลดปล่อยก๊าซ CO₂ 261 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี (87%) ในราคาลงทุน 5,395 บาทต่อตารางเมตร ในระยะเวลาคืนทุน 3 ปี และเนื่องจากการแผ่รังสีเฉลี่ยจากสภาพแวดล้อมและการรั่วซึมลดลง พบว่า ผู้ใช้อาคารมีความรู้สึกสบายมากขึ้น ซึ่งอ้างอิงได้จากขอบเขตภาวะน่าสบายของมนุษย์และมาตรฐาน ระดับ CO₂ ภายในพื้นที่ปรับอากาศ

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....
สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม.....
ปีการศึกษา.....2552.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

507 41735 25 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: KEYWORDS: BUILDING RETROFIT / CO₂ EMISSION / ENERGY CONSUMPTION

THITIMA OLARIKABUTR: BUILDING RETROFITTING OF UNITED NATION

ENVIRONMENT PROGRAM: UNEP FOR REDUCING GREENHOUSE GAS

EMISSION. THESIS ADVISOR: ASSOCIATE PROFESSOR VORASUN

BURANAKARN PH.D., 221 pp.

A decision to retrofit the United Nations Environment Program office to reduce greenhouse gas emission by 50% was recently announced. In its existing condition, electricity consumption was measured at 618 kWh/m².yr, of which 60 % (371 kWh/m².yr) was consumed by cooling energy.

The research studied energy and cost efficiency by analyzing four significant variables on cooling load: building form, building materials, installed equipment and the microclimate. The study was divided into two phases: Phase 1 was concerned with renovation of opaque envelopes by installing 4" of fire-spread protection foam insulation (EIFS) on external walls (13% of total envelop), with a total U-value of 0.05 Btu/hr.ft².°F. The refit also involved installing 9" thick fiberglass insulation on ceilings (43% of total envelop) with a total U-value of 0.03 Btu/hr.ft².°F, and 1½" thick PU foam on concrete floors (41% of total envelop) with total U-value of 0.12 Btu/hr.ft².°F. Phase 2 involved installing triple heat-stop glass (3% of total envelop) with a total U-value of 0.19 Btu/hr.ft².°F and a COP 3.45 air conditioning system. Microclimate was determined by constant variables.

The research found that Phase 1 of the renovation reduced the cooling load energy by 142 whr/m².yr and CO₂ emissions by 78 kgCO₂/m².yr (13%), at an investment cost of 3,871 baht/m² and giving a 7-year period of return. Phase 2 reduced cooling load energy by 475 whr/m².yr and CO₂ emissions by 261 kgCO₂/yr (87%), requiring an investment of 5,395 baht/m² with a 3-year period of return. Due to the reduction of Mean Radiant Temperature (MRT) and infiltration, occupants are perceptibly more comfortable in air-conditioned areas referring to bioclimatic standard and CO₂ standard level

Department:..... Architecture..... Student's signature.....
Field of study:..... Architecture..... Advisor signature.....
Academic year:..... 2009..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร.วรสันต์ บุรณากาญจน์ และ ศ.ดร.สุนทร บุญญาทิการ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ แง่คิด ตลอดจนแนวทางการทำงานของนักวิจัยที่ถูกต้อง โดยทุกอย่างอยู่บนพื้นฐานของหลักเหตุและผล ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของจิตวิญญาณความเป็นนักวิจัย รวมถึงขอขอบคุณสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติที่เชื้อเพื่อสถานที่ทำการวิจัย และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียที่เชื้อเพื่อข้อมูลเบื้องต้น ตลอดจนผู้จัดทำรายงานการวิจัย เอกสารอ้างอิง ที่กล่าวถึงในการวิจัยชิ้นนี้เนื่องจากเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญของแนวเหตุการณ์วิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย

ขอขอบคุณ Mr. Jacob Kurian, Mr. Marco Silvestri, และ Mr. Rajendra Shresta ในการสนับสนุนและช่วยเหลือด้านการสำรวจข้อมูล และการติดต่อประสานงานของสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

ขอขอบคุณ Dr. Hoang Le Tien และ Prof. Dr. Said Irandous ที่สนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ศึกษาต่อระดับปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในขณะที่ผู้วิจัยรับตำแหน่งผู้จัดการแผนกวิศวกรรมอาคารและงานระบบ ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

งานวิจัยฉบับนี้จะไม่อาจสำเร็จได้หากปราศจากการสนับสนุนจากบิดา มารดา ที่ได้ให้ความสนับสนุน ความห่วงใย ความเข้าใจ ที่เป็นแรงหนุนในการทำการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนที่ให้กำลังใจ และขอขอบคุณทุกๆ คนที่มีส่วนร่วมในการวิจัยและที่ผ่านเข้ามาในงานวิจัยชิ้นนี้

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	3
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Factors)	7
2.1.1 ที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศ (Site and Climate).....	7
2.1.2 ตัวอาคารและระบบของอาคาร (Building and Systems)	7
2.1.3 ผู้ใช้อาคารและการใช้งาน (Users and Operation)	8
2.2 ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศภายนอกอาคาร	8
2.2.1 การวิเคราะห์สภาพอากาศที่ใช้ประกอบการคำนวณ.....	8
2.2.2 การวิเคราะห์ค่าเอนทัลปีของสภาพอากาศ	8
2.2.3 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกของ CLTD.....	13
2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นของอาคารปรับอากาศ.....	13
2.3.1 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับเปลือกอาคาร (Envelope)	14
2.3.2 การสะสมความร้อนของวัสดุ (Heat Capacity)	19
2.3.3 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับการออกแบบรูปทรงของอาคาร (Form Design)	20
2.3.4 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของอาคาร (Microclimate)	21

2.3.5	กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า (Appliance).....	23
2.3.6	กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับไฟฟ้าแสงสว่าง (Artificial Lighting).....	24
2.3.7	กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับผู้ใช้อาคาร (Occupants).....	25
2.3.8	กลุ่มตัวแปรประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (Air conditioner)	27
2.4	วัสดุฉนวนกันความร้อน	27
2.5	แนวทางการออกแบบอาคารเพื่อลดพลังงานในระบบปรับอากาศ	29
2.6	การตรวจวิเคราะห์อาคาร	31
2.7	ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect).....	35
2.7.1	ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect).....	35
2.7.2	ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases - GHGs)	38
2.7.3	ความผิดปกติของอุณหภูมิโลก.....	40
2.7.4	ศักยภาพในการดูดกลืนความร้อน (Global Warming Potential)	41
2.7.5	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย	42
2.8	วิธีวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน	44
2.8.1	ระยะเวลาคืนทุน (Simple payback period)	44
2.8.2	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV).....	45
2.8.3	อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal rate return; IRR)	45
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	47
3.1	ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร	47
3.1.1	การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร	47
3.1.2	การสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร	49
3.1.3	วิธีการเก็บข้อมูลด้านสถานะน่าสบายภายในอาคาร	50
3.1.4	วิธีการเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระบบแสงสว่างภายในอาคาร.....	51
3.2	ประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	52
3.2.1	ประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร	52
3.2.2	ประเมินระดับสถานะน่าสบาย	53
3.2.3	ประเมินระดับความส่องสว่างของแสงสว่างของแสงธรรมชาติและแสง ประดิษฐ์.....	53

3.2.4	ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร	53
3.2.5	ประเมินอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ	53
3.3	ออกแบบการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและ การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD.....	54
3.3.1	การออกแบบการวิจัย.....	54
3.3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	59
3.3.3	การคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD (Cooling Load Temperature Differential)	63
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	65
4.1	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร	65
4.1.1	การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร.....	65
4.1.2	การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร	75
4.2	ประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	94
4.2.1	การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า	94
4.2.2	การวิเคราะห์ภาระการทำความเย็น	96
4.2.3	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	102
4.2.4	การวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการใช้พลังงานในอาคาร	104
4.3	การวิเคราะห์แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา	108
4.3.1	การเลือกวัสดุผนังเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา	108
4.3.2	การเลือกวัสดุหลังคาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา.....	109
4.3.3	การเลือกฉนวนกันความร้อนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา.....	109
4.3.4	การออกแบบปรับปรุงอาคารโดยเปรียบเทียบภาระทำความเย็น วัสดุวิธีการและการลงทุน.....	113
4.3.5	ขั้นตอนการปรับปรุงอาคาร	116
4.4	วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงอาคาร	124
4.4.1	ข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงอาคาร.....	125
4.4.2	ข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นหลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา ระยะที่ 1.....	139

4.4.3 ข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นหลังการปรับปรุงอาคาร กรณีศึกษาระยะที่ 2	155
4.5 วิเคราะห์ผลข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในก่อนปรับปรุงอาคารและแต่ละระยะการ ปรับปรุงอาคาร	157
4.5.1 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็น.....	157
4.5.2 เปรียบเทียบสภาวะสบายภายในพื้นที่อาคารกรณีศึกษา.....	159
4.5.3 เปรียบเทียบผลการปรับปรุงอาคารกับการลงทุน.....	163
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	167
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	168
5.1.1 ด้านพลังงานและการลงทุน	172
5.1.2 ด้านความสบายของผู้ใช้อาคาร	179
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	180
5.2.1 อิทธิพลการลดการใช้พลังงานจากกลุ่มตัวแปรหลัก.....	181
5.2.2 แนวทางการประเมินและออกแบบปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน	181
5.3 ข้อเสนอแนะ	191
5.3.1 ระบบเปลือกอาคาร	191
5.3.2 ขั้นตอนการปรับปรุงอาคาร.....	191
5.3.3 การปรับปรุงสภาพแวดล้อมอาคาร	192
5.3.4 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของอาคารกรณีศึกษา.....	192
5.3.5 การใช้มาตรฐานชี้วัดคุณภาพอาคาร	194
5.3.6 การประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงอาคารทั่วไปเพื่อการขยายผล.....	194
รายการอ้างอิง.....	197
ภาคผนวก.....	199
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	221

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แสดงค่า Equipment Heat Gain (Bobenhausen, 1994:55).....	24
ตารางที่ 2-2 แสดงค่า Typical lighting power densities (L_{watt}) (Bobenhausen, 1994: 57) ..	25
ตารางที่ 2-3 แสดงค่า Metabolic Heat Generation for Various Activities (ASHRAE, 2001: 8.7)	25
ตารางที่ 2-4 แสดงค่า Sensible Heat Cooling Load Factor for People (ASHRAE, 1989: 26.44)	26
ตารางที่ 2-5 แสดงระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 156)	27
ตารางที่ 2-6 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุฉนวนชนิดต่างๆ(กรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน กรมวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2538: 4).....	28
ตารางที่ 2-7 แสดงค่าขั้นต่ำของประสิทธิภาพการใช้พลังงานผ่านเปลือกอาคาร	32
ตารางที่ 2-8 แสดงค่ามาตรฐานของค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (ส่วนของอาคารที่มีการปรับ อากาศ)	33
ตารางที่ 2-9 แสดงศักยภาพในการดูดกลืนความร้อน (IPCC,1996b)	41
ตารางที่ 2-10 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย ปี ค.ศ.1990 จำแนก ตามประเภทกิจการ (TEI,1997)	42
ตารางที่ 4-1 แสดงรายละเอียดโครงสร้างเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี	71
ตารางที่ 4-2 แสดงอัตราส่วนผนังกระจกแต่ละด้านของอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี	72
ตารางที่ 4-3 แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศรายเดือน ปี พ.ศ. 2551.....	73
ตารางที่ 4-4 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) ปี พ.ศ.2548 - 2551	76
ตารางที่ 4-5 แสดงรายการระบบจ่ายลมเย็นในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	80
ตารางที่ 4-6 แสดงชนิดและขนาดของระบบจ่ายลมเย็นในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP).....	80
ตารางที่ 4-7 แสดงรายการหลอดไฟฟ้าแสงสว่างและกำลังไฟฟ้าในอาคารกรณีศึกษาส่วน สำนักงานสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	82

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าความสว่างในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานสำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	83
ตารางที่ 4-9 แสดงค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ (ASHRAE, 2001:62)	87
ตารางที่ 4-10 แสดงข้อมูลการวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) วันที่ 11 ธันวาคม 2550	88
ตารางที่ 4-11 แสดงสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	95
ตารางที่ 4-12 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร (U value) ของอาคาร กรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	96
ตารางที่ 4-13 แสดงภาระการทำความเย็นของเปลือกอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	98
ตารางที่ 4-14 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นจากตัวแปรต่างๆของอาคารกรณีศึกษา ส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	101
ตารางที่ 4-15 แสดงรายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่ง ประเทศไทย	102
ตารางที่ 4-16 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นจากตัวแปรต่างๆของอาคารกรณีศึกษา ส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	103
ตารางที่ 4-17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเปลือกอาคารใน 2 ระยะเวลา ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่ง สหประชาชาติ (UNEP)	105
ตารางที่ 4-18 แสดงค่าสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารใน 2 กรณีของการปรับปรุงอาคาร กรณีศึกษา	106
ตารางที่ 4-19 แสดงรายการ FCU ระบบเดิมของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	107
ตารางที่ 4-20 แสดงรายการติดตั้ง FCU ของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	107
ตารางที่ 4-21 แสดงรายการติดตั้ง Fresh air units ของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	108
ตารางที่ 4-22 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของฉนวนกันความร้อนประเภทที่นำมาใช้กับอาคาร	110

ตารางที่ 4-23 แสดงรายการแบบแปลนอาคาร ภาระการทำความเย็น และราคาลงทุน ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (UNEP)	113
ตารางที่ 4-24 แสดงภาระการทำความเย็นเปรียบเทียบตามการออกแบบแปลนอาคาร กรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี	115
ตารางที่ 4-25 แสดงรายการและรายละเอียดแบบแปลนอาคารกรณีศึกษา Option B (UNEP) ระยะที่ 1.....	116
ตารางที่ 4-26 แสดงรายการชนิดเครื่องปรับอากาศ FCU และ Fresh air units ซึ่งได้รับการ บริการโดยบริษัท Broad Company ประเทศจีน	122
ตารางที่ 4-27 แสดงรายการชนิดเครื่องปรับอากาศและตำแหน่งการติดตั้ง	123
ตารางที่ 4-28 แสดงจำนวนการติดตั้ง Fresh air units.....	123
ตารางที่ 4-29 แสดงรายการหั่วจ่ายลมเย็นตามพื้นที่ทำความเย็นแต่ละกลุ่ม.....	124
ตารางที่ 4-30 แสดงพลังงานทำความเย็นเปรียบเทียบตามพื้นที่ทำความเย็นของหั่วจ่ายลม เย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารและ หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1	153
ตารางที่ 4-31 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็นระยะที่ 1 และ ระยะ ที่ 2	157
ตารางที่ 4-32 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องกลปรับอากาศตามอายุการใช้งาน	159
ตารางที่ 4-33 แสดงรายการระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ	159
ตารางที่ 4-34 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของ อากาศภายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่ง สหประชาชาติแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร	161
ตารางที่ 4-35 แสดงรายการค่าลงทุนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ระยะที่ 1	163
ตารางที่ 4-36 แสดงรายการค่าลงทุนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ระยะที่ 2	164
ตารางที่ 4-37 แสดงการเปรียบเทียบการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ระยะที่ 1 และ ระยะที่ 2.....	165
ตารางที่ 5-1 แสดงสัดส่วนพื้นที่แปลนอาคารในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี	170

ตารางที่ 5-2 แสดงตารางกระบวนการปรับปรุงอาคารและสัดส่วนของตัวแปรที่มีอิทธิพลในการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติในแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร	171
ตารางที่ 5-3 แสดงตารางการให้คะแนนค่าดัชนีเทียบกับค่าดัชนีมาตรฐาน (Index Scoring) ...	173
ตารางที่ 5-4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารและผลการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ระยะที่ 1.....	178
ตารางที่ 5-5 แสดงสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารและพื้นที่ใช้งานปรับอากาศในการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี	184
ตารางที่ 5-6 แสดงรายละเอียดราคาการลงทุนออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี.....	185
ตารางที่ 5-7 แสดงการเปรียบเทียบการลงทุนและระยะเวลาคืนทุนในการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี.....	186
ตารางที่ 5-8 แสดงการเปรียบเทียบการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในด้านสภาพแวดล้อม	187
ตารางที่ 5-9 แสดงการเปรียบเทียบระดับการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและการประหยัดพลังงานทำความเย็น	188
ตารางที่ 5-10 แสดงการคำนวณระยะเวลาคืนทุนในกรณีอ้างอิงการจับเก็บค่าไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงอาคารโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	193
ตารางที่ 5-11 แสดงการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงได้จากการขยายผล	196

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 แสดงการคำนวณอุณหภูมิผิวของวัสดุแบบ Thermal Gradient	20
ภาพที่ 2-2 แสดงการเกิดภาวะเรือนกระจก.....	36
ภาพที่ 2-5 แสดงลักษณะแถบการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์	22
ภาพที่ 2-6 แสดงระดับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์.....	23
ภาพที่ 2-7 แสดง Flow chart ของกิจการต่างๆและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	23
ภาพที่ 3-1 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดข้อมูลสภาวะสบายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ	51
ภาพที่ 3-2 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดข้อมูลแสงสว่างในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ.....	52
ภาพที่ 3-3 แสดงภาพเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Hobo Data Logger)	59
ภาพที่ 3-4 แสดงภาพเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิผิววัสดุ (Surface Temperature Meter).....	60
ภาพที่ 3-5 แสดงภาพเครื่องมือตรวจวัดความสว่าง (Lux Meter).....	61
ภาพที่ 3-6 แสดงไดอะแกรมตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดน้ำเย็นและการเชื่อมต่อระบบ การบันทึกข้อมูลในระบบทำความเย็น	62
ภาพที่ 3-7 แสดงภาพอุปกรณ์การจับเก็บข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบทำความเย็น	62
ภาพที่ 3-8 แสดงภาพการเชื่อมต่อโครงข่ายอุปกรณ์การจับเก็บข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นใน ระบบทำความเย็น.....	63
ภาพที่ 4-1 แสดงที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา (Outreach Building และ สำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ)	66
ภาพที่ 4-2 แสดงที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา (Outreach Building) และสภาพแวดล้อม.....	67
ภาพที่ 4-3 แสดงภาพด้านหน้า (ทิศตะวันตก) ของอาคารกรณีศึกษา (Outreach Building)	67
ภาพที่ 4-4 แสดงผังพื้นที่อาคารกรณีศึกษา (Outreach Building) 3 ชั้น.....	69
ภาพที่ 4-5 แสดงภาพด้านข้างของอาคารกรณีศึกษา (Outreach Building)	70
ภาพที่ 4-6 แสดงตำแหน่งและประเภทไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP).....	81

ภาพที่ 4-7 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดค่าความสว่างในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	82
ภาพที่ 4-8 แสดงพื้นที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่ง สหประชาชาติ (UNEP).....	86
ภาพที่ 4-9 แสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่ง สหประชาชาติ (UNEP).....	87
ภาพที่ 4-10 แสดงสภาพอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อม แห่งสหประชาชาติ (UNEP) วันที่ 11 ธันวาคม 2550 ในแผนภูมิขอบเขตภาวะนำ สบายของมนุษย์	89
ภาพที่ 4-11 แสดงไดอะแกรมการจ่ายไฟฟ้าในสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียและอาคาร กรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	90
ภาพที่ 4-12 แสดงไดอะแกรมการจ่ายน้ำเย็นและท่อน้ำกลับของระบบปรับอากาศในอาคาร กรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	91
ภาพที่ 4-13 แสดงชนิดและตำแหน่งหัวจ่ายลมเย็นในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	94
ภาพที่ 4-14 แสดงระบบการทำงานของ Air Handling Unit ในอาคารกรณีศึกษาส่วน สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP).....	59
ภาพที่ 4-15 แสดงรายละเอียดวัสดุผนังEIFS (Exterior Insulation Finishing System)	112
ภาพที่ 4-16 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอัตราการไหลและอุณหภูมิในระบบ การจ่ายน้ำเย็น.....	116
ภาพที่ 4-17 แสดงการระหว่างการปรับปรุงผนังอาคารด้านทิศเหนือ	118
ภาพที่ 4-18 แสดงการปรับปรุงผนังอาคารด้านทิศตะวันออกและทิศเหนือด้วยวัสดุผนังEIFS	118
ภาพที่ 4-19 แสดงการปรับปรุงผนังอาคารด้านทิศตะวันออกและทิศเหนือด้วยวัสดุผนังEIFS	119
ภาพที่ 4-20 แสดงการติดตั้งผนังEIFSบนผนังระเบียงซี่เหล็ก.....	119
ภาพที่ 4-21 แสดงการปรับปรุงผนังอาคารด้วยวัสดุผนังEIFSโดยเว้นบริเวณช่องกระจก.....	120
ภาพที่ 4-22 แสดงรายละเอียดกระจก Triple panes Heat-stop	120
ภาพที่ 4-23 แสดงแนวการติดตั้งกระจก Triple pane Heat-stop	121
ภาพที่ 4-24 แสดงชนิด FCU และ Fresh air units และตำแหน่งการติดตั้ง	121

ภาพที่ 4-25 แสดงพื้นที่ทำความเย็นแต่ละกลุ่มของหัวจ่ายลมเย็น	125
ภาพที่ 4-26 แสดงโครงข่ายการทำคามเย็นของเครื่องทำความเย็นที่ติดตั้งใหม่	125
ภาพที่ 4-27 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	126
ภาพที่ 4-28 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	127
ภาพที่ 4-29 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	128
ภาพที่ 4-30 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	129
ภาพที่ 4-31 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	130
ภาพที่ 4-32 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	131
ภาพที่ 4-33 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	133
ภาพที่ 4-34 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 03-AHU 04 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	134
ภาพที่ 4-35 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 ก่อนการปรับปรุง อาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	135
ภาพที่ 4-36 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551).....	137
ภาพที่ 4-37 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	139
ภาพที่ 4-38 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	141
ภาพที่ 4-39 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	142

ภาพที่ 4-40 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU13-FCU 16 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	143
ภาพที่ 4-41 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	144
ภาพที่ 4-42 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	145
ภาพที่ 4-43 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	147
ภาพที่ 4-44 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 03-AHU 04 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	148
ภาพที่ 4-45 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 หลังการปรับปรุง อาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	149
ภาพที่ 4-46 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU04 และ FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)	151
ภาพที่ 4-47 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 และ FCU 01-FCU 18	153
ภาพที่ 4-48 แสดงสภาพอากาศภายในแต่ละระยะการปรับปรุงอาคารในแผนภูมิขอบเขต ภาวะน่าสบายของมนุษย์ (Victor Olgyay, 1992)	160
ภาพที่ 5-1 แสดงภาพด้านหน้าอาคารกรณีศึกษา Outreach building หลังการปรับปรุง อาคารส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	168
ภาพที่ 5-2 แสดงภาพหลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อม แห่งสหประชาชาติ ชั้น 3 ของอาคาร Outreach Building	168
ภาพที่ 5-3 แสดงตัวแปรต่างๆ 6 ประการที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายในสภาวะปกติ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545: 114).....	179
ภาพที่ 5-4 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยที่เท่ากัน.....	182
ภาพที่ 5-5 แสดงพื้นที่การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี เปรียบเทียบสัดส่วน S/A.....	183

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 2-1 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศในแต่ละเดือน ปี พ.ศ.2550	9
แผนภูมิที่ 2-2 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือน ปี พ.ศ.2551	10
แผนภูมิที่ 2-3 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและ อุณหภูมิให้กับอากาศ	11
แผนภูมิที่ 2-4 แสดงลักษณะภูมิอากาศ ปี พ.ศ. 2550 ในแผนภูมิ ASHRAE Psychrometric Chart	12
แผนภูมิที่ 2-5 แสดงสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้งานของรูปทรงทางเรขาคณิตต่างๆ	21
แผนภูมิที่ 2-6 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุและอากาศภายนอกที่เป็นสภาพแวดล้อมของอาคาร (สุนทร บุญญาธิการ, 2545: 105)	22
แผนภูมิที่ 2-7 แสดงแนวทางการปรับอากาศด้วยสภาพแวดล้อม (Microclimate)	23
แผนภูมิที่ 2-8 แสดงลักษณะแถบการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์.....	37
แผนภูมิที่ 2-9 แสดงระดับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์	37
แผนภูมิที่ 2-10 แสดง Flow chart ของกิจการต่างๆและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	43
แผนภูมิที่ 4-1 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2551	74
แผนภูมิที่ 4-2 แสดงความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2551	74
แผนภูมิที่ 4-3 แสดงสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเปรียบเทียบของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี.....	75
แผนภูมิที่ 4-4 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาส่วน สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	78
แผนภูมิที่ 4-5 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบจ่ายน้ำเย็นส่วนที่จ่ายไปยังอาคาร กรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติปี พ.ศ. 2546 และ พ.ศ.2548 (แผนก Physical Plant, AIT)	79
แผนภูมิที่ 4-6 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุและอากาศภายนอกที่เป็นสภาพแวดล้อมของอาคาร (สุนทร บุญญาธิการ, 2545: 105)	22
แผนภูมิที่ 4-7 แสดงสัดส่วนการระเหยน้ำจากเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษาส่วน สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	99
แผนภูมิที่ 4-8 แสดงสัดส่วนการระเหยน้ำจากตัวแปรต่างๆของอาคารกรณีศึกษาส่วน สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)	101

แผนภูมิที่ 4-9 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากตัวแปรด้านภาระการทำ
ความเย็นของอาคารกรณีศึกษา ส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่ง
สหประชาชาติ (UNEP) 104

แผนภูมิที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบแบบเปลือกอาคาร ภาระการทำความเย็น และราคาลงทุน
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (UNEP)..... 114

แผนภูมิที่ 4-11 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 126

แผนภูมิที่ 4-12 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 126

แผนภูมิที่ 4-13 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05- FCU 08
ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551) 127

แผนภูมิที่ 4-14 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 127

แผนภูมิที่ 4-15 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18
ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551) 128

แผนภูมิที่ 4-16 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 128

แผนภูมิที่ 4-17 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16
ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551) 129

แผนภูมิที่ 4-18 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 129

แผนภูมิที่ 4-19 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09- FCU 12
ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551) 130

แผนภูมิที่ 4-20 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 130

แผนภูมิที่ 4-21 แสดงอัตราการทำงานเปรียบเทียบของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU
01- FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)
..... 131

แผนภูมิที่ 4-22 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 131

แผนภูมิที่ 4-23 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01- FCU
18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)) 132

แผนภูมิที่ 4-24 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความ
เย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา
Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 132

แผนภูมิที่ 4-25 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 133

แผนภูมิที่ 4-26 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 03-AHU 04 ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 134

แผนภูมิที่ 4-27 แสดงพลังงานการทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01- AHU 04
ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551) 135

แผนภูมิที่ 4-28 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04ก่อนการ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 135

แผนภูมิที่ 4-29 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น
AHU 01-AH 04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม
2551)..... 136

แผนภูมิที่ 4-30 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความ
เย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU01-AHU04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา
Option B (เดือนมกราคม 2551)..... 136

แผนภูมิที่ 4-31 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04
และ FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือน
มกราคม 2551)..... 137

แผนภูมิที่ 4-32 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 และ FCU
01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)
..... 138

แผนภูมิที่ 4-33 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU01-AHU04 และ FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551).....	138
แผนภูมิที่ 4-34 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01- FCU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	139
แผนภูมิที่ 4-35 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	140
แผนภูมิที่ 4-36 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	141
แผนภูมิที่ 4-37 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	141
แผนภูมิที่ 4-38 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	142
แผนภูมิที่ 4-39 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	142
แผนภูมิที่ 4-40 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	143
แผนภูมิที่ 4-41 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	143
แผนภูมิที่ 4-42 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	144
แผนภูมิที่ 4-43 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	144
แผนภูมิที่ 4-44 แสดงอัตราการทำงานเปรียบเทียบของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01- FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	145
แผนภูมิที่ 4-45 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะเวลาที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551).....	145

แผนภูมิที่ 4-46 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือน ธันวาคม 2551)..... 146

แผนภูมิที่ 4-47 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)..... 146

แผนภูมิที่ 4-48 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)..... 147

แผนภูมิที่ 4-49 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 03-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)..... 148

แผนภูมิที่ 4-50 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)..... 149

แผนภูมิที่ 4-51 แสดงพลังงานการทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)..... 149

แผนภูมิที่ 4-52 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือน ธันวาคม 2551)..... 150

แผนภูมิที่ 4-53 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)..... 150

แผนภูมิที่ 4-54 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือน ธันวาคม 2551)..... 151

แผนภูมิที่ 4-55 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)..... 152

แผนภูมิที่ 4-56 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)..... 152

แผนภูมิที่ 4-57 แสดงพลังงานทำความเย็นเปรียบเทียบตามพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารและหลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1.....	154
แผนภูมิที่ 4-58 แสดงพลังงานการทำความเย็นวัดจากท่อจ่ายน้ำเย็นทิศเหนือ หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 2 (เดือนมกราคม 2553).....	155
แผนภูมิที่ 4-59 แสดงพลังงานการทำความเย็นวัดจากท่อจ่ายน้ำเย็นทิศใต้หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 2 (เดือนมกราคม 2553).....	156
แผนภูมิที่ 4-60 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมหลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 2 (เดือนมกราคม 2553).....	156
แผนภูมิที่ 4-61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร.....	162
แผนภูมิที่ 4-62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลงทุนปรับปรุงอาคารและค่าพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.....	165
แผนภูมิที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ในแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร.....	169
แผนภูมิที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในด้านสภาพแวดล้อม.....	187
แผนภูมิที่ 5-3 แสดงรายงานสถิติการใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ โดยกระทรวงพลังงาน.....	195
แผนภูมิที่ 5-4 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ (ที่มา: สถานการณ์พลังงานกุมภาพันธ์ 2552, กระทรวงพลังงาน).....	195

บทที่ 1

บทนำ

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ได้กลายมาเป็นประเด็นความสนใจทั่วโลกมาแล้วตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ.2520 ปัจจุบันสภาวะโลกร้อนเริ่มเป็นที่ยอมรับว่าเป็นหนึ่งในปัญหาเร่งด่วนที่สุด ของโลกยุคโลกาภิวัตน์ที่กำลังส่งผลกระทบต่อชีวิตคนทั้งโลกจากการแข่งขันทางภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม รวมถึงการใช้ชีวิตอย่างสิ้นเปลืองพลังงานส่งผลกระทบโดยตรงในการปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases - GHG) โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂) ใน ปริมาณร้อยละ 72 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดสู่ชั้นบรรยากาศและมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่าง รุนแรง (สถณี อาชวานันทกุล, 2549)

ก๊าซเรือนกระจกประกอบด้วยกลุ่มก๊าซต่างๆ ห่อหุ้มชั้นบรรยากาศของโลกไว้เพื่อเก็บกัก พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ หากแต่กลุ่มก๊าซเหล่านี้ถูกผลิตและปลดปล่อยในอัตราที่เพิ่ม มากขึ้น ทำให้ชั้นของก๊าซเรือนกระจกมีความเข้มข้นสูง พลังงานที่ถูกเก็บกับไว้ในบรรยากาศโลกไม่ สามารถเล็ดลอดคืนสู่อวกาศได้ ปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นนี้คือปรากฏการณ์เรือนกระจก ก๊าซเรือนกระจกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อโลกของเรา ในการทำให้อุณหภูมิของโลกเหมาะสมแก่ การดำรงชีวิต โดยทำให้เกิดอุณหภูมิบนพื้นโลกโดยเฉลี่ยประมาณ 15 องศาเซลเซียสแต่หาก ปราศจากกลุ่มก๊าซเรือนกระจกตามธรรมชาติเหล่านี้แล้ว โลกของเราจะมีอุณหภูมิลดลงเหลือ เพียง -18 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่อบอุ่นเพียงพอในการอาศัยอยู่สำหรับมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ดังนั้น ปรากฏการณ์เรือนกระจกในธรรมชาติ เป็นภาวะที่เกิดความสมดุลของพลังงานที่โลกได้รับจากดวง อาทิตย์และพลังงานที่โลกเสียไป แต่หากมีปัจจัยใดๆ ก็ตามที่ทำให้สมดุลพลังงานดัง กล่าวเสียไป หรือทำให้การเคลื่อนย้ายถ่ายเทพลังงานในบรรยากาศ และระหว่างบรรยากาศกับพื้นดินและ มหาสมุทรเปลี่ยนแปลงไป จะมีผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศโดยหากพลังงานที่โลกได้รับมากกว่า พลังงานที่เสียไปจะทำอุณหภูมิของโลกสูงขึ้นแต่ถ้าพลังงานที่ได้รับน้อยกว่าพลังงานที่เสีย ไป อุณหภูมิของโลกจะลดลง เรียกว่า “การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ” หรือ Climate Change

ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไน โตรัสออกไซด์ (N₂O) และก๊าซโอโซน (O₃) นอกจากนี้ ยังมีก๊าซที่ผลิตขึ้นมาใช้ในทางอุตสาหกรรม และการพัฒนาเศรษฐกิจ ที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากธรรมชาติ ได้แก่ คลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbons-CFC) ไฮโดรคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (Hydro-

chlorofluorocarbons - HCFCs) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbons - HFCS) และ เพอร์ฟลูออรีเนตคาร์บอน (Perfluorinatedcarbons - PFCS) (นัฐปัทม์ จิตพิทักษ์, 2542)

การผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากกิจกรรมทางอุตสาหกรรม (ที่เผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล) เพิ่มขึ้นรวมทั้งกิจกรรมของมนุษย์ในการผลิตซีเมนต์และการทำลายป่า ได้ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณความเข้มข้นเพิ่มขึ้น การวัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่หอดูดาวโมนาลัว แสดงให้เห็นว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เพิ่มจาก 313 ppm (ส่วนต่อล้านส่วน) ใน พ.ศ. 2503 มาเป็น 375 ppm ใน พ.ศ. 2548 และการเพิ่มระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ย่อมจะต้องเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก การแปรผันของคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) ได้สรุปจากการศึกษาเอกสารทางวิทยาศาสตร์จำนวนมากว่า “การเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่เห็นได้ชัดนับแต่ช่วงประมาณกลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 (ประมาณ พ.ศ. 1950) ว่าเกิดจากการเพิ่มก๊าซเรือนกระจกโดยกิจกรรมของมนุษย์ (ที่มา: www.wikipedia.com)

ก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้มีแหล่งที่มาจากผลพวงของการพัฒนาอุตสาหกรรม พลังงาน คมนาคม เกษตรกรรม รวมทั้งจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและป่าไม้ เมื่อมีการผลิตก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้นในชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก อุณหภูมิที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เคยสะท้อนกลับ กลับถูกกักเก็บเอาไว้มากกว่าเดิม ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น และเกิดผลกระทบในหลายๆ ด้านติดตามมา ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effects) และเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) ของโลกและหลายๆ ประเทศติดตามมา รวมทั้งประเทศไทย ก็ได้รับผลกระทบทั้งจากภายนอกและภายในประเทศด้วยเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากภัยพิบัติต่างๆ ที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงในรอบหลายๆ ปีที่ผ่านมา

แม้ว่าประเทศไทยจะไม่ได้อยู่ในกลุ่มประเทศที่เป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซดังกล่าวก็ตาม แต่จากรายงานของ World Resource Institution ใน World Resources 2005, The Wealth of The Pool, Managing Ecosystems to Fight Poverty ได้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยในปี 2543 ได้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 261 ล้านตัน คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (million ton CO₂ equivalent) หรือร้อยละ 0.78 ของโลก ซึ่งน้อยกว่าประเทศจีน (4,942 ล้านตัน หรือร้อยละ 14.7) อินเดีย (1,837 ล้านตัน หรือร้อยละ 5.5) ปากีสถาน (285 ล้านตัน หรือร้อยละ 0.9) โดยที่กลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วมีการผลิตก๊าซเรือนกระจกรวม 18,102 ล้านตัน หรือร้อยละ 54.2 ของ ก๊าซเรือนกระจกโลก โดยสหรัฐอเมริกาผลิต ก๊าซเรือนกระจก 6,924 ล้านตัน หรือร้อยละ 20.6 ของ

เลีย 491 ล้านตัน หรือร้อยละ 1.5 ของการผลิตก๊าซเรือนกระจกโลก (ที่มา: www.nidambe11.net/ekonomiz/2007q2/2007april30p2.htm)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดชี้ให้เห็นว่าวิกฤติด้านสิ่งแวดล้อมได้ส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ในทั่วทุกภูมิภาคของโลก เมื่อกลางปี พ.ศ.2549 จึงได้มีโครงการที่ริเริ่มโดยสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Program - UNEP) ด้วยแนวคิด"คาร์บอนสมดุล"(Carbon Neutrality) ซึ่งเป็นโครงการเร่งด่วนเพื่อเป็นแนวทางรณรงค์และแก้ปัญหาวิกฤติพลังงานที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นเป็นลำดับ โดยมีโครงการนำร่องคาร์บอนสมดุลและการปรับปรุงสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ซึ่งตั้งอยู่ในสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ด้วยหลักการ 6 ขั้นตอนคือ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การหมุนเวียนพลังงานเพื่อกลับมาใช้ใหม่ การอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การปรับปรุงสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และการได้รับการรับรองจากมาตรฐานอาคารสีเขียว (The Leadership in Energy and Environmental Design :LEED)

หนึ่งในแนวทาง"คาร์บอนสมดุล" (Carbon Neutrality) คือการปรับปรุงสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ เพื่อเป็นต้นแบบการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงกลายมาเป็นโครงการย่อยเพื่อทำการวิจัยหาแนวทางเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการโดยรวมในการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงร้อยละ 50 จากการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงอาคาร ความเป็นไปได้นี้เกิดจากการศึกษาเบื้องต้นจากสถิติการใช้ใช้ไฟฟ้า การสำรวจสภาพอาคาร การสำรวจอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน จำนวนบุคลากรและพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร มีรายงานว่าสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศได้มากกว่า 40% ของการใช้พลังงานในขณะนั้น จึงได้มีความร่วมมือระหว่างสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย(Asian Institute of Technology - AIT) เพื่อพัฒนาโครงการนำร่องนี้เป็นโครงการต้นแบบในการปรับปรุงอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป

ทั้งนี้ประเด็นปัญหาของการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงอาคารเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้น ต้องคำนึงถึงคู่ของความสัมพันธ์ของตัวแปรหลักใน 2 ประเด็น คือ การใช้พลังงานและการลงทุนปรับปรุงอาคาร และคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารที่ทำการปรับปรุง การวิจัยขึ้นนี้จึงได้ทำการศึกษา ออกแบบการวิจัยแล้วนำผลการปรับปรุงอาคารมาวิเคราะห์เทียบเคียงกับ

การใช้พลังงานก่อนทำการปรับปรุงอาคาร เพื่อหาต้นทุนความสำคัญของแต่ละตัวแปรกับการลงทุน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของสภาพอาคารเดิม
- 2) เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรและประเมินความสำคัญของตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในอาคาร
- 3) สรุปวิธีการออกแบบและคำนวณผลการปรับปรุงอาคารในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อาคารมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าการลงทุน
- 4) เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้จากการปรับปรุงอาคารจริง ติดตามและประเมินผล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษาการใช้พลังงานภายใต้พื้นฐานคุณภาพชีวิตที่ดี
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารที่สัมพันธ์กับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- 3) ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานที่ใช้ในอาคารเท่านั้น
- 4) ใช้อาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (Regional Resources Center for Asia and the Pacific – UNEP.RRC.AP) ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นที่ 3 ของอาคาร Outreach Building สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย เป็นกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัย
- 5) ศึกษาการปรับปรุงอาคารจากปัจจัยที่ทำให้เกิดภาวะการทำความเย็นจากภายนอกอาคารผ่านเปลือกอาคารส่วนที่บดบัง ได้แก่ หลังคา ผนัง พื้น และเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสง ได้แก่ ผนังกระจก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เป็นแนวทางการระบุตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารได้
- 2) เพื่อระบุความสำคัญของตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร
- 3) เป็นแนวทางการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารเบื้องต้นจากการคำนวณเทียบเคียงกับการใช้พลังงานในสภาพอาคารเดิม
- 4) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารและการลงทุน ประยุกต์กับการใช้พลังงานสำหรับอาคารจริงได้

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร ผ่านเปลือกอาคารส่วนที่บดแสง ได้แก่ หลังคา ผนัง และพื้น เปลือกอาคารส่วนโปร่งแสง ได้แก่ ผนังกระจก ด้วยการตรวจสอบสภาพอาคารเดิม และเก็บประวัติข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนการออกแบบและปรับปรุงอาคาร
- 2) วิเคราะห์และประเมินผล โดยการเปรียบเทียบหาน้ำหนักตัวแปรจากข้อมูลจริงและข้อมูลจากการคำนวณตามวิธี Cooling Load Temperature Different (CLTD) ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจอากาศของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียและคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- 3) ออกแบบปรับปรุงอาคารโดยกำหนดวัสดุ รูปแบบอาคาร งบประมาณ และวิธีการ เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมและคุ้มค่า
- 4) ปรับปรุงอาคารจริงและเก็บข้อมูล ตรวจสอบข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานจริงกับการออกแบบและการลงทุนปรับปรุงอาคาร

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยในหัวข้อการปรับปรุงอาคารโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วยองค์ความรู้ที่ต้องทำการศึกษาซึ่งเป็นพื้นฐานการศึกษาวิจัยในประเด็นหลัก คือ ด้านพลังงานและการลงทุน และด้านคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคาร ซึ่งในแต่ละประเด็นนั้น จะได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Factors)

จากการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร (สุนทร บุญญาธิการ, 2536) พบว่าการใช้พลังงานในอาคารขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ แต่สามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีอิทธิพลซึ่งกันและกันในลักษณะที่มีความซับซ้อนยากที่จะระบุว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลในสถานการณ์นั้นมากหรือน้อยกว่ากัน สามารถแบ่งตัวแปรดังกล่าวได้ดังนี้

2.1.1 ที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศ (Site and Climate)

คือกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ตัวแปรที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ สภาพดินฟ้าอากาศของท้องถิ่นรวมกับสภาพภูมิอากาศบริเวณที่ตั้งอาคาร (Microclimate) ในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานนั้น จำเป็นจะต้องหาแนวทางในการปรับปรุงสภาพภูมิอากาศ ที่ตั้งอาคารให้มีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการนำเอาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมดังกล่าว มาเป็นปัจจัยในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.2 ตัวอาคารและระบบของอาคาร (Building and Systems)

คือ กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับอาคารและระบบของอาคาร ตัวแปรในกลุ่มนี้ได้แก่ ระบบเปลือกอาคาร ระบบโครงสร้างและระบบเครื่องกล เป็นต้น ในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานจำเป็นจะต้องตรวจวิเคราะห์รูปแบบของอาคารและงานระบบต่างๆ ให้มีความสอดคล้องกัน เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด

2.1.3 ผู้ใช้อาคารและการใช้งาน (Users and Operation)

คือ กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับผู้ใช้อาคาร กลุ่มตัวแปรนี้ได้แก่ ประเภทของผู้ใช้อาคาร รูปแบบการใช้งานหรือลักษณะของกิจกรรมต่างๆ ตลอดจนตารางการใช้งานและการควบคุมงานระบบต่างๆ ภายในอาคาร

2.2 ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศภายนอกอาคาร

การประหยัดพลังงานในอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเช่นประเทศไทยนั้น เมื่อพิจารณาถึงสภาพอากาศจะพบว่า มีข้อดีก็คือ อุณหภูมิของอากาศมีความรุนแรงน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับภูมิภาคอื่นๆ ของโลก มีความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างกลางวันและกลางคืนไม่มากนัก อีกทั้งยังมีลมที่เป็นปัจจัยช่วยในการลดความร้อนจากความร้อนที่เกิดขึ้นนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง

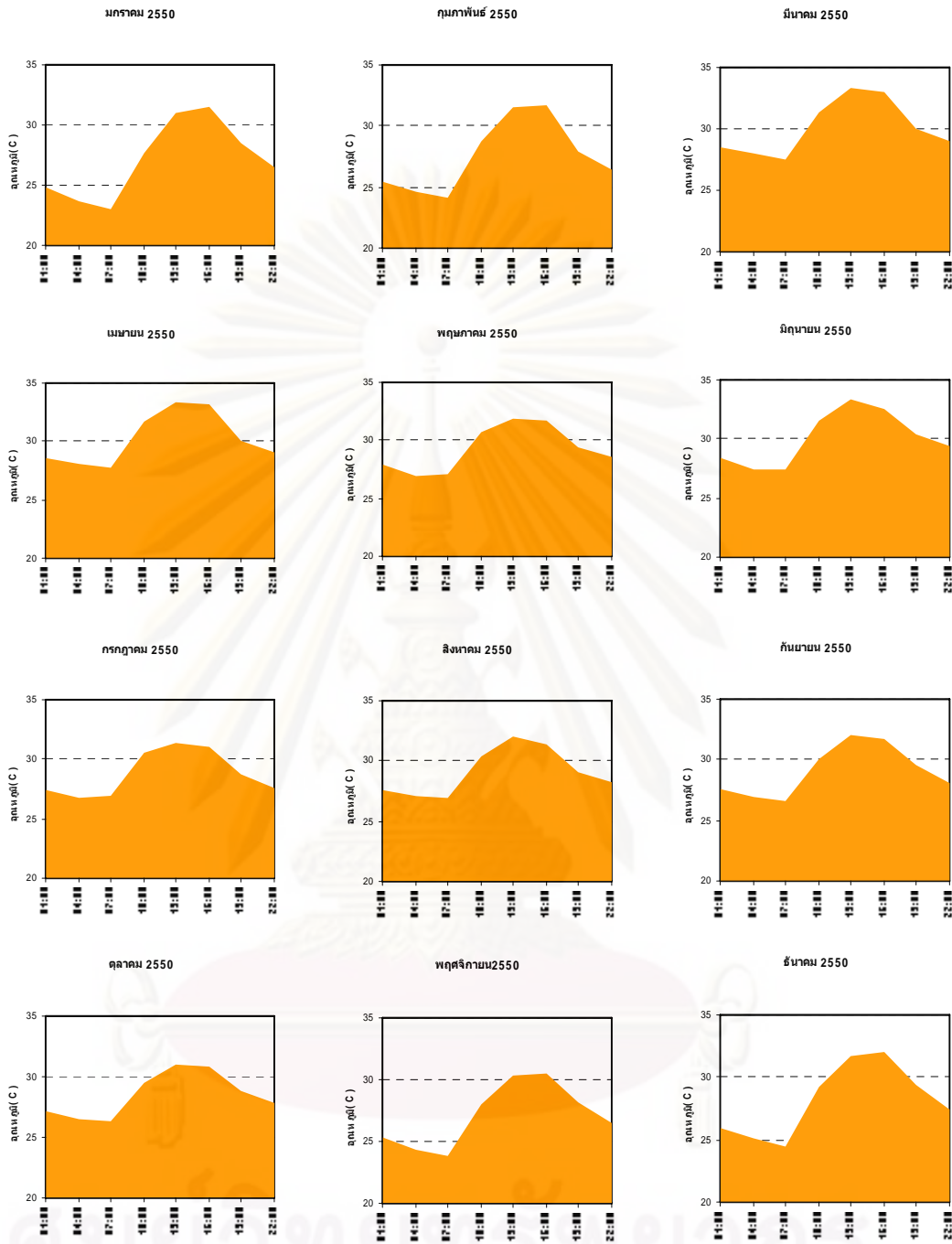
เมื่อพิจารณาถึงปัญหาในด้านการประหยัดพลังงานในอาคารที่ตั้งภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ปัญหาที่สำคัญก็คือ ความร้อนและความชื้นที่สูงเกินสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) โดยเฉพาะความชื้นเมื่อเข้ามาในอาคารที่ปรับอากาศจะสร้างปัญหาเป็นอย่างมาก ทั้งด้านการใช้พลังงานในการลดความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาและการเสื่อมสภาพของวัสดุภายในอาคาร อันเนื่องมาจากความชื้น

2.2.1 การวิเคราะห์สภาพอากาศที่ใช้ประกอบการคำนวณ

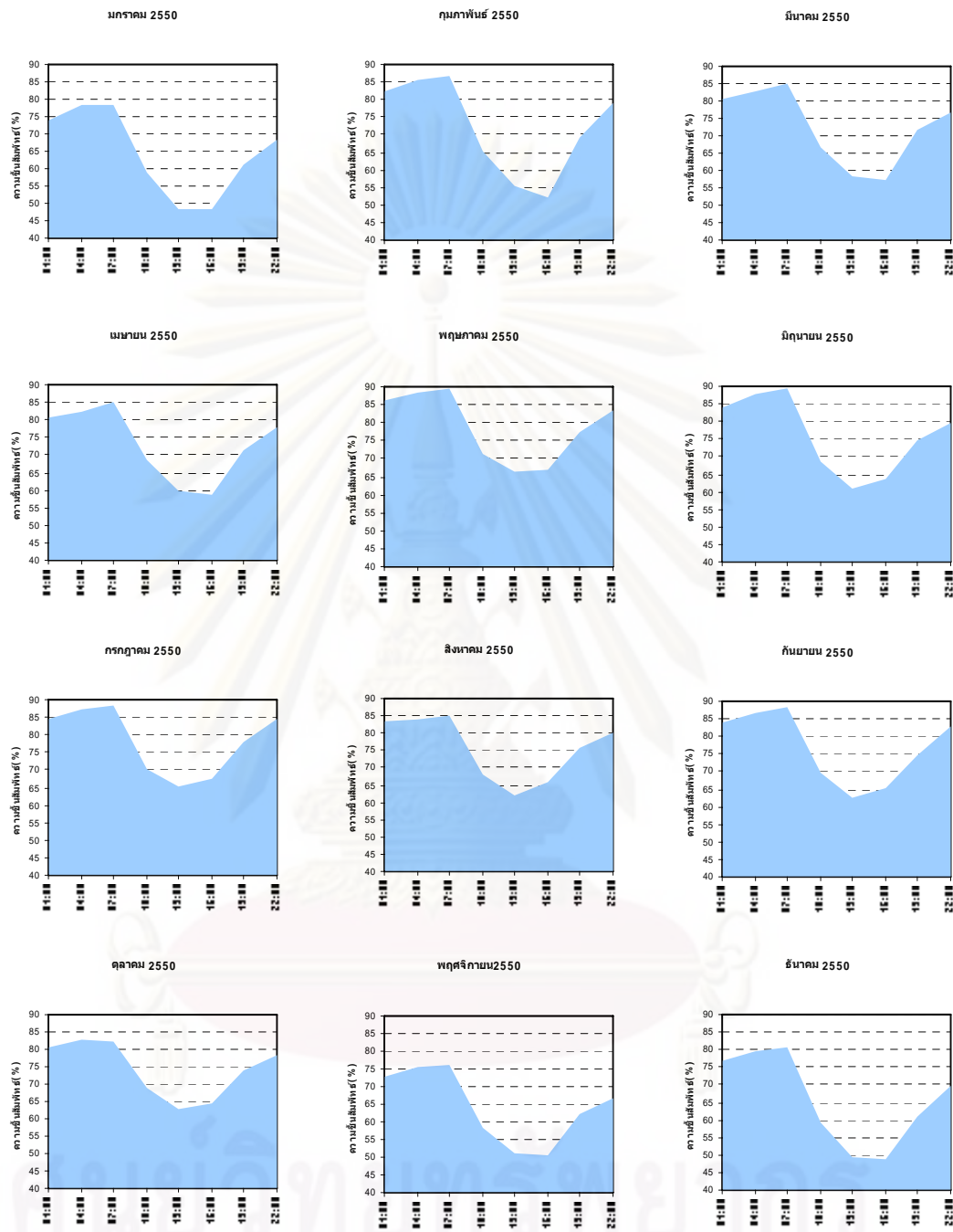
การนำข้อมูลของสภาพอากาศที่นำมาประกอบการคำนวณ ได้นำข้อมูลสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานครประจำปี พ.ศ. 2550 มาใช้ ในข้อมูลชุดนี้เป็นข้อมูลที่มีความครบถ้วนในการตรวจวัดสภาพอากาศ ความชื้น และความเร็วลมในแต่ละทิศทาง ซึ่งเหมาะในการนำมาวิเคราะห์คำนวณค่าภาระการทำความเย็นของอาคารสำนักงานปรับอากาศ ในการคำนวณด้วยวิธี CLTD จำเป็นต้องใช้ข้อมูลของสภาพอากาศจริงตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นในแต่ละรายชั่วโมงได้

2.2.2 การวิเคราะห์ค่าเอนทัลปีของสภาพอากาศ

สภาพอากาศของ ปี พ.ศ. 2550 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ในแต่ละเดือน พบว่าเดือนที่มีค่าเอนทัลปีสูงที่สุดคือเดือนเมษายน และเดือนที่มีค่าเอนทัลปีต่ำที่สุดคือเดือนพฤศจิกายน ซึ่งค่าเอนทัลปีนี้จะแสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการสร้างสภาวะน่าสบายในอาคารปรับอากาศ

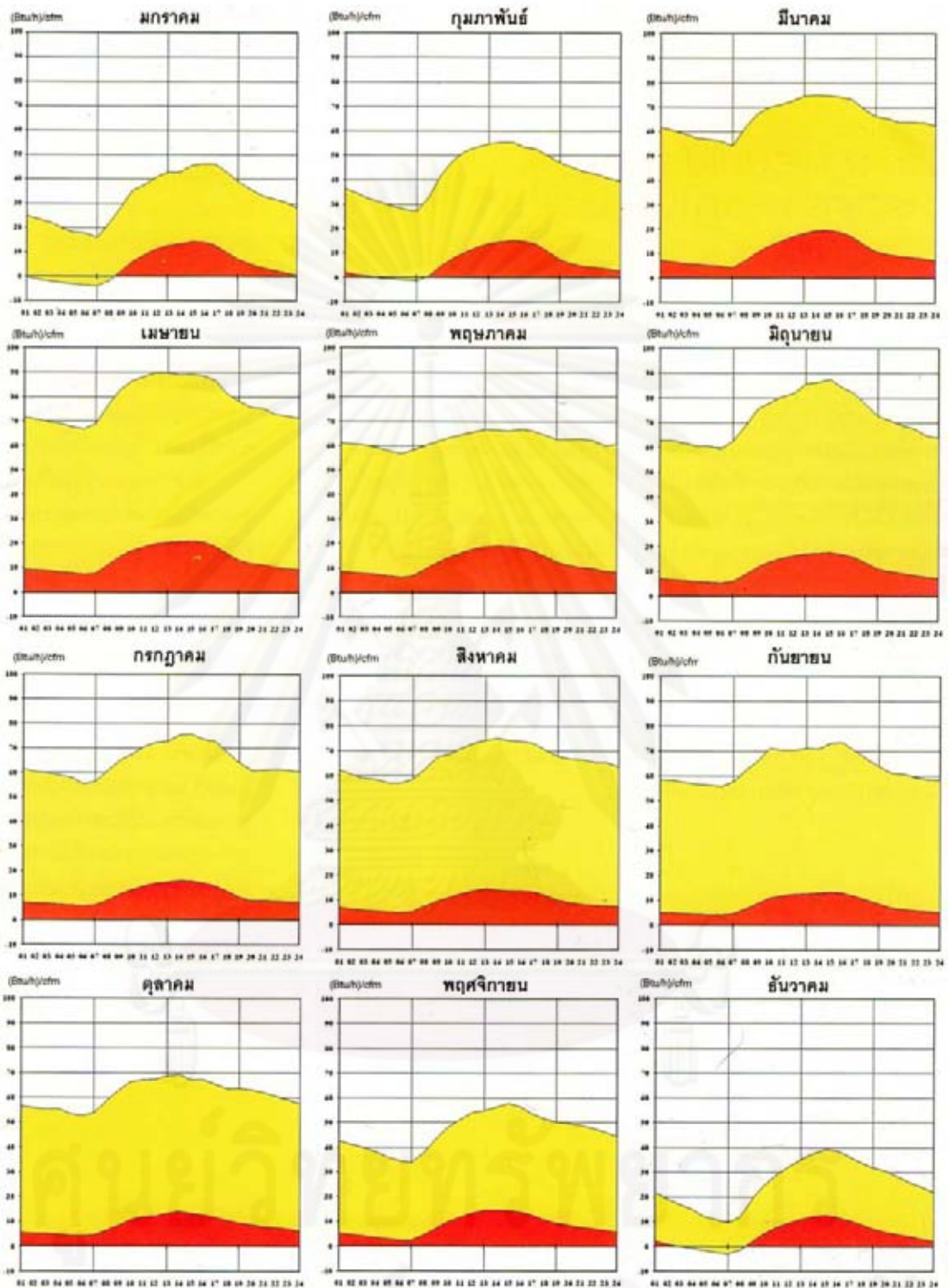


แผนภูมิที่ 2-1 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศในแต่ละเดือน ปี พ.ศ. 2550

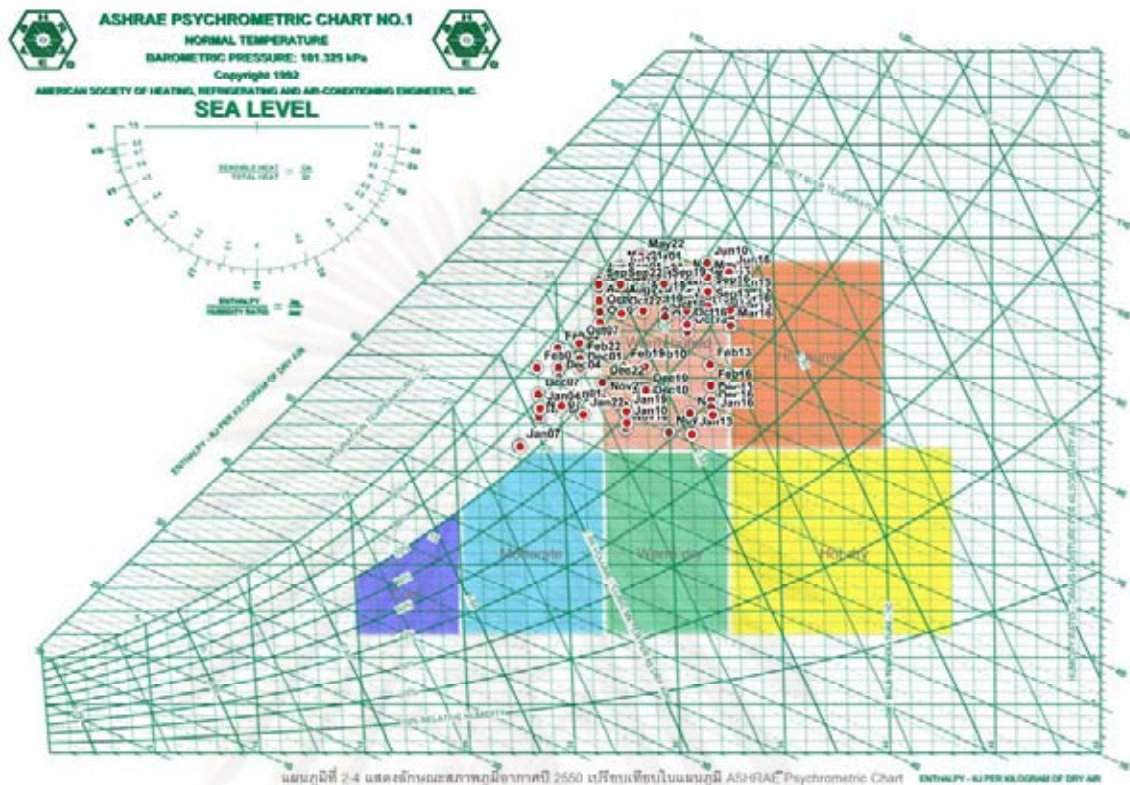


แผนภูมิที่ 2-2 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือน ปี พ.ศ. 2550

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2-3 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้น และอุณหภูมิให้กับอากาศ



แผนภูมิที่ 2-4 แสดงลักษณะภูมิอากาศ ปี พ.ศ. 2550 ในแผนภูมิ ASHRAE Psychrometric Chart

จากแผนภูมิที่ 2-4 เมื่อพล็อตสภาพอากาศเฉลี่ยลงใน ASHRAE Psychrometric Chart แล้ว จะเห็นว่าสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครอยู่ในเขตร้อนชื้น ไม่มีช่วงใดๆในรอบปีเลยที่มี อุณหภูมิและความชื้นที่พอเหมาะ จึงเป็นผลให้อาคารส่วนใหญ่ที่มีคนใช้งานมักต้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพื่อปรับให้สภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในสภาวะน่าสบาย แต่เนื่องจากเทคโนโลยีโครงสร้างอาคารแบบเดิมนั้น มีค่าการสะสมความร้อนในตัววัสดุสูง และมีการรั่วซึมของอากาศมาก จึงทำให้พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศให้อยู่ในระดับของสภาวะน่าสบายต้องสูญเสียไปอย่างสิ้นเปลือง

2.2.3 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกของ CLTD

จากการคำนวณด้วยวิธีของ CLTD ทั้งในส่วนของการคำนวณหลังคา และในการคำนวณของผนัง ค่าของอุณหภูมิอากาศภายนอกที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าที่มีการจำกัดไว้ในสมการ (to - 85)(ASHRAE, 1989: 26.34) สมการอุณหภูมิอากาศภายนอกนี้สามารถใช้ได้กับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่สูงที่สุดคือ 95 องศาฟาเรนไฮต์ (35 องศาเซลเซียส) และค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 85 องศาฟาเรนไฮต์ (29.44 องศาเซลเซียส) โดยที่อุณหภูมิอากาศภายนอกนั้นมีการเปลี่ยนแปลง 21 องศาฟาเรนไฮต์ (11.66 องศาเซลเซียส)

2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นของอาคารปรับอากาศ

ค่าภาระการทำความเย็นคือ ปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องนำออกจากพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เพื่อควบคุมค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในพื้นที่นั้นมีค่าคงที่ ซึ่งค่าภาระการทำความเย็นดังกล่าวจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ภาระการทำความเย็นแบบความร้อนสัมผัส (sensible heat gain) และภาระการทำความเย็นแบบความร้อนแฝง (latent heat gain)

ภาระการทำความเย็นแบบความร้อนสัมผัส (sensible heat gain) หมายถึงภาระการทำความเย็นที่เป็นความร้อนส่วนที่ทำให้อุณหภูมิภายในห้องเปลี่ยนแปลงไป อันได้แก่ ความร้อนที่แหล่งกำเนิดความร้อนที่อยู่ในบริเวณที่พิจารณาถ่ายเทให้กับอาคารด้วยการแผ่รังสีความร้อน แหล่งกำเนิดความร้อนเหล่านั้น ได้แก่ กรอบของพื้นที่ หลอดไฟฟ้า ผู้อาศัย และเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นขึ้นอยู่กับ ประเภทของแหล่งกำเนิดความร้อน มวลของกรอบอาคาร และความเร็วของอากาศภายในพื้นที่ โดยตั้งสมมติฐานว่าค่าภาระความร้อนจากแต่ละแหล่งกำเนิดเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นค่าภาระการทำความเย็นรวมของบริเวณที่พิจารณาที่เวลาใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลรวมของค่าภาระการทำความเย็นของแต่ละแหล่งกำเนิด ส่วนภาระการทำความเย็นแบบความร้อนแฝง คือ ภาระการทำความเย็นในส่วนที่ทำให้ความชื้นของอากาศในบริเวณที่พิจารณาเปลี่ยนแปลงไป

การใช้พลังงานในการปรับอากาศเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลเป็นอย่างยิ่งต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร เพราะสภาพภูมิอากาศโดยรอบอยู่นอกเหนือจากสภาวะนำสบายค่อนข้างสูงเกือบตลอดเวลา อาคารโดยทั่วไปจะมีการออกแบบที่มีลักษณะและรูปแบบการก่อสร้างที่คล้ายคลึงกันหรือไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถแบ่งองค์ประกอบแต่ละตัวแปรออกได้ 7 กลุ่มด้วยกัน ดังนี้

2.3.1 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับเปลือกอาคาร (Envelope)

เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานปรับอากาศเป็นอย่างมาก เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศจะพบว่าปริมาณการใช้พลังงานจะแปรผันตรงกับพื้นที่ของเปลือกอาคาร

การวิเคราะห์ถึงอัตราการใช้พลังงานด้วยวิธี CLTD เป็นวิธีการประมาณค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศด้วยการคำนวณเพียงขั้นตอนเดียว โดยมีพื้นฐานจากวิธี Transfer function Method ในการคำนวณภาระทำความเย็น (Q) ก่อนแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า CLTD/SCL/CLF สำหรับการคำนวณโดยวิธีนี้เกี่ยวข้องกับลักษณะการถ่ายเทความร้อน 3 แบบ คือ การนำความร้อนผ่านผนัง หลังคา และกระจก การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ผ่านกระจก และความร้อนที่ได้รับจากภายในห้อง (ไฟฟ้าแสงสว่าง ผู้อยู่อาศัย และอุปกรณ์ไฟฟ้า) รวมทั้งภาระความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศ ความหมายของแต่ละตัวคือ

CLTD – Cooling Load Temperature Difference

SCL – Solar cooling Load

CLF – Cooling Load Factor

โดยวิธีการ CLTD/SCL/CLF จะใช้ค่า CLTD ในกรณีของการนำความร้อนผ่านผนังภายนอก และหลังคา ค่า SCL สำหรับความร้อนที่ได้รับจากแหล่งความร้อนภายใน ค่า CLTD, SCL และ CLF เปลี่ยนแปลงตามเวลาและขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคาร

ค่า CLTD ได้มาจากค่าภาระการทำความเย็นด้วยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) และพื้นที่ผิวของผนัง (A) ถ้านำวิธี CLTD/SCL/CLF ไปใช้ ก็จะได้ค่าภาระการทำความเย็นสำหรับแต่ละชั่วโมงภายใน 1 วันออกมา แต่เมื่อนำมาการคำนวณเพื่อการออกแบบภาระการทำความเย็น จะใช้ช่วงเวลาที่ภาระการทำความเย็นสูงสุดโดยหาได้จากตาราง CLTD/SCL/CLF และประกอบกับการวางทิศทางการวางทิศทางของอาคารและรูปร่างของห้อง

การวิเคราะห์ถึงอัตราการใช้พลังงานในส่วนของเปลือกอาคารต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างเปลือกอาคาร ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มตัวแปรของเปลือกอาคารออกได้เป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย

2.3.1.1 ส่วนผนังอาคาร (Opaque)

อาคารในปัจจุบันนี้มีการก่อสร้างผนังหลากหลายรูปแบบมากขึ้น ตัวแปรด้านผนังของอาคารนี้จึงรวมถึงผนังทึบ (Opaque Wall) ซึ่งคุณสมบัติของตัวแปรนี้มีอิทธิพลต่ออัตราการทำความเย็นก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U) เป็นตัวบ่งชี้ถึงภาระการทำความเย็นในส่วนของผนังอาคาร โดยสามารถเปรียบเทียบและคำนวณหาอัตราความร้อนที่มีการถ่ายเทผ่านระบบผนัง โดยการใช้สมการดังนี้ (ASHRAE, 1989:26.35)

$$q_{\text{wall}} = UA(\text{CLTD}_{\text{wall}})$$

- เมื่อ q_{wall} = ภาระในการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, มีหน่วยเป็น Btu / h. ft² . °F ในระบบ I-P
 A = พื้นที่ผิวของผนังภายนอก, มีหน่วยเป็น ft² ในระบบ I-P
 $\text{CLTD}_{\text{wall}}$ = ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference) , มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P

โดยที่ค่า $\text{CLTD}_{\text{wall}}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (ASHRAE, 1989: 26.36)

$$\text{CLTD}_{\text{wall}} = (\text{CLTD} + \text{LM})K + (78 - t_r) + (t_o - 85)$$

CLTD = ค่าจากตาราง CLTD ของผนัง (ASHRAE, 1989:26.35)

LM = ค่าการปรับละติจูดและเดือนของที่ตั้งอาคาร

K = ค่าลักษณะสีของผนังอาคาร

$K = 1.00$ เมื่อ ผนังมีสีเข้ม หรือ ผนังสีอ่อนในอาคาร
 อุตสาหกรรม

$K = 0.83$ เมื่อ ผนังมีสีปานกลาง

$K = 0.65$ เมื่อ ผนังมีสีอ่อน

$t_{r..}$ = อุณหภูมิภายในอาคารปรับอากาศ, มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P

$t_{o..}$ = อุณหภูมิภายนอกอาคารปรับอากาศ, มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P

2.3.1.2 ส่วนกระจกของอาคาร (Glass)

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นในส่วนของกระจก การพิจารณาถึงคุณสมบัติของ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดโดย รวมของช่องเปิด (SC) ที่เป็นกระจก (Glass) และผนังโปร่งแสง (Transparent Wall) ซึ่งสามารถคำนวณหา สัมประสิทธิ์การบังแดดในแต่ละส่วนของช่องเปิดมาเป็นตัวบ่งชี้ถึงภาระการทำความเย็นอัน เนื่องมาจากตัวแปรนี้ได้ โดยการใช้สมการ (ASHRAE, 1989: 26.41)

$$q_{\text{glass-solar}} = A(\text{SC})(\text{SHGF})(\text{CLF})$$

- เมื่อ
- q_{glass} = ภาระการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 - A = พื้นที่ผิวของผนังภายนอก, มีหน่วยเป็น ft^2 ในระบบ I-P
 - SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)
 - SHGF = Solar Heat Gain Factor, มีหน่วยเป็น $\text{Btu} / \text{h} \cdot \text{ft}^2$ ในระบบ I-P
 - CLF = Cooling Load Factor (ASHRAE, 1989:26.41)

ในส่วนของกระจกนอกจากค่าภาระทำความเย็นที่เกิดจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ยังมีความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุกระจก ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าการถ่ายเท ความร้อนก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (U) เป็นตัวบ่งชี้ถึงประ สติภาพ ของภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนของกระจก สมการคำนวณค่าการถ่ายเท ความร้อนของกระจก (ASHRAE, 1989:26.38)

$$q_{\text{glass-cond}} = UA(\text{CLTD}_{\text{glass}})$$

- เมื่อ
- $q_{\text{glass-cond}}$ = ภาระการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 - U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก, มีหน่วยเป็น $\text{Btu} / \text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ ในระบบ I-P
 - A = พื้นที่ผิวกระจก, มีหน่วยเป็น ft^2 ในระบบ I-P
 - CLTD = ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference) , มีหน่วยเป็น $^\circ\text{F}$ ในระบบ I-P

2.3.1.3 ส่วนหลังคาของอาคาร (Roof)

เป็นส่วนพื้นที่ของเปลือกอาคารที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวันจึงทำให้ตัวแปรนี้มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นให้กับอาคารปรับอากาศค่อนข้างสูง ซึ่งคุณสมบัติของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราภาระการทำความเย็นก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (U) เป็นตัวบ่งชี้ถึงภาระการทำความเย็นให้อาคารปรับอากาศ โดยสามารถคำนวณหาอัตราความร้อนที่มีการถ่ายเทผ่านระบบผนัง โดยการใช้สมการดังนี้ (ASHRAE, 1989:26.33)

$$q_{\text{roof}} = UA(\text{CLTD}_{\text{roof}})$$

- เมื่อ q_{roof} = ภาระในการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, มีหน่วยเป็น Btu / h .ft² .°F ในระบบ I-P
 A = พื้นที่ผิวของหลังคาภายนอก, มีหน่วยเป็น ft² ในระบบ I-P
 $\text{CLTD}_{\text{roof}}$ = ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference), มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P
 โดยที่ ค่า $\text{CLTD}_{\text{roof}}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (ASHRAE, 1989: 26.34)

$$\text{CLTD}_{\text{roof}} = (\text{CLTD} + \text{LM})K + (78 - t_R) + (t_o - 85) f$$

- CLTD = ค่าจากตารางในการคำนวณหลังคา
 LM = ค่าการปรับละติจูดและเดือนของที่ตั้งอาคาร
 K = ค่าลักษณะสี่ของหลังคาอาคาร
 $K = 1.00$ เมื่อ หลังคามีสีเข้ม หรือ ผนังสีอ่อนในอาคาร
 อุตสาหกรรม
 $K = 0.50$ เมื่อ หลังคามีสีอ่อน
 t_R = อุณหภูมิภายในอาคารปรับอากาศ, มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P
 t_o = อุณหภูมิภายนอกอาคารปรับอากาศ, มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P
 f = ค่าการระบายอากาศของหลังคา
 $f = 1.00$ เมื่อ ไม่มีการระบายอากาศของหลังคา
 $f = 0.75$ เมื่อ มีการระบายอากาศภายใต้หลังคา

2.3.1.4 ส่วนพื้นที่ของอาคาร (Floor)

ส่วนพื้นอาคารเป็นส่วนที่มีความสำคัญในการลดความร้อนและนำความเย็นมาใช้ พื้นของอาคารมีทั้งส่วนที่สัมผัสดินในชั้นล่างและพื้นที่เป็นชั้นลอยของอาคาร ในส่วนของพื้นที่ชั้นล่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะคิดจากค่าส่วนกลับของความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน และส่วนพื้นที่ชั้นลอยจะคิดค่าผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นวัสดุทั่วไป ในการพิจารณาเพื่อการบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของพื้นนั้นสามารถพิจารณาได้จากสมการ (ASHRAE, 1989:26.33)

$$q_{\text{floor}} = UA(t_o - t_i)$$

- เมื่อ q_{floor} = ภาระในการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, มีหน่วยเป็น Btu / h. ft² . °F ในระบบ I-P
 A = พื้นที่ผิวของพื้นภายใน, มีหน่วยเป็น ft² ในระบบ I-P
 t_o = อุณหภูมิผิวพื้นภายนอก, มีหน่วยเป็น มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P
 t_i = อุณหภูมิอากาศภายใน, มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P

2.3.1.5 การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration)

ตัวแปรนี้มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของอาคารเป็นอย่างมาก อากาศจากภายนอกอาคารที่มีความร้อนและความชื้นที่สูงถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร ส่งผลให้ภาระการทำงานของระบบปรับอากาศต้องทำงานเพิ่มมากขึ้นเพื่อที่จะรักษาสภาวะภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่ต้องการตลอดเวลา ซึ่งการรั่วซึมของอากาศมี 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

1. การรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Infiltration) คือ เป็นการแทรกซึมจากอากาศภายนอกเข้าสู่ภายใน เกิดการนำความร้อนและความชื้นที่สูงกว่าเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งเพิ่มภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเป็นอย่างมาก

2. การรั่วซึมออกสู่ภายนอก (Exfiltration) คือการรั่วซึมของอากาศภายในสู่ภายนอกอาคาร การคำนวณหาภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

การคำนวณหา Sensible Heat Gain from Infiltration

$$q_{\text{oa-sen}} = 1.1 \times \text{cfm} \times (t_o - t_i)$$

การคำนวณหา Latent Heat Gain from Infiltration

$$q_{v-lat} = 4840 \times \text{cfm} \times (W_0 - W_i)$$

สรุปการคำนวณหา Heat Gain from Infiltration ได้สมการดังนี้

$$q_{v-lat} = 4.5 \times \text{cfm} \times (H_0 - H_i)$$

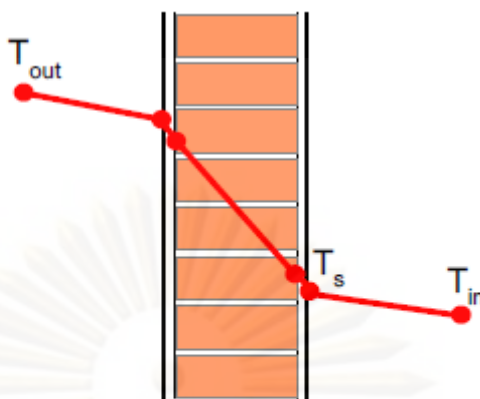
- เมื่อ
- $q_{\text{oa-tot}}$ = ภาระในการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 - cfm = ปริมาณการระบายอากาศ, มีหน่วยเป็น ft^3/min ในระบบ I-P
 - H_0 = เอนทัลปีภายนอก, มีหน่วยเป็น $\text{Btu}/\text{lb}_{\text{dry air}}$ ในระบบ I-P
 - H_i = เอนทัลปีภายใน, มีหน่วยเป็น $\text{Btu}/\text{lb}_{\text{dry air}}$ ในระบบ I-P
 - W_0 = อัตราส่วนความชื้นภายใน, มีหน่วยเป็น $\text{lb}/\text{lb}_{\text{dry air}}$ ในระบบ I-P
 - W_i = อัตราส่วนความชื้นภายนอก, มีหน่วยเป็น $\text{lb}/\text{lb}_{\text{dry air}}$ ในระบบ I-P

2.3.2 การสะสมความร้อนของวัสดุ (Heat Capacity)

ในการคำนวณหาค่าการสะสมความร้อนของวัสดุ ตัวแปรที่มีความสำคัญ ได้แก่ มวลสาร (m) ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (c) และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิววัสดุกับอุณหภูมิอากาศ (Δt) โดยอุณหภูมิมิผิวผนังสามารถคำนวณได้ด้วยวิธีคำนวณแบบ (Thermal Gradient) ดังนี้ (Stein and Reynold, 1992:124)

$$\frac{(T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}{R_{\text{total}}} = \frac{T_{\text{out}} - T_s}{R_{\text{total}} - R_{\text{airfilm}}} \quad \text{หรือ} \quad T_s = \frac{T_{\text{out}} - (R_{\text{total}} - R_{\text{airfilm}})(T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}{R_{\text{total}}}$$

- โดยที่
- T_s = อุณหภูมิมิผิว, มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{F}$ ในระบบ I-P
 - T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก, มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{F}$ ในระบบ I-P
 - T_{in} = อุณหภูมิอากาศภายใน, มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{F}$ ในระบบ I-P
 - R_{total} = ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุ, มีหน่วยเป็น $\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$ ในระบบ I-P
 - $R_{\text{air film}}$ = ค่าความต้านทานความร้อนของอากาศ, มีหน่วยเป็น $\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$ ในระบบ I-P



ภาพที่ 2-1 แสดงการคำนวณอุณหภูมิผิวของวัสดุแบบ Thermal Gradient
(ประยุกต์จาก Stein and Reynold, 1992: 124)

ค่าความจุความร้อนจำเพาะยังสามารถใช้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่ต้องการในการเพิ่มหรือการลดอุณหภูมิของวัสดุชนิดนั้นๆ สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณความร้อนสะสมของวัสดุ มีดังนี้

$$Q = mc\Delta t$$

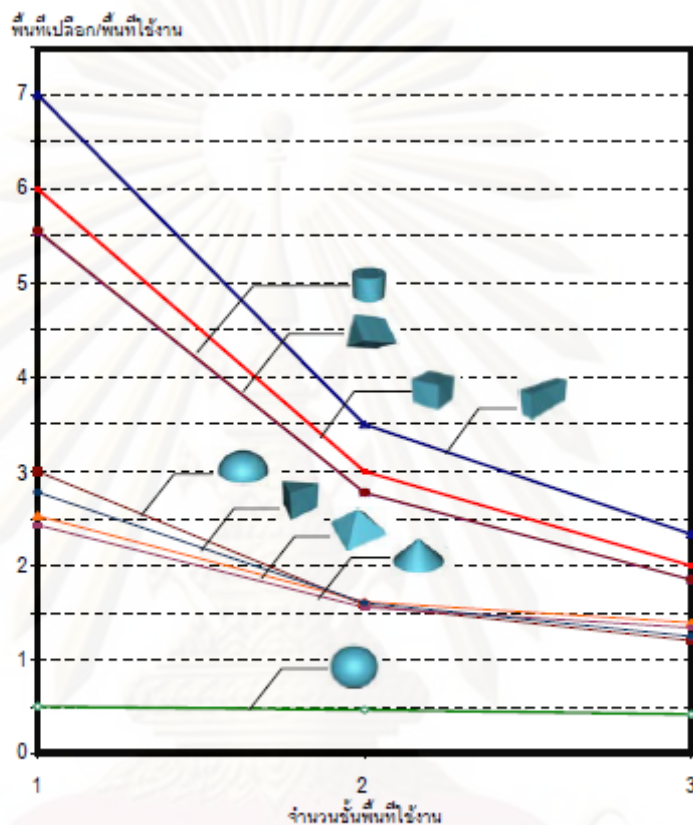
- เมื่อ Q = ปริมาณความร้อน, มีหน่วยเป็น Btu ในระบบ I-P
 m = มวลของวัสดุ, มีหน่วยเป็น lb ในระบบ I-P
 c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ, มีหน่วยเป็น Btu/lb-°F
 Δt = ความแตกต่างของอุณหภูมิ, มีหน่วยเป็น °F ในระบบ I-P

2.3.3 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปทรงของอาคาร (Form Design)

เป็นกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศเป็นอย่างมาก การออกแบบที่เหมาะสมกับสภาพของภูมิอากาศจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นที่แทรกซึมผ่านเปลือกอาคาร การพิจารณาคูณสมบัติการถ่ายเทความร้อนและการแทรกซึมความชื้นของวัสดุก่อสร้างอาคารเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างมาก

สัดส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่การใช้งาน (Surface to Floor Area Ratio) เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร พื้นที่ผิวของอาคารเป็นพื้นที่ที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่ม (Heat Gain) ถ้าอาคารมีพื้นที่ผิวมากก็จะมีพื้นที่สัมผัสความร้อนมาก

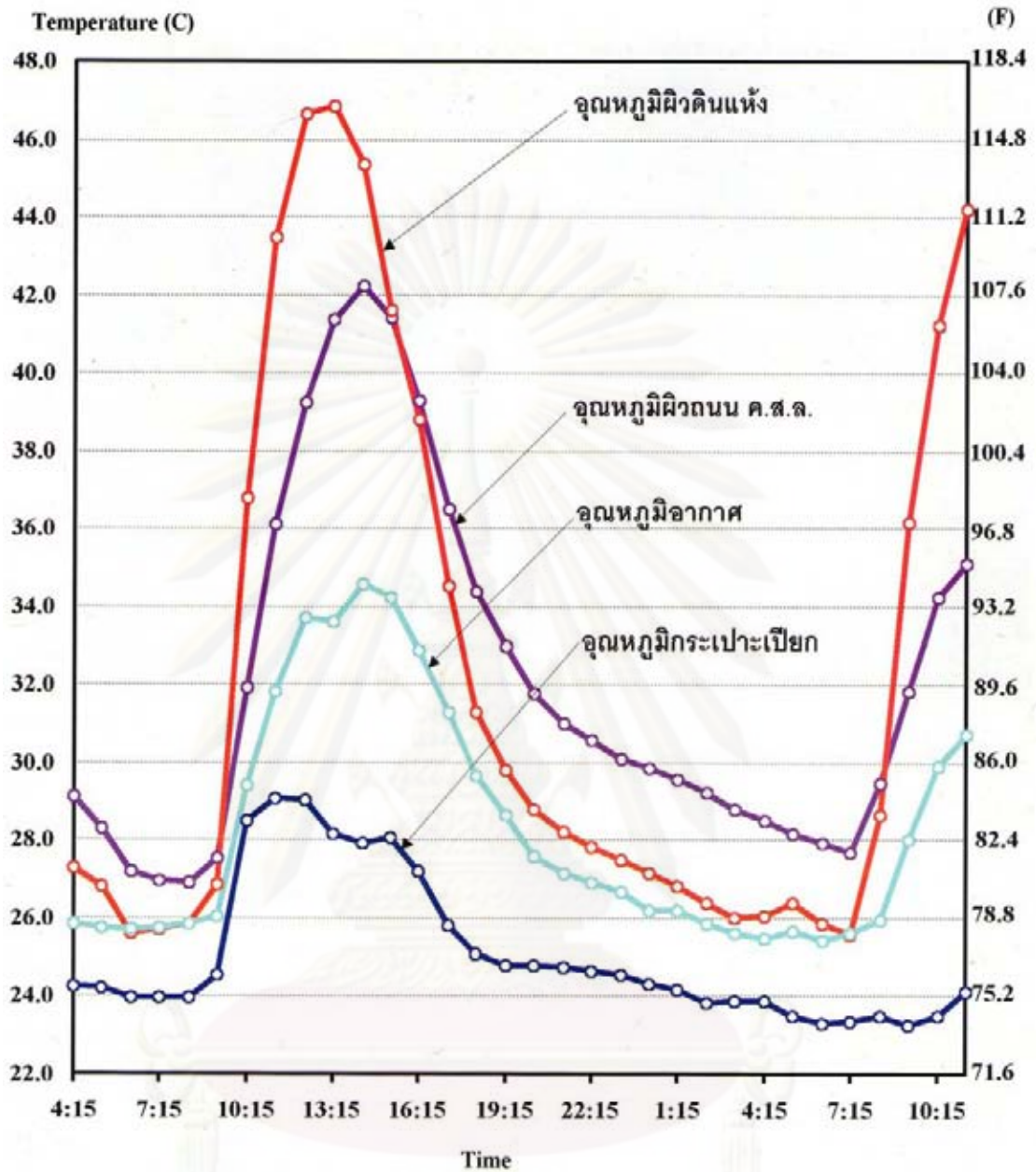
ตามด้วย การคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร จึงเป็นการหาแนวทางการลดความร้อนและความชื้นที่จะมากระทบกับผิวของอาคาร



แผนภูมิที่ 2-5 แสดงสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้งานของรูปทรงทางเรขาคณิตต่างๆ

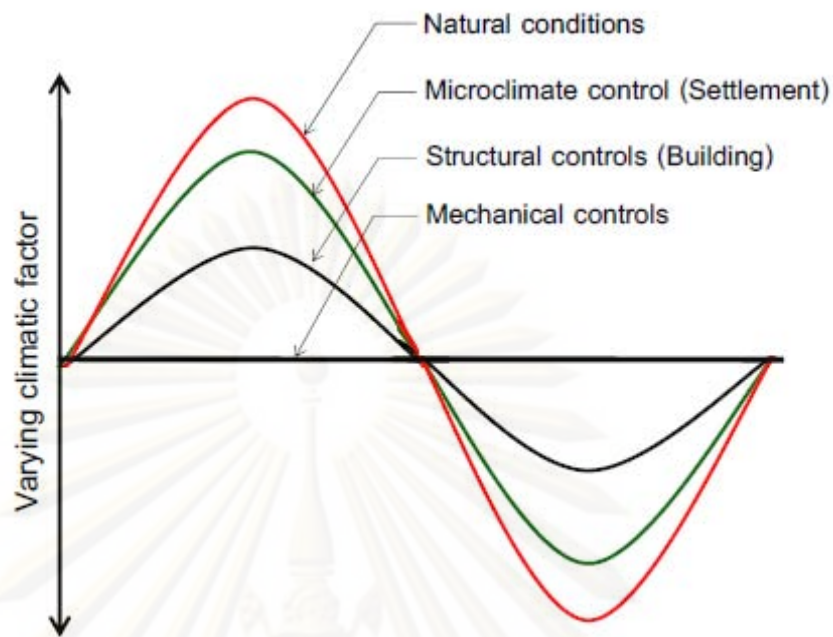
2.3.4 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของอาคาร (Microclimate)

เงื่อนไขในการให้ผู้ใช้อาคารอยู่ในสภาวะน่าสบายตลอดระยะเวลานั้น จำเป็นจะต้องใช้เครื่องปรับอากาศมาช่วยในการสร้างสภาวะน่าสบายในอาคาร เพราะการสร้างความเป็นจากสภาพแวดล้อมคงเป็นไปได้ยากในสภาวะปัจจุบัน ในการที่จะพึ่งพาอิทธิพลของสภาวะแวดล้อมเพื่อเป็นการลดความร้อนจากความชื้นโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และสร้างร่มเงาให้กับเปลือกอาคารช่วยลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารได้



—○— ผิวดิน ค.ส.ล.
 —○— อุณหภูมิผิวดินแห้ง
 —○— อุณหภูมิกระจ่างเปือก (WB)
 —○— อุณหภูมิอากาศ

แผนภูมิที่ 2-6 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุและอากาศภายนอกที่เป็นสภาพแวดล้อมของอาคาร
 (สุนทร บุญญาธิการ, 2545: 105)



แผนภูมิที่ 2-7 แสดงแนวทางการปรับอากาศด้วยสภาพแวดล้อม (Microclimate)
(ไพศาล จันเตยूर, 2539: 114)

2.3.5 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า (Appliance)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารระบบปรับอากาศมีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำรงชีวิต เครื่องใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันมีหลากหลายชนิดและมีความแตกต่างในการใช้งานมาก เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ตามความต้องการ ในการเปลี่ยนรูปแบบของพลังงานเหล่านี้มักจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นกับเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับการเพิ่มภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ดังสมการนี้ (Bobenhausen, 1994: 55)

$$q_{eq} = EQ_{wsf} \times A \times 3.413 \times (CLF_{eq})$$

เมื่อ q_{eq} = ภาระในการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P

EQ_{wsf} = ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์, มีหน่วยเป็น W / ft²

A = พื้นที่ผิวของหลังคาภายนอก, มีหน่วยเป็น ft² ในระบบ I-P

CLF_{eq} = Appliance Cooling Load Factor for equipment

(ASHRAE, 1989: 26.46)

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นอันเนื่องจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ค่าความร้อนที่เกิดจากการใช้งาน (EQ_{wsf}) สามารถหาได้จากตารางที่ 3-1 นี้ โดยที่เป็นค่าความร้อนที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่การใช้งาน (ft^2)

ตารางที่ 2-1 แสดงค่า Equipment Heat Gain (Bobenhausen, 1994:55)

Type of Work Environment	Watt/ft2	Btu/h.ft2 (max.)
General office with only a few typewriter, computers and other electrical items	0.25-1.0	1-4
Office where most workers have personal computers	1.0-3.0	3-10
Rooms dedicated to large "main-frame" computer	15-50	50-175
Laboratories	5-20	15-70
Manufacturing plants	5-45	15-150

2.3.6 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับไฟฟ้าแสงสว่าง (Artificial Lighting)

หลอดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงสว่างภายในอาคาร มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งหลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีอัตราการใช้พลังงานที่น้อยแต่สามารถที่จะให้ความสว่างได้มาก ในการเลือกใช้ชนิดของหลอดไฟภายในอาคาร นอกจากแสงสว่างที่ได้รับโดยตรงแล้ว ความร้อนที่เกิดจากหลอดไฟเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงสว่างยังเป็นผลทางอ้อมที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารอีกด้วย ดังสมการนี้ (Bobenhausen, 1994: 59)

$$q_{lgt} = L_{wsf} \times A \times 3.413 \times (CLF_{eq})$$

- เมื่อ
- q_{lgt} = ภาระในการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 - L_{wsf} = ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าจากหลอดไฟฟ้า, มีหน่วยเป็น W / ft2
 - A = พื้นที่ผิวของหลังคาภายนอก, มีหน่วยเป็น ft2 ในระบบ I-P
 - CLF_{eq} = Cooling Load Factor for lighting (ASHRAE, 1989: 26.45)

ตารางที่ 2-2 แสดงค่า Typical lighting power densities (L_{watt}) (Bobenhausen, 1994: 57)

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

2.3.7 กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับผู้ใช้อาคาร (Occupants)

ผู้ใช้งานในอาคารจะมีลักษณะในการทำกิจกรรมที่หลากหลาย แต่ละกิจกรรมนั้นจะมีความร้อนจากการเผาผลาญพลังงานของมนุษย์ออกมา ซึ่งสร้างภาระเพิ่มขึ้นให้กับระบบปรับอากาศอีกส่วนหนึ่ง ความร้อนที่เกิดจากผู้ใช้งานนั้นมี 2 รูปแบบ คือ ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และความร้อนแฝง (Latent Heat) มีสมการคำนวณดังนี้ (ASHRAE, 1989: 26.43)

ตารางที่ 2-3 แสดงค่า Metabolic Heat Generation for Various Activities (ASHRAE, 2001: 8.7)

Office Activities	W/m ²	met ^a
Reading, seated	55	1.0
Writing	60	1.0
Typing	65	1.1
Filing, seated	70	1.2
Filing, standing	80	1.4
Walking about	100	1.7
Lifting/packing	120	2.1

1. สมการคำนวณหาความร้อนสัมผัสจากคน (Sensible Heat)

$$q_{p\text{-sen}} = N \times SHG_p \times CLF_p$$

- เมื่อ $q_{p\text{-sen}}$ = ภาระการทำความร้อน, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 N = จำนวนคน (คน)
 SHG_p = ความร้อนสัมผัสจากคน, มีหน่วยเป็น Btu/h ต่อคน
 CLF_p = Cooling Load Factor ของคน (ASHRAE, 1989: 26.44)

2. สมการคำนวณหาความร้อนแฝงจากคน (Latent Heat)

$$q_{p\text{-lat}} = N \times LHG_p$$

- เมื่อ $q_{p\text{-lat}}$ = ภาระการทำความร้อน, มีหน่วยเป็น Btu/h ในระบบ I-P
 N = จำนวนคน (คน)
 LHG_p = ค่าความร้อนแฝงจากคน, มีหน่วยเป็น Btu/h ต่อคน

ตารางที่ 2-4 แสดงค่า Sensible Heat Cooling Load Factor for People (ASHRAE, 1989: 26.44)

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	0.68	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	0.68	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	0.54	0.26	0.21	0.15	0.13	0.13	0.11	0.10	0.06	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	0.62	0.35	0.33	0.30	0.23	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	0.63	0.35	0.37	0.35	0.42	0.34	0.28	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.05	0.07	0.06	
12	0.55	0.64	0.70	0.75	0.79	0.81	0.64	0.36	0.38	0.35	0.31	0.32	0.43	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	
14	0.56	0.66	0.72	0.77	0.80	0.82	0.65	0.37	0.39	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	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	0.67	0.38	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.35	0.36	0.49	0.39	0.33	0.25	0.24	0.20	0.16	0.16	
18	0.66	0.73	0.79	0.82	0.85	0.87	0.69	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.34	0.35	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37	0.50	0.40	0.33	0.25	0.24	0.21

2.3.8 กลุ่มตัวแปรประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (Air conditioner)

เครื่องปรับอากาศเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรง เพราะเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีอัตราการใช้พลังงานน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งในปัจจุบันสามารถที่จะพิจารณาได้จากตัวเครื่องปรับอากาศว่ามีเบอร์ประหยัดไฟฟ้าเท่าไร ค่าของเบอร์ประหยัดไฟฟ้ายิ่งมากยิ่งมีประสิทธิภาพดี ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจะวัดจากอัตราส่วนของพลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศต่อพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศ ประสิทธิภาพนี้จะเป็นตัวที่จะบ่งชี้ถึงความสามารถในการทำงานว่าคุ้มค่ากับพลังงานที่ต้องสูญเสียไปในการทำความเย็นหรือไม่ ซึ่งในหลักการประหยัดพลังงานนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากที่ต้องคำนึงถึง สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{พลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศ}}{\text{พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศ}}$$

ตารางที่ 2-5 แสดงระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 156)

ระดับประสิทธิภาพ	กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	COP	EER
เบอร์ 5	1.13	2.26	3.10 ขึ้นไป	10.6 ขึ้นไป
เบอร์ 4	1.25	2.5	ตั้งแต่ 2.80 แต่ไม่ถึง 3.10	ตั้งแต่ 9.6 แต่ไม่ถึง 10.6
เบอร์ 3	1.4	2.79	ตั้งแต่ 2.50 แต่ไม่ถึง 2.80	ตั้งแต่ 8.6 แต่ไม่ถึง 9.6
เบอร์ 2	1.58	3.16	ตั้งแต่ 2.20 แต่ไม่ถึง 2.50	ตั้งแต่ 7.6 แต่ไม่ถึง 8.6
เบอร์ 1	1.82	3.64	ต่ำกว่า 2.20	ต่ำกว่า 7.6

2.4 วัสดุฉนวนกันความร้อน

ฉนวนความร้อน คือ วัสดุที่ป้องกันการถ่ายเทความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด จุดมุ่งหมายของการติดตั้งฉนวนความร้อนคือต้องการเก็บรักษาพลังงานไม่ให้มีการถ่ายเทออกไปหรือเข้ามาภายในบริเวณที่ต้องการ (ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537)

หน้าที่ของฉนวนจะเป็นตัวช่วยลดการเกิดการถ่ายเทความร้อนจากส่วนที่ไม่ต้องการ เข้ามาสร้างภาระในส่วนปรับอากาศที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ฉนวนจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการลดปริมาณพลังงานที่ใช้ลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องปรับอากาศ (Turner and Malloy, 1981) ได้กล่าวถึงหน้าที่การทำงานของฉนวนไว้ ดังนี้

- เพื่อการประหยัดพลังงาน (To conserve energy)
- เพื่อควบคุมการถ่ายเทความร้อน (To control heat transfer)
- เพื่อการควบคุมอุณหภูมิ (To control temperature)
- เพื่อการควบคุมความเย็น (To control freezing)
- เพื่อป้องกันการลวกไหม้ (To protection from burn)
- เพื่อการควบคุมความร้อน (To control fire)

การพิจารณาการนำความร้อนมาใช้งาน จะต้องวิเคราะห์ถึงข้อดีและข้อด้อยของ ฉนวนชนิดนั้นๆ ฉนวนกันความร้อนที่ดีจะต้องเป็นฉนวนที่มีน้ำหนักเบาประกอบด้วยฟองอากาศ เล็กๆ จำนวนมาก ฟองอากาศเหล่านี้จะมีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนที่เข้ามา ฉนวนในแต่ ละชนิดมีการต้านทานความร้อนที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (k) ยิ่งค่า (k) มีค่าน้อยยิ่งเป็นฉนวนที่มีความต้านทานความร้อนได้ดี การพิจารณาเลือกฉนวน สามารถวิเคราะห์ได้จากตารางค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ดังนี้

ตารางที่ 2-6 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุฉนวนชนิดต่างๆ (กรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน กรมวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2538: 4)

วัสดุฉนวน	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) Watt/m.°C
โฟมฉีด	0.023
โฟมแผ่น	0.031
ฉนวนใยแก้ว	0.035
ไม้อัด	0.123
แผ่นยิปซั่ม	0.191
กระเบื้องแผ่นเรียบ	0.285

ความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวน ไปสู่ด้านที่มีความ ร้อนน้อยกว่า ความร้อนที่ไหลผ่านช่องอากาศระหว่างเส้นใยหรือเซลล์ของฉนวนภายในฉนวนใย แก้ว ทำให้ความร้อนไหลผ่านได้ช้าลงเพราะขนาดที่พอเหมาะของช่องอากาศ จึงเกิดการพาความร้อนจากด้านหนึ่งของเซลล์สู่อีกด้านหนึ่งมีปริมาณลดน้อยลงมาก และเส้นทางการนำความร้อน ของฉนวนใยจะมีเส้นทางที่คดเคี้ยว ถ้าวัสดุฉนวนมีความหนาแน่นพอเพียงก็จะทำให้ลดปริมาณ การถ่ายเทความร้อนลงได้

ความหนาแน่นของฉนวนแบบเส้นใยนั้นจะแปรผกผันกับการนำความร้อน เมื่อเส้นใยมีจำนวนมากขึ้น มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ก็จะส่งผลให้การแผ่รังสีความร้อนภายในเส้นใยนั้นมีปริมาณที่ลดลง ลักษณะการเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบนี้มักจะเกิดกับฉนวนแบบมวล (Mass Insulation) การสร้างระยະการคดเคี้ยวและปริมาณของฟองอากาศจึงมีส่วนสำคัญในการต้านทานความร้อน ที่จะถ่ายเทผ่านตัววัสดุฉนวนเข้าสู่ส่วนควบคุมภายในอาคาร

2.5 แนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการลดพลังงานในระบบปรับอากาศ

การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศขึ้นอยู่กับปริมาณภาระการทำความเย็น (cooling load) ที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) จากผิวของวัสดุด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วภาระการทำความเย็นสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$q = u \cdot a \cdot \Delta t \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่

- q = ภาระการทำความเย็นสูงสุด (peak load) ในอาคาร (btu/hr หรือ watt)
- u = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (btu/hr*ft²*°F หรือ watt/m²*°C)
- a = พื้นที่ผิวของวัสดุเปลือกอาคาร (ft² หรือ m²)
- Δt = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก ซึ่งเป็นตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่ตั้งและอุณหภูมิภายใน (°F หรือ °C)

จากสมการ (1) ดังกล่าว นำมาคำนวณเป็นภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร (load per area) ได้สมการดังนี้

$$Q = U \cdot S/A \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่

- Q = ปริมาณภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร (load/area) (btu/hr* ft² หรือ watt/ m²)
- U = ค่าเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร (btu/hr*ft²*°F หรือ watt/m²*°C)
- S/A = สัดส่วน (ratio) ระหว่างพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (surface) ต่อพื้นที่ใช้สอย (usable area)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและอุณหภูมิภายในอาคาร ($^{\circ}F$ หรือ $^{\circ}C$)

ผลที่ได้จากการคำนวณสมการ (2) เป็นภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยที่สามารถนำมาคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศได้โดยการนำตัวแปรที่เป็นค่า COP (Coefficient of Performance) ของเครื่องปรับอากาศมาเพิ่มในสมการ ดังนี้

$$E = (\Sigma U.S * S/A * \Delta t) / COP \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่

- E = ภาระการทำความเย็นในอาคาร (Electrical Supply) (วัตต์)
- $\Sigma U.S$ = ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นตัวแปรด้านวัสดุ (U-Value)
- S/A = พื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตร.ม.) ซึ่งเป็นตัวแปรด้านลักษณะรูปร่างอาคาร
- Δt = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก ซึ่งเป็นตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่ตั้งและอุณหภูมิภายใน ($^{\circ}C$) ของโครงการ
- COP = อัตราส่วนประสิทธิภาพของพลังงาน ซึ่งเป็นตัวแปรประสิทธิภาพของเครื่องกล (Energy Efficiency Ratio)

อธิบายเป็นตัวแปรเชิงเดี่ยวหลักสำคัญตามลำดับ ได้แก่

1. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคารและวัสดุ (Buildings and Material Factors)
2. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร (Surface per Usable Area factors)
3. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม (Site and Climate Factors)
4. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบอุปกรณ์อาคาร (Buildings System Factors)

ทั้ง 4 ตัวแปรเชิงเดี่ยวจะมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ซึ่งกันและกันต่อการบริโภคพลังงานในอาคาร และการออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับดัชนี $\Sigma U.S$ และ ดัชนี COP ทางด้านวัสดุป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารและการเลือกประสิทธิภาพเครื่องกลปรับอากาศที่ดี เป็นกลุ่มตัวแปรแรกที่เอื้อต่อแนวทางที่จะนำไปสู่การประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้สะดวกที่สุด โดยต้องพิจารณา

ให้สอดคล้องกับงบประมาณในก่อสร้าง ดัชนีตัวแปร Δt มีข้อจำกัดหลายอย่างทางกายภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารในเมือง ทำให้ไม่สามารถสร้างสภาพแวดล้อมของอาคารได้ดีเท่าที่ควร ส่วนดัชนีตัวแปร S/A ซึ่งถือได้ว่าเป็นตัวแปรสำคัญหลักในการสร้างแบบโครงสร้างที่ประหยัดพลังงาน ซึ่งควรพิจารณาให้รอบคอบตั้งแต่ขั้นตอนออกแบบอาคาร เพื่อส่งผลต่ออาคารที่ก่อสร้างจริงให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด

2.6 การตรวจวิเคราะห์อาคาร

การออกแบบอาคารมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เช่น การวางทิศทางตัวอาคาร หากมีพื้นที่ด้านที่รับหรือกระทบแสงแดดโดยตรงเป็นสัดส่วนที่มากเมื่อเทียบกับพื้นที่อาคารทั้งหมด อัตราการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้ตัวอาคารก็มากขึ้นตามไปด้วย การออกแบบช่องเปิดของอาคารก็เช่นกัน หากเปิดในด้านที่รับแสงแดดโดยตรง ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศก็เพิ่มตามไปด้วย

อาคารประหยัดพลังงานที่แท้จริง จะต้องมีการลงทุนการก่อสร้างไม่มากไปกว่าการก่อสร้างด้วยเทคนิควิธีการทั่วไป การผสมผสานวิธีการก่อสร้างและการออกแบบระบบอาคาร ต้องชี้ให้เห็นแนวทางในการลดภาระการลงทุน เช่น ราคาของแผงกันแดดต้องหักกลับกันได้ด้วยการลดภาระค่าใช้จ่ายของการลงทุนระบบปรับอากาศ

โดยทั่วไปของการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จะต้องพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุน ความซับซ้อนของอาคารและงานระบบ รวมทั้งความสะดวกในการใช้งานพร้อมๆ กัน

หลักของการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในส่วนของประเทศไทยนั้น การประหยัดพลังงานเป็นอีกมาตรการหนึ่งที่ได้รับการส่งเสริมจากรัฐ โดยมีการออกพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุมกระทรวงออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2535) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV) คือ การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม มาจากค่าเฉลี่ยต่อตารางเมตรของปริมาณความร้อนจากผนังภายนอกที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารเข้ามาส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

อาคาร (RTTV) นั้นคือการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยผ่านหลังคาเท่านั้น สำหรับพื้นที่ปรับอากาศ โดยกำหนดให้อาคารที่สร้างหลังปี พ.ศ. 2536 จะต้องมียุทธศาสตร์ OTTV ไม่เกิน 45 วัตต์/ตร.ม. และ RTTV จะต้องมียุทธศาสตร์ไม่เกิน 25 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการหามาตรการในการชี้วัดการใช้พลังงาน แต่เมื่อเทียบถึงดัชนีชี้วัดที่ใช้ในภูมิภาคอื่นแล้วยังคงต้องการพัฒนาในแนวทางที่ถูกต้องเป็นอย่างมาก และสิ่งสำคัญก็คือผู้ใช้อาคาร และผู้ออกแบบ มีความสนใจในการประหยัดพลังงานไม่มากเท่าที่ควร นอกจากหน่วยงานที่รับผิดชอบหรือ บริษัทสถาปนิกที่ต้องทำมาตรฐานเดียวกับต่างประเทศ และการประเมินอาคารแบบใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ คำนวณ OTTV และ RTTV เป็นเรื่องซับซ้อนสำหรับบุคคลทั่วไปที่จะเข้าใจเนื่องจากต้องมีทักษะในการใช้คอมพิวเตอร์ และศัพท์เทคนิคในการประหยัดพลังงาน แม้กระทั่งข้อจำกัดหลายอย่างของโปรแกรมซึ่งคำนึงถึงเพียงการลดภาระการใช้พลังงานในอาคารผ่านเปลือกอาคารให้ผ่านตามกฎหมายเท่านั้น

ปัจจุบันกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ ได้ร่วมกับกรมโยธาธิการและผังเมืองกำลังจะมีการปรับปรุงพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฯหรือปรับปรุง OTTV และ RTTV ขึ้นมาใหม่ โดยจัดทำร่างกฎกระทรวงว่าด้วยการก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงาน สำหรับอาคารใหม่ (<http://www.tei.or.th/hotnews/070918-energy1-matchon.htm>) ที่มีพื้นที่ 2,000 ตร.ม. ขึ้นไป ที่ขออนุญาตก่อสร้าง จะต้องแสดงแบบการก่อสร้างอาคารที่ใช้วัสดุพื้นผิวและระบบประหยัดพลังงานด้วย อาคารที่อยู่ในข่ายที่ต้องควบคุม ได้แก่

ประเภทที่ 1 อาคารสำนักงาน, สถานศึกษา, ที่พักอาศัย

ประเภทที่ 2 ห้างสรรพสินค้า, ร้านค้าย่อย, ศูนย์การค้าหรือซูเปอร์สโตร์

ประเภทที่ 3 โรงแรม, โรงพยาบาล, สถานพักผ่อน

เฉพาะอาคารที่มีพื้นที่ต่ำกว่า 2,000 ตร.ม. นั้นสามารถเข้าโครงการประหยัดพลังงานโดยติดฉลากประหยัดพลังงาน ซึ่งจะต้องประหยัดพลังงานได้ไม่ต่ำกว่า 10% ของการใช้พลังงานทั้งหมด ซึ่งข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร (OTTV, RTTV) แสดงรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2-7 แสดงค่าขั้นต่ำของประสิทธิภาพการใช้พลังงานผ่านเปลือกอาคาร

ประเภทอาคาร	ชั่วโมงการใช้ต่อปี	OTTV (W/m ²)	RTTV (W/m ²)
สำนักงานหรือโรงเรียน	2,340	<50	<15
ห้างสรรพสินค้า	4,380	<40	<12
โรงแรมหรือโรงพยาบาล	8,760	<30	<10

ตารางที่ 2-8 แสดงค่ามาตรฐานของค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (ส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ)

อาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร, RTTV(W/m ²)	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร, OTTV (W/m ²)
อาคารเก่า	25	55
อาคารใหม่	25	45

อาคารที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางวันมาก เช่น อาคารประเภทสำนักงาน (8.00-17.00) จะถูกเพิ่มค่า OTTV และ RTTV มากกว่าเดิม 5 วัตต์/ตร.ม. ส่วนอาคารที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางคืนและใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง จะถูกกำหนดค่าต่ำลงตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้นจากแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยหลัก โดย

- ค่ามาตรฐานกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทที่ 1 สูงสุด 14 วัตต์/ตร.ม. ประเภทที่ 2 สูงสุด 12 วัตต์/ตร.ม. ประเภทที่ 3 สูงสุด 18 วัตต์/ตร.ม.
- ค่ามาตรฐานสำหรับระบบปรับอากาศ แบ่งตามขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก, ขนาดใหญ่ และเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption Chiller)
- ค่ามาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ผลิตความร้อน และ
- ค่ามาตรฐานการใช้พลังงานโดยรวม

การเพิ่มเติมมีขึ้นในส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ และภาระการใช้ไฟฟ้าจากดวงโคม รวมถึงชั่วโมงการใช้งานของอาคาร ดังนั้น อาคารประเภทสำนักงาน อาคารประเภทห้างสรรพสินค้าและอาคารประเภทโรงแรม โรงพยาบาลจึงกำหนดมาตรฐานค่า OTTV และ RTTV (S. Chirattananon, 2549) ไม่เท่ากัน เพื่อที่จะทำให้การกำหนดค่าต่างๆของอาคารมีมาตรฐานที่ชัดเจนต่อการใช้พลังงานยิ่งขึ้นสำหรับ OTTV และ RTTV ใหม่ นี้ จะมีประโยชน์สำหรับผู้เข้าใจและ

คุ้นเคยกับกฎหมายเดิมสามารถนำไปแจกแจงผลได้ละเอียดขึ้น นอกเหนือจากการลดภาระใช้พลังงานในอาคารผ่านเปลือกอาคารเหมือนเดิม แต่เพิ่มความซับซ้อนสำหรับบุคคลทั่วไปที่จะเข้าใจมากขึ้นไปอีก ซึ่งในปัจจุบันมีการริเริ่มที่ใช้แบบประเมินพลังงานในอาคารสำหรับประเทศไทย โดยทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จัดทำโครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานโดยมีแนวทางใช้แบบประเมินเริ่มจาก แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

สำหรับประเทศไทย(Thailand Energy and Environmental Assessment Method; TEEAM)เมื่อปี พ.ศ.2549 (ธนิต จินดาวงศ์, พรรณชลัท สุริโยธิน และ วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ ,2550.) และพัฒนาต่อเนื่องมาโดยการติดฉลากให้กับอาคาร โดยมีโครงหลักของการประเมินคล้ายคลึงกับดัชนี LEED ของสหรัฐอเมริกาที่มักนำไปใช้กันทั่วโลก โดยแยกออกเป็น 9 หมวดย่อยได้แก่

- สถานที่ตั้งอาคาร
- ผังบริเวณและงานภูมิสถาปัตยกรรม
- เปลือกอาคาร
- ระบบปรับอากาศ
- ระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง
- พลังงานทดแทนและการจัดการพลังงาน
- ระบบสุขาภิบาล
- วัสดุและการก่อสร้าง
- เทคนิคการออกแบบและกลยุทธ์ประหยัดพลังงานรักษาคุณภาพแวดล้อม

โครงการนี้เป็นโครงการที่ประเมินศักยภาพของอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามเกณฑ์ที่กำหนดของแบบประเมินอาคารดังกล่าว ซึ่งเมื่อผ่านเกณฑ์ประเมินแล้วแต่ละชั้นจะได้รับฉลากติดอาคาร ตามภาพ 2-3 เป็นระดับดีเด่นจะได้ฉลากทอง ระดับดีมากได้ฉลากเงิน และระดับดีได้ฉลากทองแดง

2.7 ปปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

2.7.1 ปปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นกระบวนการสมดุลธรรมชาติที่โลกนี้อยู่ได้ โดยมีก๊าซหลายชนิดปกคลุมชั้นบรรยากาศโลกไว้ ก๊าซเหล่านั้นที่สำคัญ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) โอโซน (O₃) ก๊าซอื่นๆ รวมทั้งไอน้ำ

รอบๆโลก เปรียบเสมือนมีเรือนกระจกขนาดยักษ์ที่ประกอบด้วยก๊าซดังกล่าว ที่ยอมให้รังสีดวงอาทิตย์ช่วงคลื่นสั้นผ่านเข้ามาถึงผิวโลกได้ แล้วเก็บกักรังสีความร้อนไว้ด้วยมวลของโลก พลังงานที่ถูกเก็บไว้ กลับมาให้ความร้อนแก่ผิวโลกและชั้นบรรยากาศโดยรอบ

โลกรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์พลังงานเกือบทั้งหมด มีขนาดความยาวช่วงคลื่นที่มองเห็นได้และในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดที่เกือบมองเห็น (บางครั้งเรียกว่าช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด) โลกมีอัตราส่วนรังสีสะท้อน (albedo) ประมาณ 30% ของรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่ลงมา ที่เหลือร้อยละ 70 จะถูกดูดซับไว้ ทำความอบอุ่นให้แก่พื้นดิน บรรยากาศ และมหาสมุทร

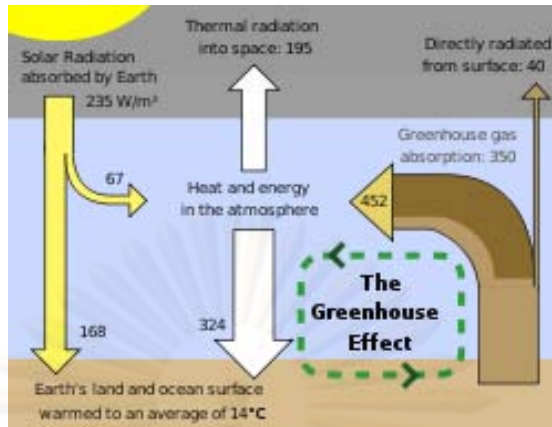
การที่อุณหภูมิของโลกอยู่ในภาวะเสถียรซึ่งไม่ร้อนขึ้นหรือเย็นลงอย่างรวดเร็วเกินไปได้นั้น การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของโลก จะต้องอยู่ในสภาวะสมดุลเป็นอย่างมากกับรังสีอินฟราเรด ที่สะท้อนกลับออกสู่อวกาศ โดยที่ความเข้มของการแผ่กระจายรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ เราจึงคิดว่าอุณหภูมิของโลกขึ้นอยู่กับปริมาณของฟลักซ์หรือแรง (flux) ของอินฟราเรดที่จะต้องถ่วงดุลกับฟลักซ์ของรังสีดวงอาทิตย์ การแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์เกือบทั้งหมดทำพื้นผิวของโลกร้อนขึ้น ไม่ใช่เป็นการทำให้บรรยากาศร้อนขึ้น บรรยากาศชั้นบนไม่ใช่ผิวโลกที่เป็นตัวช่วยให้การแผ่กระจายรังสีอินฟราเรดหนีออกสู่อวกาศ โฟตอนอินฟราเรดที่ส่งออกมาทางผิวโลกเกือบทั้งหมดจะถูกดูดซับไว้ในบรรยากาศโดยก๊าซเรือนกระจกและเมฆ ไม่ได้หนีออกโดยตรงสู่อวกาศ

เหตุผลที่พื้นผิวโลกร้อนขึ้นนี้อาจทำให้เข้าใจได้ง่ายๆ ด้วยการเริ่มต้นจากการใช้แบบจำลองปรากฏการณ์เรือนกระจกอย่างง่ายที่คิดเฉพาะการแผ่กระจายรังสีโดยไม่นำไปรวมกับการถ่ายโอนพลังงานในบรรยากาศโดยการพาความร้อน (sensible heat transport) และการระเหยและการกลั่นตัวของไอน้ำ (latent heat transport) ในกรณีการคิดการแผ่กระจายรังสีเพียงอย่างเดียวนี้ เราอาจคิดได้ว่าบรรยากาศแผ่กระจายรังสีอินฟราเรดทั้งจากด้านสู่ด้านบนลงมาและจาก

ด้านล่างขึ้นไป พลังค์ของรังสีอินฟราเรดที่ปล่อยออกจากผิวโลก จะต้องสมดุลไม่เพียงกับการดูดกลืนพลังค์ของรังสีดวงอาทิตย์เท่านั้น แต่จะต้องสมดุลกับพลังค์ของอินฟราเรดที่บรรยากาศปล่อยลงมาด้วย อุณหภูมิพื้นผิวโลกจะร้อนขึ้นจนถึงระดับการปลดปล่อยความร้อนในปริมาณเท่ากับผลรวมของรังสีดวงอาทิตย์และอินฟราเรดที่เข้ามา

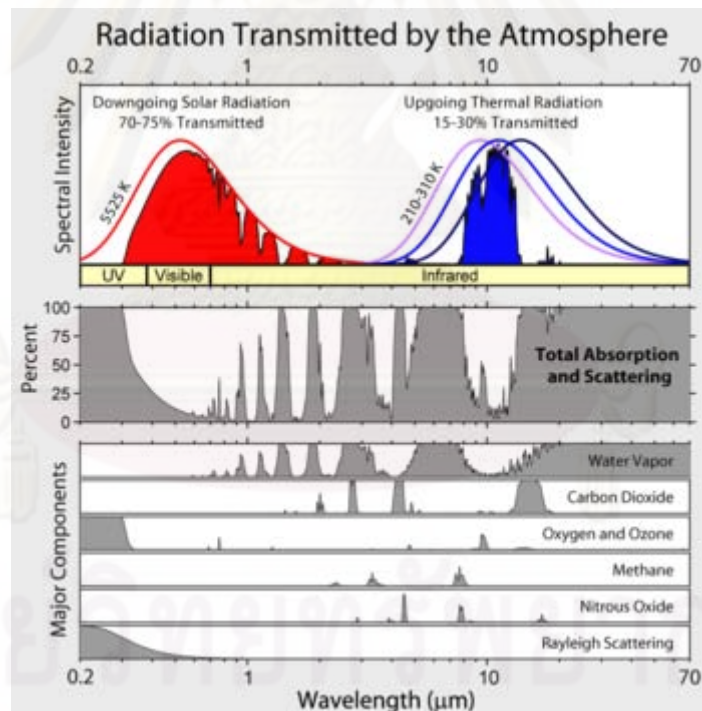
ภาพชัดเจนกว่าที่อาจนำมาคิดกับพลังค์การพาความร้อน และความร้อนแผ่รังสีนั้นออกจะซับซ้อนมากกว่า แต่แบบจำลองอย่างง่ายที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้สามารถแสดงแก่นสารได้ชัดเจนกว่า โดยเริ่มจากการสังเกตที่เห็นได้ว่าภาวะที่บ่งแสงของบรรยากาศที่มีต่อการแผ่รังสีอินฟราเรดว่าเป็นตัวกำหนดช่วงสูงของไฟตอนในบรรยากาศเกือบทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกสู่ห้วงอวกาศ หากบรรยากาศมีภาวะที่บ่งแสงมากขึ้น ไฟตอนทั่วไปที่จะหนีออกสู่ห้วงอวกาศจะถูกปลดปล่อยจากชั้นบรรยากาศที่สูงขึ้น เนื่องจากการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรดคือตัวทำให้เกิดความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิของบรรยากาศในระดับการปลดปล่อยทำให้เกิดผลจึงถูกกำหนดโดยความต้องการที่พลังค์ของการปลดปล่อยสมดุลกับการดูดกลืนพลังค์ของรังสีดวงอาทิตย์

แต่อุณหภูมิของบรรยากาศโดยทั่วไป จะลดลงตามความสูงเหนือผิวพื้นในอัตราประมาณ 6.5°C ต่อความสูง 1 กิโลเมตรโดยเฉลี่ย จนถึงบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ความสูงประมาณ 10 – 15 กิโลเมตรจากผิวโลก (ไฟตอนเกือบทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกสู่ห้วงอวกาศโดยบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ซึ่งเป็นอาณาบริเวณที่อยู่ระหว่างผิวโลกกับสตราโตสเฟียร์ ดังนั้นเราจึงไม่นับบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์) แบบจำลองที่ง่ายที่สุดแต่เป็นแบบที่มีประโยชน์ที่สุดได้แก่แบบจำลองที่มีสมมุติฐานว่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิมีความคงที่และพลังค์ของพลังงานเป็นแบบไม่มีการแผ่กระจาย และกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ ณ ระดับพลังค์ของการแผ่กระจายรังสีที่หนีออกสู่ห้วงอวกาศ ด้วยแบบจำลองนี้เราสามารถคำนวณอุณหภูมิผิวพื้นโดยการเพิ่มของอุณหภูมิในอัตรา 6.5°C ต่อการต่ำลงทุก 1 กิโลเมตร จนถึงผิวโลก ยิ่งบรรยากาศมีภาวะที่บ่งแสงมากขึ้นและระดับของการปลดปล่อยรังสีอินฟราเรดที่เพิ่มสู่ห้วงอวกาศมีมากขึ้นเท่าใด ผิวพื้นของโลกก็จะร้อนขึ้นเท่านั้น (ที่มา: วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี)



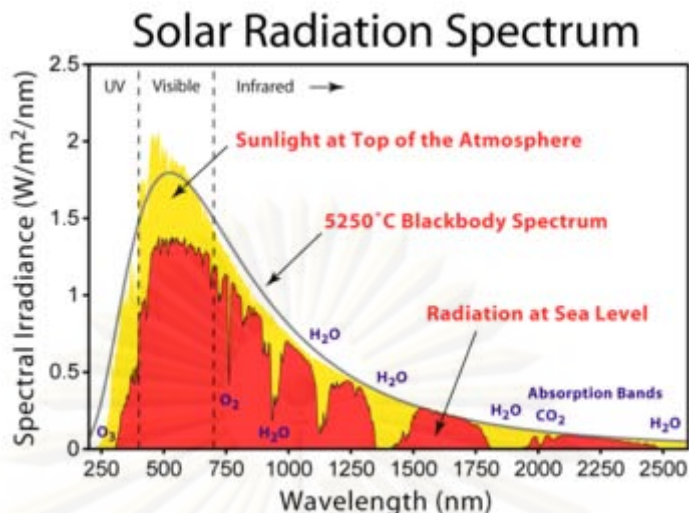
ภาพที่ 2-2 แสดงการเกิดภาวะเรือนกระจก

จากภาพแสดงให้เห็นระหว่างพลังงานในอวกาศ พลังงานในบรรยากาศของโลก และพลังงานที่พื้นผิวโลก ชัดความสามารถของบรรยากาศที่อุ่นและรีไซเคิลพลังงานที่เปล่งจากผิวโลกเป็นตัวกำหนดลักษณะของปรากฏการณ์เรือนกระจก



แผนภูมิที่ 2-8 แสดงลักษณะแถบการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

จากภาพแสดงลักษณะแถบการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และรังสีสะท้อนกลับจากพื้นผิวโลกของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ โปรดสังเกตรังสีสะท้อนกลับสู่ท้องฟ้าที่ถูกดูดซับไว้เป็นปริมาณที่มากกว่า ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก



แผนภูมิที่ 2-9 แสดงระดับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

หากปราศจากก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ ความร้อนที่ส่งมายังโลกจะสะท้อนกลับสู่อวกาศ แล้วโลกก็จะเย็นยะเยือกไร้สิ่งมีชีวิต (อุณหภูมิจะหนาวกว่าสภาวะปกติประมาณ 33°C) ก๊าซเรือนกระจกทำให้ผิวโลกและชั้นบรรยากาศโดยรอบมีความอบอุ่น อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 15°C และรักษาระดับความชื้นที่พอเหมาะ (British Columbia Ministry of Environment, Land & Parks, <http://www.elp.gov.bc.ca/epd/epdpa/ar/climate/gccasu/html>, 2000)

2.7.2 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases - GHGs)

พบได้ในชั้นบรรยากาศในปริมาณไม่มากนักโดยธรรมชาติ ส่วนพลังงานความร้อนในรูปรังสีคลื่นยาว (Infrared) จะถูกปล่อยกลับสู่ชั้นบรรยากาศผ่านชั้นก๊าซเรือนกระจกออกไปสู่อวกาศ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และโอโซน (O_3)

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศโดยผ่านกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเช่นเดียวกับการทำลายทรัพยากรป่าไม้ ต้นไม้สามารถกักเก็บเอาพลังงานไว้ในกระบวนการเจริญเติบโตเป็นแหล่งสะสมพลังงานชีวภาพ ที่สามารถแยกคาร์บอนออกมาได้ตามกรรมวิธี เป็นการลดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่จะถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศที่มีประสิทธิภาพอย่างยิ่ง ก๊าซมีเทน (CH_4) โดยปกติแล้วจะเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ ภายใต้สภาวะขาดออกซิเจน (O_2) ในพื้นที่น้ำท่วมขังดินขาดออกซิเจน ทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นได้นอกจากนี้ การทำปศุสัตว์ก็เป็นแหล่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทนด้วยระบบการย่อยอาหารของสัตว์ การบำบัดน้ำเสีย

โดยระบบธรรมชาติบนผิวดินก็ก่อให้เกิดก๊าซมีเทนด้วยเช่นกัน นอกจากกระบวนการธรรมชาติแล้ว ไนโตรัสออกไซด์(N_2O) ก็ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอีกด้วย

2.7.2.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

นักวิทยาศาสตร์ผู้เชี่ยวชาญเรื่องก๊าซเรือนกระจกให้ความสนใจเป็นอย่างมากต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีผลเป็นอย่างมากในการทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว(จาก 280 ถึง 360 ppmv) ในระยะเวลา 50 – 200 ปี ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นประมาณ 30% มาตั้งแต่ต้นยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรมที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 10% ในระยะเวลา 10,000 ปี

หากพิจารณาถึงระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในระยะเวลา 160,000 ปีที่ผ่านมาแล้ว ปัจจุบันระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เพิ่มขึ้นในปริมาณสูงมาก และถ้าหากอัตราการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นไปในระดับนี้เรื่อยๆ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นถึง 500 ppmv ในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 21 แล้วจะเพิ่มขึ้นไปอีกในไม่กี่ร้อยปีข้างหน้า จากการศึกษาแนะนำว่า การจะลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ต่ำกว่า 750 ppmv มนุษย์เราจะต้องช่วยกันลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เสียตั้งแต่วันนี้ (University of Nebraska-Lincoln, <http://pw2.netcom.com/~kmgenious/ge2ases.html>, 2000)

2.7.2.2 ก๊าซมีเทน (CH_4)

ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นก๊าซที่มีความสำคัญรองลงมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนในชั้นบรรยากาศได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่าในระยะเวลา 100 ปีอย่างไรก็ตามมีเทนก็มีความเข้มข้นน้อยกว่าและอยู่ในชั้นบรรยากาศได้สั้นกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศได้เพิ่มสูงขึ้นจาก 700 ppbv เป็น 1720 ppbv มาตั้งแต่ยุคก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรม เท่ากับมีอัตราเพิ่มขึ้น 145% ระยะเวลาที่มีเทนอยู่ในชั้นบรรยากาศคือประมาณ 12-17 ปี

ถ้าหากปริมาณการปลดปล่อยมีเทนอยู่ในอัตราคงที่เท่าปัจจุบัน ความเข้มข้นจะสูงขึ้นในระดับ 1900 ppbv ในอีกไม่ถึง 50 ปี จึงได้มีการเสนอให้ลดการปลดปล่อยมีเทนลงในอัตรา 10% จึงจะทำให้โลกนี้อยู่ต่อไปได้ในสภาวะสมดุล (University of Nebraska-Lincoln, <http://pw2.netcom.fdc.com/~kmgenious/ge2ases.html>, 2000)

2.7.2.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O)

ก๊าซไนตรัสออกไซด์(N₂O) เป็นก๊าซที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งในก๊าซเรือนกระจก สามารถกักเก็บความร้อนได้ดีกว่าทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน อีกทั้งอยู่ในชั้นบรรยากาศได้ยาวนานกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามตัวการที่ทำให้เกิดไนตรัสออกไซด์นั้นมีน้อยและมีความเข้มข้นต่ำในชั้นบรรยากาศ ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ในชั้นบรรยากาศได้เพิ่มสูงขึ้นจาก 275 ppbv เป็น 310 ppbv มาตั้งแต่ยุคก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรม เท่ากับมีอัตราเพิ่มขึ้น 13% มีการประเมินว่า ก๊าซไนตรัสออกไซด์มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนในชั้นบรรยากาศได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 310 เท่าในระยะเวลา 100 ปี ระยะเวลาที่มีเทนอยู่ในชั้นบรรยากาศคือประมาณ 120 ปี

ถ้าหากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์อยู่ในอัตราคงที่เท่าปัจจุบัน ความเข้มข้นจะสูงขึ้นจาก 311 ppbv ไปถึง 400 ppbv ในอีกไม่กี่ร้อยปี จึงได้มีการเสนอให้ลดการปลดปล่อยมีเทนลงในอัตรา 50% จึงจะทำให้โลกนี้อยู่ต่อไปได้ในสภาวะสมดุล (University of Nebraska-Lincoln, <http://pw2.netcom.fdc.com/~kmgenious/ge2ases.html>, 2000)

2.7.3 ความผิดปกติของอุณหภูมิโลก

ในปี ค.ศ. 1997 คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) ประกอบด้วยนักวิทยาศาสตร์กว่า 2,500 คนจาก 150 ประเทศ จากหลายสถาบันคุ้มครองสิ่งแวดล้อม โรงงานอุตสาหกรรมและหน่วยงานของรัฐ ได้มีรายงานว่ามนุษย์เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global warming) จากการศึกษาได้มีการยืนยันว่าในปี ค.ศ. 1996 และ 1997 อุณหภูมิโลกได้ถูกบันทึกว่ามีอุณหภูมิสูงขึ้น เกิดสภาวะเรือนกระจก และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในชั้นบรรยากาศ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณ 7,000 ตันต่อปีทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 4-5°C ทั่วโลก ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 1-1.5 เมตร ในคริสต์ศตวรรษที่ 21 รวมทั้งผลกระทบภาวะหนาวจัดและร้อนจัด และเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ที่ไม่เคยประสบภัยน้ำท่วมมาก่อน (การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2000)

นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่าน้ำแข็งขั้วโลกเริ่มละลาย และเมื่อขุดลงไปใต้พื้นขั้วโลกเหนือ เช่น ที่แฟร์แบงก์ในรัฐอลาสก้ามีอุณหภูมิใต้พื้นสูงขึ้น แต่ก็มีปรากฏการณ์ประหลาดที่หลายพื้นที่มีอุณหภูมิลดต่ำลงในปีค.ศ. 1997 เช่นที่ชายฝั่งตะวันออกของอเมริกาเหนือ ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน

และประเทศจีน อาจเป็นเพราะว่าพื้นที่บริเวณนั้นถูกปกคลุมไปด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ที่ปิดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ให้สะท้อนกลับสู่อวกาศ

แม้ไม่มีข้อหลักฐานยืนยันชัดเจนว่าจะอะไรจะเกิดขึ้นหากวิกฤติโลกร้อนยังคงเกิดอย่างต่อเนื่อง แต่สิ่งที่เห็นแล้วในปัจจุบันคือระดับน้ำทะเลสูงขึ้นเฉลี่ย 10 นิ้ว คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ(Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) ได้ประเมินว่าระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้นอีกเป็น 12 นิ้วในปี ค.ศ.2050 และสูงขึ้น 23 นิ้วในปี ค.ศ. 2100 ซึ่งทำให้พื้นที่ชายฝั่งสหรัฐอเมริกาหายไปประมาณ 10,000 ตารางไมล์ และถ้าระดับน้ำทะเลสูงขึ้นถึง 2 เมตร เกาะสมิธในอ่าวเซอปีคจะจมหายไปทั้งเกาะ ชายหาดที่มอเนนาทีในมลรัฐนิวเจอร์ซีย์และลองไอแลนด์ในนิวยอร์กจะจมหายไป 100 ฟุตก่อนปี ค.ศ.2050 (TEI, 1997).

2.7.4 ศักยภาพในการดูดกลืนความร้อน (Global Warming Potential)

ความไม่คงที่ในปริมาณกลุ่มก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศและการแผ่รังสี เรียกว่า ศักยภาพทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน(Global Warming Potential - GWP) ซึ่งจะบ่งบอกผลกระทบโลกร้อนที่เกิดจากมวลสารนั้นๆที่สัมพันธ์กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เช่นตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2-9 แสดงศักยภาพในการดูดกลืนความร้อน (IPCC, 1996b)

Gas (100 Years)	GWP
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

ดังเช่นก๊าซจำพวกนี้จะแสดงในรูปแบบของหน่วยเมตริกตันของคาร์บอนเทียบเท่า (Million of Metric Tones of Carbon Equivalent – MMTCE) ซึ่งคาร์บอนมีน้ำหนัก 12/44 ของคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำหนักของก๊าซเรือนกระจกจะมีหน่วยเป็น Terragrams (T_g) การคำนวณหาการปลดปล่อยคาร์บอนเทียบเท่าของก๊าซเรือนกระจกสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{MMTCE} = (T_g \text{ of gas}) \times (\text{GWP}) \times (12/44)$$

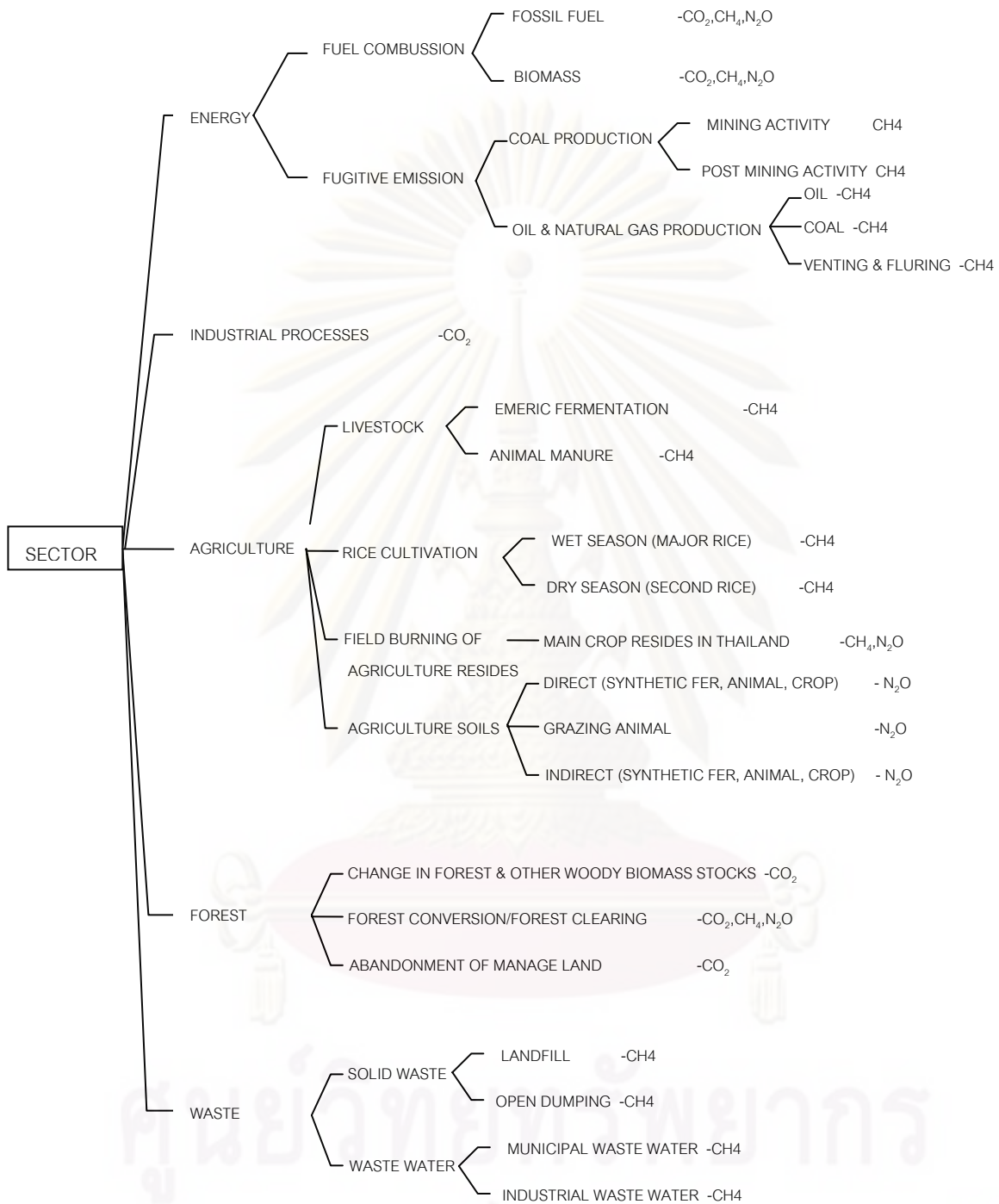
2.7.5 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย

ในปี ค.ศ.1990 ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ 3 ชนิดที่ประเทศไทยได้ปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 164 ล้านตัน ก๊าซมีเทน (CH₄) 2.8 ล้านตัน (เท่ากับ 58 ล้านตันของคาร์บอนเทียบเท่า) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) 0.01 ล้านตัน (เท่ากับ 3 ล้านตันของคาร์บอนเทียบเท่า) (TEI, 1997)

จากรายงานปี ค.ศ.1997 แสดงให้เห็นว่าภาคส่วนกิจกรรมที่ปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกมี 3 ภาคส่วนสำคัญ ได้แก่ การพลังงาน การป่าไม้ และภาคเกษตรกรรมตามลำดับ จาก 5 ภาคส่วนกิจกรรมดังตาราง

ตารางที่ 2-10 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย ปี ค.ศ.1990 จำแนกตามประเภทกิจการ (TEI, 1997)

Sectors	Emission in CO ₂ equivalent (Million tones)	Emission (%)
All Energy	79	36
Industrial Process	10	4
Agriculture	54	24
Land use Change & Forestry	78	35
Waste	3	1
Total	225	100



แผนภูมิที่ 2-10 แสดง Flow chart ของกิจการต่างๆและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.8 วิธีวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

ในการวิเคราะห์การลงทุนทางการเงินมีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาว่าโครงการที่ลงทุนนี้เหมาะสมด้านการเงินอย่างไร โดยพิจารณาจากผลตอบแทนด้านการลงทุน และผลการดำเนินโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าใด โดยทั่วไป เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนการลงทุน

2.8.1 ระยะเวลาคืนทุน (Simple payback period)

ระยะเวลาคืนทุนคือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้ก็คือ จะทำให้ทราบว่าจะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วถือว่าความคุ้มค่าการลงทุนสูง เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลง และสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในโครงการอื่น ๆ ได้ วิธีหาระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้นเป็นวิธีที่คิดแบบง่าย ๆ และเป็นที่ยอมรับใช้ แต่มีข้อเสียคือไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุนแล้ว และไม่ได้พิจารณาการปรับมูลค่าเงินตามเวลา ซึ่งหาได้ดังนี้

สำหรับกรณีที่ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี ระยะเวลาคืนทุนหาได้ดังนี้

$$n = \frac{TS}{Y_i}$$

เมื่อ n = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

TS = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)

Y_i = ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาทต่อปี) (Net annual cash flow) ซึ่งคิดได้จากกระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี - กระแสเงินสดที่จ่ายต่อปี

กรณีที่ผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับต่อปีไม่เท่ากัน จะรวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปีจนกระทั่งถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน จำนวนปีนี้คือระยะเวลาคืนทุน

2.8.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หมายถึงผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายรับและค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ ซึ่งหาได้จากการนำค่ากระแสเงินสดสุทธิของแต่ละปีตลอดอายุโครงการมาปรับให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยใช้อัตราผลตอบแทนที่ต่ำสุดที่ยอมรับได้เป็นอัตราส่วนลดในการปรับมูลค่าเงิน เกณฑ์ในการตัดสินใจที่จะลงทุนหรือไม่คือ ถ้า NPV มีค่าเป็นบวกก็น่าสนใจที่จะลงทุน แต่ถ้า NPV มีค่าเป็นลบ ก็ไม่ควรลงทุน วิธีนี้คำนวณหาได้ง่ายดังนี้

$$NPV = \left[\frac{b_1 - c_1}{(i+1)} \right] + \left[\frac{b_2 - c_2}{(i+1)^2} \right] + \dots + \left[\frac{b_n - c_n}{(i+1)^n} \right] - k_0$$

เมื่อ	NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)
	k_0	=	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (บาท)
	b_1	=	ผลตอบแทนในปีที่ 1,2,3,...,n (บาท)
	c_1	=	ค่าใช้จ่ายในปีที่ 1,2,3,...,n (บาท)
	i	=	อัตราดอกเบี้ย (%)
	t	=	ปีของโครงการ คือปีที่ 1,2,3,...,n (ปี)
	n	=	อายุโครงการ (ปี)

2.8.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal rate return; IRR)

อัตราผลตอบแทนการลงทุน หมายถึง อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุน วิธีการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนนี้หาได้โดยวิธีการลองผิดลองถูก โดยหาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่ได้รับมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่จ่าย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ หาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net present value) เท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ ค่าอัตราส่วนลดที่หาได้นี้คือค่า IRR

เกณฑ์ในการตัดสินใจคือ ถ้า IRR มีค่ามากกว่าอัตราขั้นต่ำของผลตอบแทนที่ยอมรับได้ก็คุ้มค่าที่จะลงทุน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า IRR จะเป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ดี และเป็นที่ยอมรับทั่วไป แต่ก็มีจุดอ่อนคืออาจมีค่าของอัตราส่วนลดมากกว่าหนึ่งค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้กับโครงการที่ผลตอบแทนสุทธิเปลี่ยนจากบวกเป็นลบ

IRR คือ i ที่ทำให้ $NPV(i) \sim 0$ ถ้าให้ NPV เท่ากับ 0 จะได้สมการดังนี้

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(i+r)^t} = 0$$

โดยที่ B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t (บาท)

C_t = ค่าใช้จ่ายในปีที่ t (บาท)

T = ปีของโครงการ คือปีที่ 1,2,3,...,n (ปี)

R = อัตราส่วนลด (%)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ เพื่อเป็นต้นแบบการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง หลังคา ฝ้า ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง และอุปกรณ์ภายในอาคาร เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับการศึกษา มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและ การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD

ขั้นตอนที่ 4 เสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารโดยเปรียบเทียบภาระการทำความเย็น วัสดุ วิธีการและการลงทุน

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงอาคารจริง เก็บข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร

ขั้นตอนการตรวจวัด วิเคราะห์ประเมินการใช้พลังงาน โดยข้อมูลสภาพอากาศจริงจาก ความชื้นสัมพัทธ์ แบ่งการสำรวจออกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

3.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและที่ตั้งโดยรอบอาคาร ประกอบด้วย

1) การศึกษาลักษณะรูปร่างที่ดิน (landform) สํารวจลักษณะรูปร่างที่ตั้งรอบ ๆ อาคาร สภาพเนินดินสูง ต่ำ แอ่ง หรือหุบเขา จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกระแสลมท้องถิ่น

(1) การศึกษาพืชพรรณ (vegetation) สํารวจชนิด ตำแหน่ง ความสูง และปริมาณของต้นไม้ที่อยู่ใกล้เคียง

(2) การศึกษาแหล่งน้ำที่มีอยู่ในพื้นที่ (water body) สํารวจ ขนาด ตำแหน่ง และสภาพลักษณะของแหล่งน้ำ ที่อยู่ในบริเวณอาคาร

(3) การศึกษาสิ่งก่อสร้างข้างเคียง (built forms) สํารวจ ขนาด ตำแหน่ง และความสูงของอาคารและสิ่งก่อสร้างที่ตั้งอยู่ใกล้เคียง ว่ามีผลกระทบกับอาคารกรณีศึกษามากน้อยเพียงใด

2) การเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคาร

(1) การศึกษาลักษณะทิศทางแนวแกนอาคาร (orientation) เพื่อสํารวจหาทิศทางที่แน่นอนของแนวอาคาร

(2) สํารวจ เก็บข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารและการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยอาคาร (zoning)

(3) ลักษณะวัสดุที่ใช้เป็นผนังและหลังคา สํารวจวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเพื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (u - value)

(4) ศึกษาสัดส่วนของช่องเปิดแต่ละทิศทางของอาคารต่อผนังที่บ (window to wall ratio)

3) การเก็บข้อมูลอัตราส่วนการใช้งานอาคารจำแนกประเภท

(1) จำแนกประเภทการใช้งานแต่ละพื้นที่ในอาคารและศึกษาลักษณะพฤติกรรมการใช้งานอาคารของผู้ใช้อาคาร

(2) เก็บข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคารในแต่ละแผนก แต่ละฝ่าย และจำนวนผู้ใช้งานภายในอาคารทั้งหมด

4) การเก็บข้อมูลสภาพอากาศเพื่อคำนวณวิธี CLTD

(1) อุณหภูมิอากาศ (temperature) เก็บข้อมูลจากจากกรม

อุตุนิยมวิทยาปี 2551

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ (radiation humidity, RH) เก็บข้อมูลจากจากกรม

อุตุนิยมวิทยาปี 2551

3.1.2 วิธีการสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร

เพื่อประกอบการวิเคราะห์และประเมินการใช้ไฟฟ้าในอาคาร และใช้ในการคำนวณวิธี CLTD มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1) การเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ผ่านมาของอาคาร

(1) ปริมาณค่าใช้จ่ายไฟฟ้าจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้า

(2) ช่วงเวลาการใช้พลังงานมากที่สุด

2) เก็บข้อมูลระบบปรับอากาศ

(1) ชนิดและลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

(2) ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

(3) ตารางการใช้งานและอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ

(4) การจัดกลุ่มและแบ่งพื้นที่ใช้สอยของเครื่องปรับอากาศ

(5) การดูแลและบำรุงรักษาเครื่อง

3) เก็บข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

(1) สำรวจ ชนิด ขนาด ปริมาณ วงจรการเปิด - ปิด ของดวงโคมหลอดไฟฟ้าและดวงโคม

(2) สำรวจปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ตรวจสอบได้โดยอาศัยการคำนวณ โดยกำหนดระยะเวลาที่ใช้งานจริงของอาคาร

4) ตรวจสอบข้อมูลระบบการให้แสงสว่างภายในอาคาร

การวัดค่าความส่องสว่างโดยการวัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร หรือถ้าเป็นสำนักงานให้วัดบนโต๊ะทำงาน โดยการวัดความส่องสว่าง (Lux) กรณีมีแสงสว่างธรรมชาติให้รวมอยู่ด้วย

- (1) วัดแสงสว่างธรรมชาติรวมกับแสงจากหลอดไฟ
- (2) ปิดไฟจากหลอดไฟฟ้าแล้ววัดเฉพาะแสงธรรมชาติ
- (3) กำหนดการวัดพร้อมกันระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร

5) ตรวจสอบข้อมูลระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร

- (1) ตรวจสอบ ชนิด ขนาด และปริมาณอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
- (2) ตรวจสอบปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตรวจสอบได้

โดยอาศัยการคำนวณ โดยกำหนดระยะเวลาที่ใช้งานจริงของอาคาร

3.1.3 วิธีการเก็บข้อมูลด้านสภาวะนำสบายภายในอาคาร

ระดับนำสบายในอาคาร มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วย โดยเฉพาะกับระบบเครื่องปรับอากาศ โดยมีวิธีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

1) การเลือกตำแหน่งตัวแทนเพื่อบันทึกข้อมูล เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีพื้นที่ใช้สอยหลัก 2 ส่วนคือ พื้นที่ด้านทิศเหนือและพื้นที่ด้านทิศใต้ แต่ละส่วนมีทั้งพื้นที่โล่งกั้นด้วยผนังชนิดเคลื่อนย้ายได้และส่วนที่กั้นเป็นห้องด้วยผนังทึบ จึงทำการบันทึกข้อมูลทุกบริเวณ อาคารมีการแบ่งกิจกรรมเป็น 2 ประเภท

(1) พื้นที่ห้องที่มีผนังทึบกั้น จะอยู่บริเวณติดผนังภายนอกอาคาร มีช่องแสงกระจกทุกห้อง ยกเว้นห้องควบคุมเครื่องถ่ายคอมพิวเตอร์

(2) พื้นที่ทำงานรวม เป็นพื้นที่โล่ง กั้นส่วนทำงานโดยผนังชนิดเคลื่อนย้ายได้ สูง 1.80 เมตร บริเวณกลางอาคาร มีช่องแสงในด้านที่ติดผนังด้านนอกอาคาร ส่วนใหญ่เป็นช่องแสงด้านทิศตะวันตก



ภาพที่ 3-1 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดข้อมูลสภาวะสบายในอาคารกรณีศึกษาส่วน
สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

2) วิธีการบันทึกค่าและเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ข้อมูลของตัวแปรที่มีผลต่อระดับสภาวะน่าสบาย ที่จะต้องทำการบันทึกมีดังนี้

(1) ในการวัดใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ชนิดอัตโนมัติ (digital) ตรวจวัดภายในอาคารแต่ละห้องที่เป็นตัวแทนจำนวนห้องละ 1 จุด

(2) เก็บข้อมูลการหาค่าวัดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (MRT) ในการวัดใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ตรวจวัดภายในอาคารซึ่งเลือกของผนังของห้องประชุมทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก จำนวนข้างละ 1 จุด

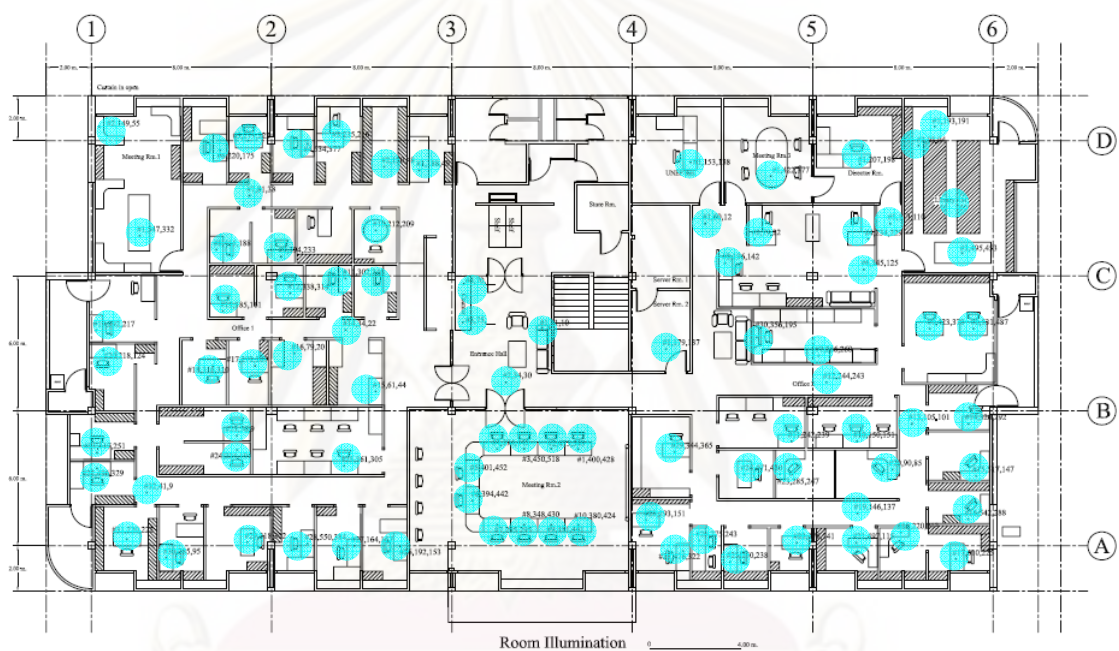
3.1.4 วิธีการเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระบบแสงสว่างภายในอาคาร

องค์ประกอบภายนอกอาคารที่มีผลต่อแสงธรรมชาติก่อนที่จะส่องผ่านเข้ามาในอาคาร ส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้

1) วัดปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติภายในและภายนอกอาคาร โดยการวัดระยะห่างของจุด 1 เมตร การวัดแสงในแต่ละจุดจะมีการวัดค่าความสว่างภายนอกพร้อมทุก

ครึ่งระดับความสูงของตำแหน่งที่วัด วัดที่ระดับความสูง 0.75 เมตร ซึ่งเป็นระดับของระนาบการทำงาน (work plane)

2) การเก็บค่าระดับความส่องสว่างจากธรรมชาติ นั้นเก็บข้อมูลเป็นอัตราส่วนค่าประสิทธิภาพของแสงสว่าง (daylight factor) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการหาค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้าสู่พื้นที่ภายในอาคาร ซึ่งหากสามารถทราบค่าความส่องสว่างภายนอก ณ ช่วงเวลาใด ๆ ก็จะสามารถทราบค่าความส่องสว่างภายในอาคารที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยอาศัยค่า daylight factor ณ ช่วงเวลานั้นได้



ภาพที่ 3-2 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดข้อมูลแสงสว่างในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

3.2 ประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมทั้งหมดนำมาประเมินและวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียตามสภาพอาคารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหาที่เกิดขึ้นให้ชัดเจน โดยแยกการประเมินออกเป็นระบบต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 ประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

การประเมินว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดถูกใช้ไปกับระบบใดบ้างเป็นปริมาณเท่าใดในแต่ละระบบ โดยการเก็บข้อมูลจากอาคารจริงและนำข้อมูลต่าง ๆ ที่รวบรวมได้มาเปรียบเทียบหาน้ำหนัก เพื่อกำหนดส่วนประกอบอาคารกรณีศึกษาที่ต้องปรับปรุงตามปัญหาที่พบจากการสำรวจ กำหนดแนวทางการปรับปรุงที่มีความเหมาะสมในเชิงเทคนิค ความเป็นไปได้ในการปรับปรุงแล้ว ศึกษาความเหมาะสมในด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

3.2.2 ประเมินระดับสภาวะน่าสบาย

ประเมินค่าระดับสภาวะน่าสบายภายในห้องที่ปรับอากาศโดยมีการพิจารณาจาก อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง รวมทั้งค่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นที่ผิวโดยรอบซึ่งจะเป็นค่าที่นำมาใช้ประเมินว่าสภาพภายในห้องตัวแทนของอาคารกรณีศึกษาให้อยู่ในระดับสภาวะน่าสบาย

3.2.3 ประเมินระดับความส่องสว่างของแสงสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

โดยใช้ค่า daylight factor ที่ได้จากการวัดค่าแสงธรรมชาติ รวมทั้งค่ามาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES ว่าภายในห้องที่เป็นห้องตัวแทนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่

3.2.4 ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) โดยการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนทั้ง 2 ค่า จากการสำรวจ และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดตามกฎหมาย

3.2.5 ประเมินอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็น (cooling load) ของระบบปรับอากาศแบ่งออกเป็น 7 ตัวแปรได้แก่

- 1) การนำความร้อนผ่านเปลือกอาคาร (conduction heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อนภายนอกผ่านเข้ามาทางเปลือกอาคาร

2) การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก (radiation heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกผ่านผนังกระจก เข้ามาภายในอาคาร

3) การรั่วไหลของอากาศภายในและภายนอก (infiltration heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากการรั่วไหลของอากาศผ่านการรั่วซึมจากรอยต่อของผนังหรือประตูหน้าต่าง

4) การระบายอากาศ (ventilation heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดการระบายอากาศจากพัดลมดูดอากาศ

5) ความร้อนจากระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ (lighting heat gain) เป็นภาระความร้อนที่เกิดจากผลทางอ้อมของดวงไฟที่นอกจากจะให้แสงสว่างแล้ว ยังให้ความร้อนออกมาอีกด้วย

6) ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร (occupant heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากร่างกายคนที่ใช้อาคารจะผลิตความร้อนออกมา 2 ชนิดคือ ความร้อนที่รู้สึกได้ (sensible heat gain) และความร้อนแฝง (latent heat gain)

7) ความร้อนจากระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (equipment heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากเครื่องไฟฟ้าบางชนิด ที่จะผลิตความร้อนออกมาด้วยในขณะที่ทำงาน

3.3 ออกแบบการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและ การคำนวณภาระทำความเย็น ด้วยวิธี CLTD

แนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นจากการประเมินและวิเคราะห์อาคาร พร้อมทั้งทราบปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน จึงจะสามารถเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารได้ โดยกำหนดแนวทางในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเพื่อลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

3.3.1 การออกแบบการวิจัย

1) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมที่ตั้งของโครงการ (Site and Location Factor)

อิทธิพลของตัวแปรกลุ่มนี้เป็นปัจจัยอันเกิดมาจากสถานที่ตั้งและสิ่งแวดล้อมโดยรอบของอาคารว่าเอื้ออำนวยต่อการลดภาระทำความเย็นและก่อให้เกิดความน่าสบายในอาคารได้มาก

น้อยเพียงใด ซึ่งถ้าสามารถปรับแต่งสภาพแวดล้อมบริเวณที่ตั้งอาคาร โดยปลูกต้นไม้ยืนต้นให้ร่มเงา (Shading) กับอาคาร จะเป็นแนวความคิดที่ดีที่สุดในการที่ไม่มีการใช้ระบบปรับอากาศ (Passive Design) เพราะเป็นเพียงวิธีการเดียวเท่านั้นที่จะช่วยปรับสภาวะภายในอาคารให้ใกล้เคียงกับสภาวะน่าสบายของมนุษย์โดยไม่ใช้เครื่องกลเช่นในกรณีที่พักอาศัยแบบเรือนไทยในสมัยโบราณ เป็นต้น แต่ในที่นี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ถึงศักยภาพในการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารในสภาพแวดล้อมปัจจุบันที่แตกต่างจากอดีต โดยกำหนดเงื่อนไขให้อาคารนั้นต้องสามารถปรับสภาวะภายในอาคารให้อยู่ในเขตสบายตลอดเวลา จึงมีเพียงการใช้ระบบเครื่องกลเท่านั้นที่จะช่วยปรับแต่งสภาวะภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่ต้องการตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการใช้ตัวแปรที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมบางตัวแปร เช่น การใช้ต้นไม้ขนาดใหญ่ พืชคลุมดิน และแหล่งน้ำขนาดใหญ่อย่างเหมาะสม สามารถช่วยทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงได้ถึงประมาณ $2 - 3^{\circ}\text{C}$ (สุนทร บุญญาธิการ และธนิศ จินดาวงนิค, 2538) เปรียบเทียบกับความแตกต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ถ้าในกรณีที่มีความแตกต่างอุณหภูมิประมาณ 15°C ก็แสดงว่าจะสามารถช่วยลดปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนผ่านผนังอาคาร ที่คำนวณได้จากสมการที่มีตัวแปรของความแตกต่างอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นถ้าอุณหภูมิอากาศภายนอกลดลง $2 - 3^{\circ}\text{C}$ ก็จะทำให้ปริมาณพลังงานความร้อนลดลงประมาณ 13% ถึง 20% แต่การที่จะปรับสภาพแวดล้อมให้ได้ผลจนกระทั่งสามารถลดอุณหภูมิอากาศบริเวณที่ตั้งโครงการลงจากเดิมได้มากถึง $2 - 3^{\circ}\text{C}$ นั้น จำเป็นต้องมีอาณาบริเวณที่ดินในบริเวณอาคาร อ้างถึงกฎหมายควบคุมการก่อสร้างอาคาร สำหรับอาคารที่ไม่ใช่อาคารขนาดใหญ่ นั้นจะเว้นที่ว่างไม่ต่ำกว่า 3 เมตรจากช่องเปิดของอาคารห่างจากแนวเขตที่ดิน ส่วนอาคารขนาดใหญ่ จะมีการควบคุมด้วยกฎหมายของผังเมืองในเรื่องอัตราส่วนของที่ว่างอันปราศจากสิ่งปกคลุมต่อพื้นที่อาคารรวมทุกชั้นของอาคารทุกหลังที่ก่อสร้างในที่ดินแปลงเดียวกัน (Open Space Ratio, OSR) โดยแต่เดิมจะระบุแค่ FAR (Floor Area Ratio, FAR) เพียงเท่านั้น ซึ่งมีพื้นที่เปิดโล่ง ไม่ต่ำกว่า 30% ของพื้นที่อาคารปกคลุมซึ่งเพียงพอต่อการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้น่าสบายขึ้น โดยเฉพาะอาคารที่มีระดับสูงประมาณ 15 เมตรเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความสูงของต้นไม้ยืนต้นยกตัวอย่างเช่น ต้นยางนา ตะแบก ประดู่ ชมพูพันทิพย์ ฯ มีความสูงประมาณ 10-15 เมตร ส่วนอาคารที่สูงกว่า 15 เมตรนั้นถือว่าได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิสภาพแวดล้อมน้อยลงตามลำดับ

2) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเปลือกอาคาร (Envelop Material Factor)

การพิจารณาถึงคุณสมบัติเฉพาะของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่นำมาใช้ (U-Value) กับพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยในอาคาร (Surface to Usable Area Ratio) พบว่าการคำนวณค่าพลังงานโดยทั่วไปนั้นมักจะคิดเพียงหลังคาและผนังเท่านั้นที่มีผลต่อภาวะการความเย็นของอาคาร (Knowles, R. L. : 1974) คิดรวมพื้นที่ชั้นล่างเข้าไปด้วยเพราะมีการส่งผลต่อการทำความเย็นของอาคารเช่นเดียวกันตามรายละเอียดต่อไปนี้

(1) ผนังอาคาร (Wall) ในที่นี้หมายถึงความรวมถึงทั้งผนังทึบ (Opaque Wall) และผนังโปร่งแสง (Transparent Wall) คุณสมบัติของตัวแปรที่มีผลต่อภาวะการทำความเย็นก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง ซึ่งสามารถใช้เทคนิคการคำนวณหาอัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบผนัง โดยการนำความร้อน (Conduction) เป็นตัวบ่งชี้ถึงภาวะการทำความเย็นที่เกิดจากตัวแปรและส่วนที่เป็นผนังโปร่งแสงหรือกระจก (Glass) ตัวแปรนี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดภาวะการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

(2) หลังคาอาคาร (Roof) หมายถึงส่วนของเปลือกอาคารที่ปกคลุมด้านบนของอาคาร พื้นที่ส่วนนี้เป็นส่วนที่ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ตัวแปรส่วนหลังคาจึงเป็นส่วนที่มีอิทธิพลต่อภาวะในการทำความเย็นของอาคารค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรแรก อย่างไรก็ตามคุณสมบัติสำคัญของตัวแปรนี้ที่มีผลต่อภาวะการทำความเย็นก็คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของระบบหลังคา ซึ่งสามารถใช้เทคนิคการคำนวณหาอัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา โดยการนำความร้อน (Conduction) เป็นตัวบ่งชี้ถึงภาวะการทำความเย็นที่เกิดจากตัวแปรนี้เช่นเดียวกับตัวแปรในส่วนผนัง

(3) พื้นอาคาร (Ground Floor) หมายถึง ส่วนของเปลือกอาคารที่เป็นพื้นของอาคารที่อยู่เหนือผิวดิน พื้นที่ส่วนนี้เป็นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนจากอุณหภูมิของผิวดินค่อนข้างคงที่โดยอุณหภูมิผิวดินจะอยู่ที่ประมาณ 31 °C ตัวแปรส่วนพื้นอาคารจึงเป็นส่วนที่มีอิทธิพลต่อภาวะในการทำความเย็นของอาคารค่อนข้างต่ำสุดเมื่อเทียบกับตัวแปรผนังอาคารและหลังคา อย่างไรก็ตามระบบเปลือกอาคารเป็นกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมากที่สุดเป็นอันดับแรก ดังนั้นจึงมีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น และกลายเป็นภาวะในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยตรง การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุในระบบเปลือกอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นคุณสมบัติด้านความร้อน (Thermal Properties) ของวัสดุหรือองค์ประกอบกันเป็นเปลือกอาคาร จะมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ระบบปรับอากาศ

ต้องนำไปปรับสภาพให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ถ้าเปลือกอาคารมีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกได้มาก ก็จะทำให้สามารถลดภาระการทำความเย็นลงได้มากด้วย

3) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงของอาคาร (Form Factor)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงอาคารเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็น โดยมีผลรวมโดยตรงกับตัวแปรเปลือกอาคารที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อคิดสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและพื้นที่ใช้สอยของอาคารเฉพาะส่วนปรับอากาศ (Surface Area to Usable Area Ratio, S/A) โดยตั้งสมมุติฐานว่าพื้นที่ผิวของอาคารเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียถ่ายเทความร้อน (Heat Loss) ออกสู่ภายนอกอาคารซึ่งจะกลายเป็นภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ดังนั้นในอาคารที่มีพื้นที่ใช้งานส่วนปรับอากาศ 1 ตารางหน่วย ถ้าอาคารนั้นมีพื้นที่ผิวส่วนที่ยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้เกิดภาระการทำความเย็นมากยิ่งขึ้น การคำนวณสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและพื้นที่ใช้สอยของอาคารในที่นี้คิดเฉพาะพื้นที่ผิวของอาคารที่มีการควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนด โดยเฉพาะอาคารที่มีขนาดเล็กจะมีสัดส่วน S/A มากกว่าอาคารขนาดใหญ่

4) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องกล (Mechanical Efficiency Factor)

การศึกษานี้จะดูประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (COP or EER) หมายถึงเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อปรับอากาศ น้อยกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยพิจารณาถึงความสามารถในการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์นั้น ๆ อิทธิพลของตัวแปรการเลือกประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Equipment of A/C) มีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในส่วน of ระบบปรับอากาศโดยตรง เพราะเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง จะทำให้สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำในภาระการทำความเย็นที่เท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นอาคารที่มีภาระการทำความเย็นมาก การเลือกประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศยังมีอิทธิพลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในส่วน of ระบบปรับอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้นการออกแบบและสร้างแบบประเมินอย่างถูกต้องนั้นเพื่อนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดอย่างมีประสิทธิภาพแบ่งออกเป็นตัวแปรเชิงเดี่ยวหลักสำคัญ ได้แก่

(1) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคารและวัสดุ (Buildings and Material Factors) โดยทำการเลือกวัสดุเปลือกอาคาร เปรียบเทียบคุณสมบัติที่เหมาะสม คำนวณภาระการ

ทำความเข้าใจและเปรียบเทียบ โดยเปรียบเทียบการวิจัยเป็นระยะการปรับปรุงเปลือกอาคารส่วนที่บดแสงและระยะการปรับปรุงเปลือกอาคารทั้งหมดรวมทั้งส่วนหน้าต่างกระจก

(2) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร (Surface per Usable Area factors) โดยทำการศึกษอาคารกรณีศึกษาใน 2 กรณีที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่การใช้สอยอาคารต่างกัน

(3) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม (Site and Climate Factors) ในที่นี้ไม่สามารถทำการออกแบบแก้ไขได้ เนื่องจากเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับนโยบายทางด้านกายภาพของหน่วยงานสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จึงเป็นข้อจำกัด ไม่สามารถทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้

(4) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบอุปกรณ์อาคาร (Buildings System Factors) ได้แก่ระบบปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นระบบจ่ายน้ำเย็นเย็นรวมที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ทั้งระบบ จึงทำการออกแบบการวิจัยเป็นระยะการเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็นแบบแยกส่วน โดยการสนับสนุนอุปกรณ์และการติดตั้งจากบริษัท Broad Company ประเทศจีน

ทั้ง 4 ตัวแปรเชิงเดี่ยวจะมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ซึ่งกันและกันต่อการบริโภคพลังงานในอาคาร และการออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทั้งหมดจะนำมาพิจารณาประกอบเป็นตัวแปร ที่จะออกแบบการปรับปรุงอาคารเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคารเปรียบเทียบ 2 กรณี ในอาคารกรณีศึกษา คือ

กรณีที่ 1 (Option A) ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทั้งอาคาร Outreach Building ซึ่งเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น

กรณีที่ 2 (Option B) ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาเฉพาะส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นที่ 3 ของอาคาร Outreach Building

ทั้งนี้การประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา จะกระทำทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น โดยใช้รูปแบบออกเป็น 2 แนวทางหลัก ๆ คือ

1) ประเมินผลในเชิงเทคนิค

ในการพิจารณาผลเชิงเทคนิค โดยการเพิ่มวัสดุที่เปลือกอาคารแบบต่างๆ ที่ลดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าแล้วนำค่ามาคำนวณ

2) ประเมินผลในเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการพิจารณาผลการประเมินในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยใช้การคำนวณระยะเวลาคืนทุน และมูลค่าสะสมของอาคารที่ระยะเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดได้ในแต่ละแนวทาง

เมื่อประเมินแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงทุกแนวทางแล้วจึงทำการสรุปผลทางเลือกที่มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในด้านเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารสำนักงานต่อไปในอนาคต พร้อมทั้งข้อเสนอแนะและข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริง

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) Hobo Data Logger

เป็นอุปกรณ์ที่มี 4 ช่องวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และช่องป้อนเข้าข้อมูลจากภายนอก สามารถวัดค่าและบันทึกข้อมูลได้มากถึง 7,943 ข้อมูล อัตราในการอ่านข้อมูลขึ้นอยู่กับผู้ใช้ซึ่งสามารถปรับค่าได้ระหว่าง 0.5 วินาทีถึง 9 ชั่วโมง สามารถตั้งเวลาการบันทึกข้อมูลได้นานถึง 1 ปี มีสาย sensor วัดอุณหภูมิภายในที่สามารถต่อสายออกมาจากตัวเครื่องได้ ช่วงในการวัดอุณหภูมิ -4 °F ถึง 158 °F วัดความชื้นสัมพัทธ์ 0% ถึง 95% โดยปราศจากไอน้ำและหมอก การตั้งค่าต้องให้ควบคุมโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สั่งงานโดยเฉพาะ(box car pro program) การวิจัยที่ครั้งนี้ใช้ อุปกรณ์ Hobo Data Logger ทั้งหมด 6 เครื่อง โดยติดตั้งตามห้องตัวแทนที่มีสภาพแวดล้อมเดียวกันในห้องปรับอากาศ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ต่างกันไม่เกิน 1 %



ภาพที่ 3-3 แสดงภาพเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Hobo Data Logger)

2) Surface Temperature Meter

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิผิววัสดุระยะไกล ใช้ในการวัดแบบ spot check เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิผิวผนังอาคารกรณีศึกษาแต่ละด้าน เพื่อศึกษา MRT ของวัสดุผนังกับสภาพแวดล้อม



ภาพที่ 3-4 แสดงภาพเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิผิววัสดุ (Surface Temperature Meter)

3) อุปกรณ์วัดความสว่าง (Lux Meter)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณแสงที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lm/m^2 หรือ LUX) เพื่อบอกว่าระดับความสว่างที่ได้เพียงพอหรือไม่ ลักษณะเครื่องมือที่ใช้ควรเป็นชนิดปรับแก้ค่าเชิงความยาวคลื่น คือ ความไวต่อความยาวคลื่นแสงเหมือนตามนุษย์ และปรับแก้ค่าเชิงมุมคือ ปรับแก้ค่าความสว่างที่วัดได้เมื่อแสงตกกระทบไม่ตั้งฉากกับผิวหน้าของหัววัด



ภาพที่ 3-5 แสดงภาพเครื่องมือตรวจวัดความสว่าง (Lux Meter)

4) อุปกรณ์วัดระบบน้ำเย็น Chilled Water Flow Meter 2 ชนิดได้แก่

(1) เครื่องวัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำเย็น 4 ชุด ติดตั้งบริเวณท่อจ่ายน้ำเย็นและท่อน้ำกลับของชุดทำความเย็นแบบ AHU ทั้ง 4 ชุด บริเวณทิศเหนือและทิศใต้ของอาคาร อ่านค่าอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำเย็น

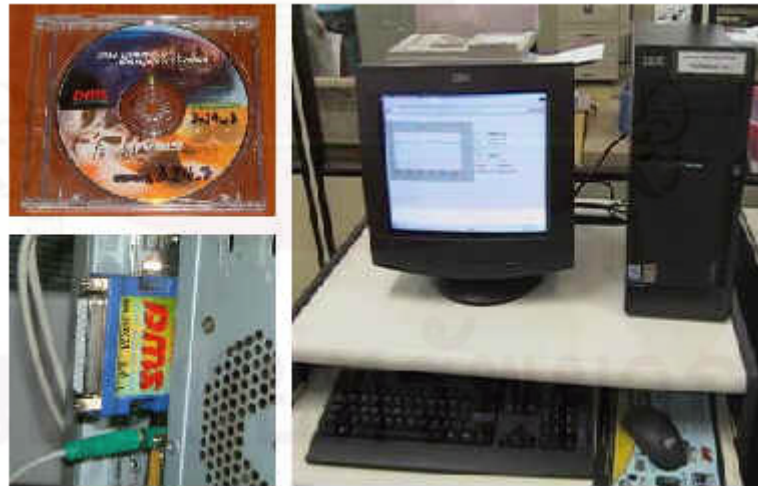
(2) เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเย็น 18 ชุด ติดตั้งบริเวณวาล์วเปิดปิดน้ำเย็นชุดทำความเย็นแบบFCU ทั้ง 18 ชุด อ่านค่าอัตราการไหลของน้ำเย็นเท่านั้น

เครื่องมือตรวจวัดทั้ง 2 ชนิดได้ทำการติดตั้งสายสัญญาณส่งข้อมูลเพื่อบันทึกผ่านโปรแกรม DMS ที่ติดตั้งไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ชุดควบคุมกลาง เก็บข้อมูลทุก 15 นาที

โปรแกรมควบคุมการใช้พลังงาน DMS (Demand Management System) เป็นเครื่องมือบันทึกและคำนวณหาค่า Demand แบบ Real Time พร้อมทั้งประมาณการหาค่า Demand เมื่อครบ 15 นาที



ภาพที่ 3-6 แสดงไดอะแกรมตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดน้ำเย็นและการเชื่อมต่อระบบการบันทึกข้อมูลในระบบทำความเย็น



ภาพที่ 3-7 แสดงภาพอุปกรณ์การจับเก็บข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบทำความเย็น



ภาพที่ 3-8 แสดงภาพการเชื่อมต่อโครงข่ายอุปกรณ์การจับเก็บข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบทำความเย็น

3.3.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD

การออกแบบปรับปรุงอาคารด้วยการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านวัสดุเปลือกอาคาร พิจารณาได้จากตัวแปรในสมการดังต่อไปนี้

$$Q = U * A * CLTD$$

โดยที่

$$Q = \text{ภาระการทำความเย็น (btu/hr)}$$

$$U = \text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร (btu/hr*ft}^2*\text{°F)}$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวของผนังภายนอก, (ft}^2\text{)}$$

$$CLTD = \text{ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference) , (°F)}$$

โดยที่ค่า $CLTD_{wall}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (ASHRAE, 1989: 26.36)

$$CLTD_{wall} = (CLTD + LM)K + (78 - t_r) + (t_o - 85)$$

CLTD = ค่าจากตาราง CLTD ของผนัง (ASHRAE, 1989:26.35)

LM = ค่าการปรับละติจูดและเดือนของที่ตั้งอาคาร

K = ค่าลักษณะสีของผนังอาคาร

K = 1.00 เมื่อ ผนังมีสีเข้ม หรือ ผนังสีอ่อนในอาคารอุตสาหกรรม

K = 0.83 เมื่อ ผนังมีสีปานกลาง

K = 0.65 เมื่อ ผนังมีสีอ่อน

$t_{r..}$ = อุณหภูมิภายในอาคารปรับอากาศ, มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{F}$ ในระบบ I-P

$t_{o..}$ = อุณหภูมิภายนอกอาคารปรับอากาศ, มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{F}$ ในระบบ I-P



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การสำรวจอาคารกรณีศึกษาครั้งนี้เพื่อนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคารมาวิเคราะห์ให้ทราบถึงปัญหาและข้อดีข้อเสียของอาคาร เพื่อที่จะหาแนวทางการปรับปรุงอาคารให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ ได้มีการนำเสนอแนวทางปรับปรุงอาคารต่อคณะกรรมการโครงการ ได้แก่ สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ซึ่งได้นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 กรณี เพื่อเปรียบเทียบหาแนวทางการออกแบบที่เหมาะสมและคุ้มค่าการลงทุน ดังนี้

กรณีที่ 1 (Option A) ออกแบบปรับปรุงทั้งอาคาร Outreach Building

กรณีที่ 2 (Option B) ออกแบบปรับปรุงเฉพาะส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ทั้งนี้เมื่อได้นำเสนอต่อคณะกรรมการโครงการปรับปรุงอาคาร ซึ่งประกอบด้วยบุคลากรจากสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ผู้เป็นเจ้าของโครงการ และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ผู้เป็นเจ้าของพื้นที่โครงการแล้ว มีมติให้ทำการปรับปรุงอาคารเฉพาะส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (Option B) เท่านั้น จึงได้ทำการศึกษาในรายละเอียดเฉพาะ Option B เป็นหลัก

4.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร

เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารและคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคาร และเป็นแนวทางในการระบุตัวแปรต่อการใช้พลังงานในอาคาร กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร

1) สภาพแวดล้อมอาคารและที่ตั้งโดยรอบอาคาร

อาคารกรณีศึกษา Outreach Building เป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น โดยมีสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติตั้งอยู่บนพื้นที่ชั้น 3 ซึ่งเป็นชั้นบนสุดของอาคาร Outreach Building อาคารกรณีศึกษาหลังนี้ตั้งอยู่ในสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ละติจูด $14^{\circ} 04' 49''\text{N}$ ลองจิจูด $100^{\circ} 36' 50''\text{E}$ วางอาคารในแนวทิศเหนือ-ใต้

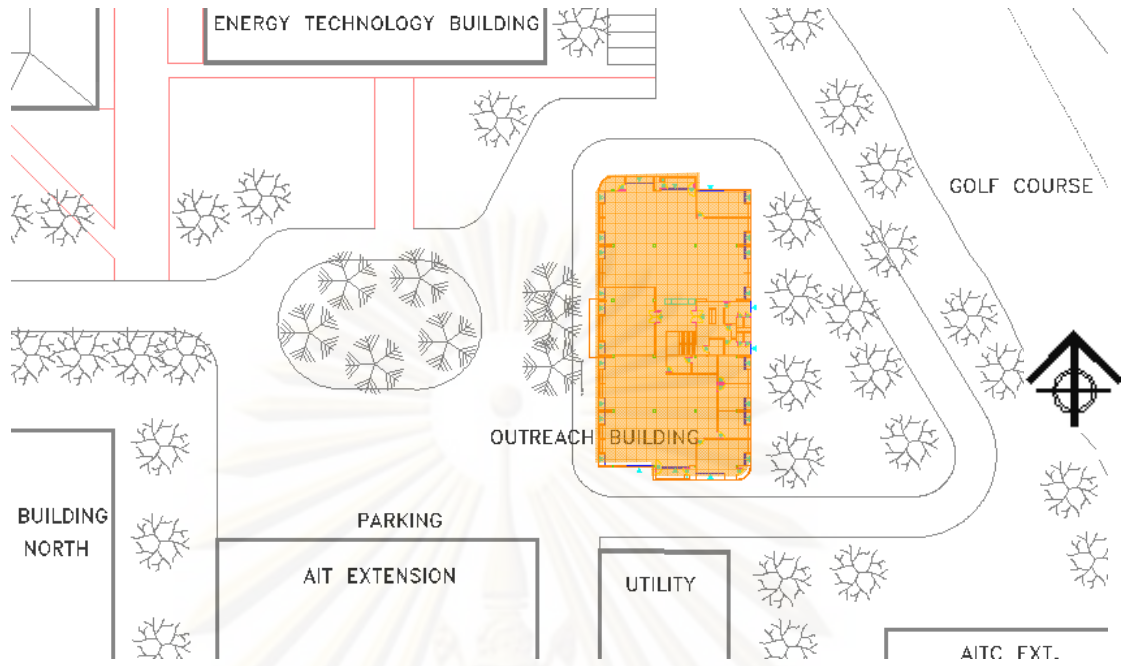
รูปทรงที่ดินโดยรอบอาคารเป็นพื้นที่ราบ พื้นที่โดยรอบด้านทิศตะวันตกและทิศเหนือเป็นพื้นถนนลาดแข็งด้วยแอสฟัลท์ มีสนามหญ้าขนาดเล็กเป็นเกาะกลางถนน ทิศตะวันออกติดพื้นที่ปลูกหญ้าและสนามกอล์ฟ และทิศใต้มีพื้นที่สนามหญ้าเป็นบริเวณกว้าง ไม่มีแหล่งน้ำใกล้ตัวอาคาร

พืชพรรณโดยรอบเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 7-8 เมตรตลอดแนวอาคาร ปลูกแนวห่างกันและพุ่มใบโปร่ง ทิศตะวันตกมีต้นปาล์มด้านหน้าอาคาร 3 ต้น สูงประมาณ 5-7 เมตร ห่างจากอาคารประมาณ 4 เมตร และต้นปาล์มบริเวณเกาะกลางถนนสูงประมาณ 8-10 เมตร ทิศตะวันออก ทิศเหนือและทิศใต้ มีไม้ยืนต้นพุ่มใบแผ่กว้างและโปร่ง ความสูงประมาณ 8-10 เมตร ใกล้แนวอาคาร

สิ่งก่อสร้างข้างเคียง ทิศเหนือห่างจากอาคาร Energy Technology ความสูง 2 ชั้น และที่จอดรถมีหลังคากระเบื้องลอนคู่ โดยมีถนนแอสฟัลท์และสนามหญ้าคั่น ทิศใต้ห่างจากอาคารควบคุมระบบไฟฟ้าขนาดเล็กสูง 1 ชั้นและอาคาร AIT Extension ความสูง 2 ชั้น มีถนนแอสฟัลท์คั่น



ภาพที่ 4-1 แสดงที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา (Outreach Building และ สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ)



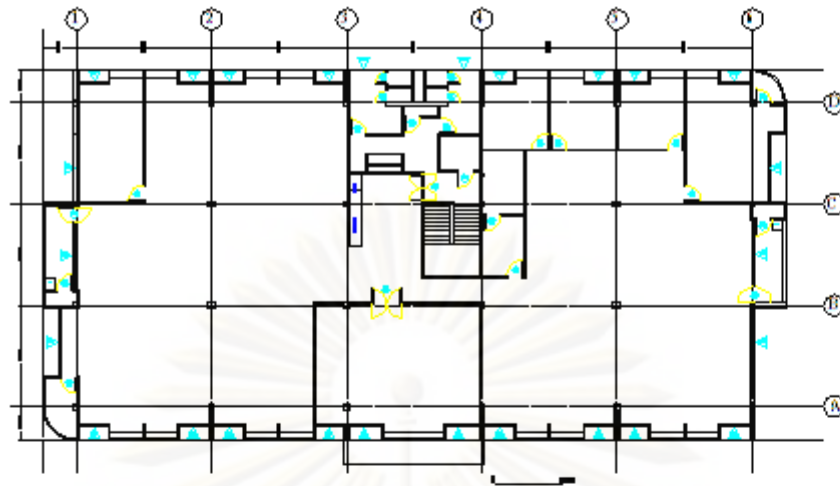
ภาพที่ 4-2 แสดงที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา (Outreach Building) และสภาพแวดล้อม



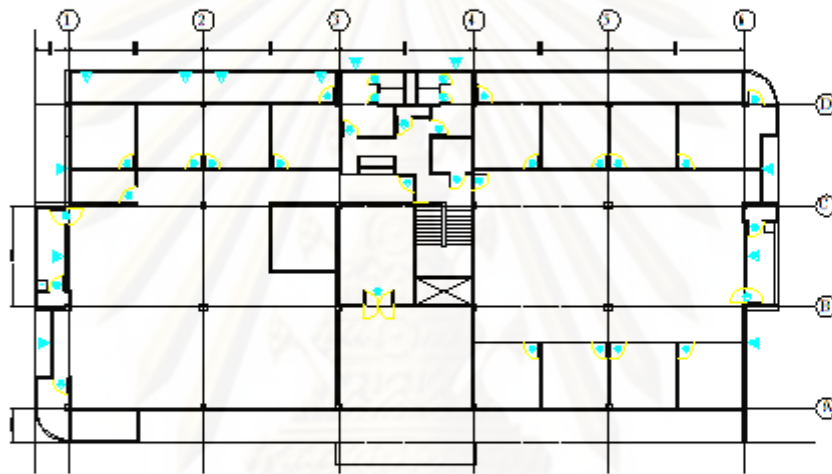
ภาพที่ 4-3 แสดงภาพด้านหน้า (ทิศตะวันตก) ของอาคารกรณีศึกษา (Outreach Building)

2) ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

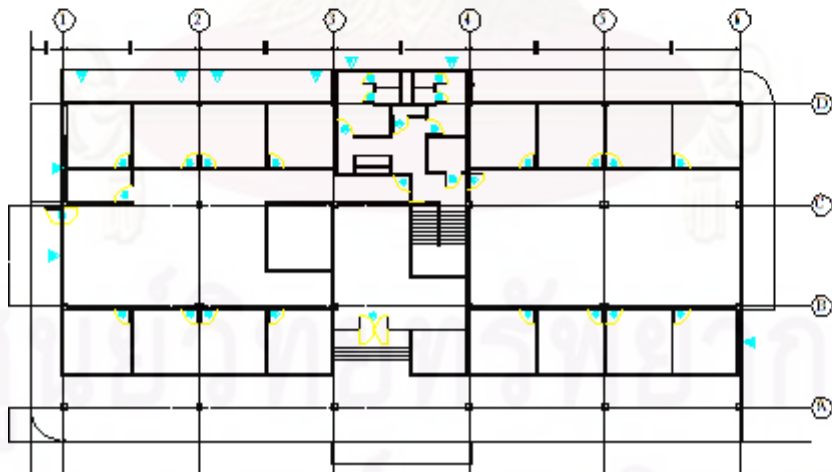
อาคารกรณีศึกษา (Outreach Building) เป็นอาคารสูง 3 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยภายในรวม 2,346 ตารางเมตร ลักษณะผังพื้นอาคารเป็นพื้นที่ใหญ่สี่เหลี่ยมผืนผ้า มีสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) ตั้งอยู่บนพื้นที่ชั้น 3 ซึ่งเป็นชั้นบนสุดของอาคาร มีเนื้อที่ที่ใช้สอยทั้งหมด 890 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ที่รับอากาศ 788 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่รับอากาศ 102 ตารางเมตร ทิศทางอาคารวางในแนวทิศเหนือ-ใต้ ตัวอาคารเป็นอาคารก่ออิฐฉาบปูนเรียบหนา 4” โครงสร้างรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงหลังคาเป็นโครงเหล็ก หลังคาเป็นแผ่นเหล็ก ริดทำมุม 8 องศากับแนวราบ โดยรอบผนังอาคารชั้น 3 มีช่องแสงกระจกหนา 6 มิลลิเมตร บานกรอบอลูมิเนียมมีทั้งบานติดตายและบานเลื่อน ติดตั้งโดยการหักหลบจากแนวผนังด้านนอกอาคารเข้าไป 1.00 เมตร เพื่อให้มีการบังแดดจากแนวหลังคา ส่วนแนวผนังและกระจกชั้น 2 หลบเข้าจากแนวผนังอาคารชั้น 3 เข้าในตัวอาคาร 2 เมตรในด้านทิศตะวันออกและตะวันตก และแนวผนังชั้นที่ 1 หลบจากแนวผนังชั้น 2 เข้าในตัวอาคาร 2 เมตรในด้านทิศตะวันตก




ผังพื้นที่ 3
(UNEP)



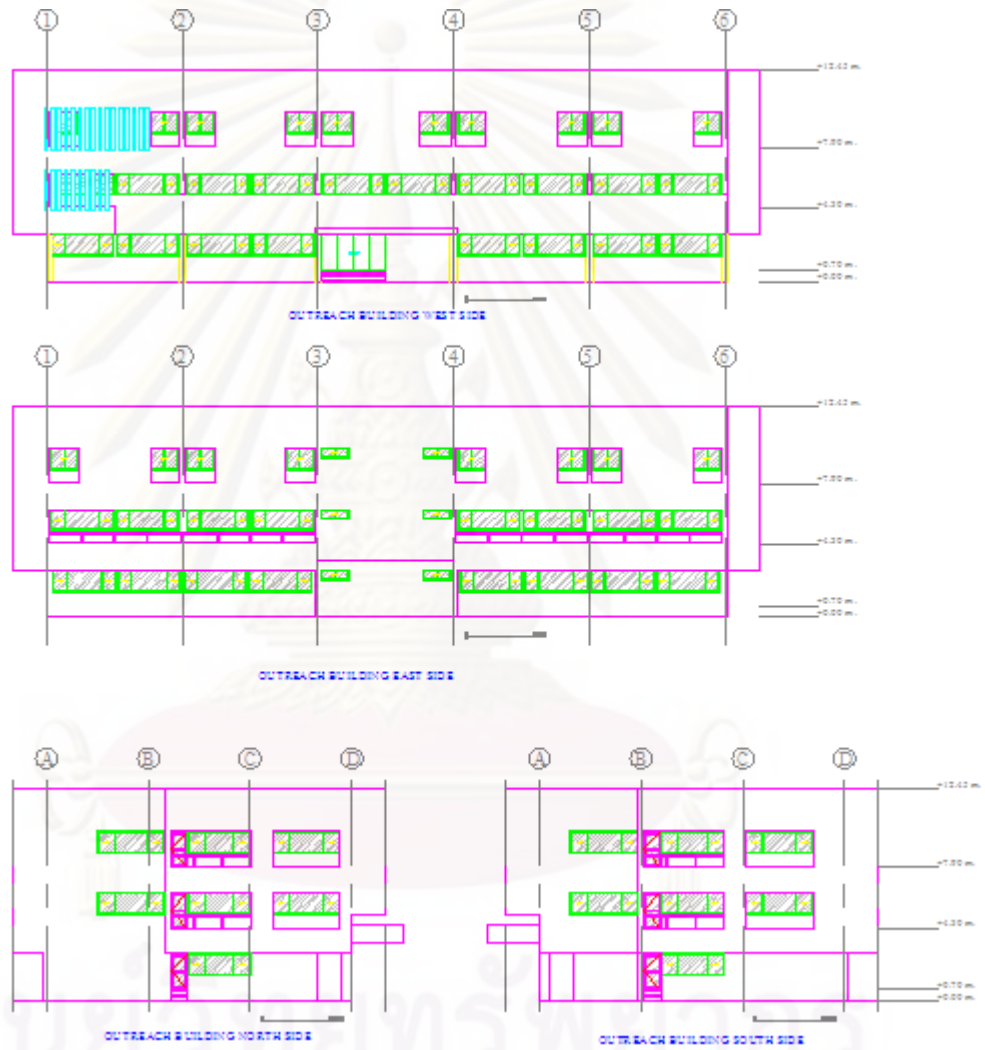
ผังพื้นที่ 2



ผังพื้นที่ 1

N  OUTREACH BUILDING 3RD FLOOR

ภาพที่ 4-4 แสดงผังพื้นที่อาคารกรณีศึกษา (Outreach Building) 3 ชั้น



ภาพที่ 4-5 แสดงภาพด้านข้างของอาคารกรณีศึกษา (Outreach Building)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงสร้างเปลือกอาคารเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชั้น ผนังก่ออิฐฉาบปูน เวียบหนา 4 นิ้ว หลังคาเหล็กกรีตบนโครงหลังคาเหล็กพร้อมฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน ชั้น 3 หน้าต่างกระจกหนา 6 มิลลิเมตร อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยแสดงดังตาราง 4-1 ซึ่งแสดงเป็น 2 กรณี ดังนี้

ตารางที่ 4-1 แสดงรายละเอียดโครงสร้างเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี

พื้นที่เปลือกอาคารกรณีศึกษาเปรียบเทียบ 2 กรณี							
ส่วนเปลือกอาคาร	รายละเอียด	Option A			Option B		
		อาคาร Outreach Building			UNEP		
		พื้นที่ (sq.m.)	พื้นที่ (sq.ft.)	อัตราส่วนต่อพื้นที่ปรับอากาศ %	พื้นที่ (sq.m.)	พื้นที่ (sq.ft.)	อัตราส่วนต่อพื้นที่ปรับอากาศ %
ผนัง (ทั้งหมด)	ทิศใต้	253	2,723.27	11.01	110	615.7	6.61
	ทิศตะวันออก	535	5,758.69	23.28	220	1,231.39	13.21
	ทิศเหนือ	253	2,723.27	11.01	110	615.7	6.61
	ทิศตะวันตก	535	5,758.69	23.28	110	1,231.39	13.21
	รวม	1576	16,963.91	68.58	660	3,694.17	39.63
หลังคา	เหล็กกรีต	720	7,750.01	31.33	720	7,750.01	83.14
	คอนกรีต	216	2,325.00	9.4	216	2,325.00	24.94
	รวม	936	10,075.01	40.73	936	10,075.01	108.08
พื้น	ภายใน	2298	24,735.44	100	866	9,321.54	100
	ภายนอก	48	516.67	2.09	24	258.33	2.77
	รวม	2346	25,252.11	102.09	890	9,579.87	102.77
ผนังกระจก	ทิศใต้	41	441.32	1.78	17.31	186.32	2
	ทิศตะวันออก	96.28	1,036.35	4.19	10.2	109.79	1.18
	ทิศเหนือ	41	441.32	1.78	17.31	186.32	2
	ทิศตะวันตก	112.24	1,208.14	4.88	20.96	225.61	2.42
	รวม	290.52	3,127.13	12.64	65.77	708.05	7.59
ผนังทึบ	ทิศใต้	212.00	2,281.95	9.23	92.69	429.37	4.61
	ทิศตะวันออก	438.72	4,722.34	19.09	209.80	1,121.60	12.03
	ทิศเหนือ	212.00	2,281.95	9.23	92.69	429.37	4.61
	ทิศตะวันตก	422.76	4,550.55	18.40	199.05	1,005.78	10.79
	รวม	1285.48	13,836.79	55.94	594.23	2,986.23	32.04

ตารางที่ 4-2 แสดงอัตราส่วนผนังกระจกแต่ละด้านของอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี

รายละเอียด	Option A			Option B		
	อาคาร Outreach Building			UNEP		
	พื้นที่ผนัง รวม(sq.m.)	พื้นที่ผนัง กระจก	อัตราส่วน ผนังกระจก แต่ละด้าน(%)	พื้นที่ผนัง รวม (sq.m.)	พื้นที่ผนัง กระจก	อัตราส่วน ผนังกระจก แต่ละด้าน(%)
ทิศใต้	253	41	16.21	110	17.31	15.74
ทิศตะวันออก	535	96.28	18.00	220	10.2	4.64
ทิศเหนือ	253	41	16.21	110	17.31	15.74
ทิศตะวันตก	535	112.24	20.98	220	20.96	9.53
รวม	1576	290.52	18.43	660	65.77	9.97

3) เก็บข้อมูลอัตราส่วนการใช้งานอาคารจำแนกประเภท

ลักษณะการใช้งานอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารสำนักงานที่เป็นพื้นที่จัดให้เช่าโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย มีหน่วยงานนอกสถาบันฯ 3 หน่วยงานขอเช่าพื้นที่ทั้ง 3 ชั้น ได้แก่

ชั้น 1 เช่าพื้นที่โดยสำนักงานกองทุนอนุรักษ์สัตว์ป่าโลก (World Wildlife Fund - WWF)

ชั้น 2 เช่าพื้นที่โดยสำนักงานศูนย์เตรียมความพร้อมป้องกันภัยพิบัติแห่งเอเชีย (Asian Disaster Preparedness Center - ADPC)

ชั้น 3 เช่าพื้นที่โดยสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Program – UNEP)

เวลาใช้งานอาคารโดยประมาณ เริ่มเวลา 8.00 น. ถึง 18.00 น. ของวันทำงาน (วันจันทร์ ถึงวันศุกร์)

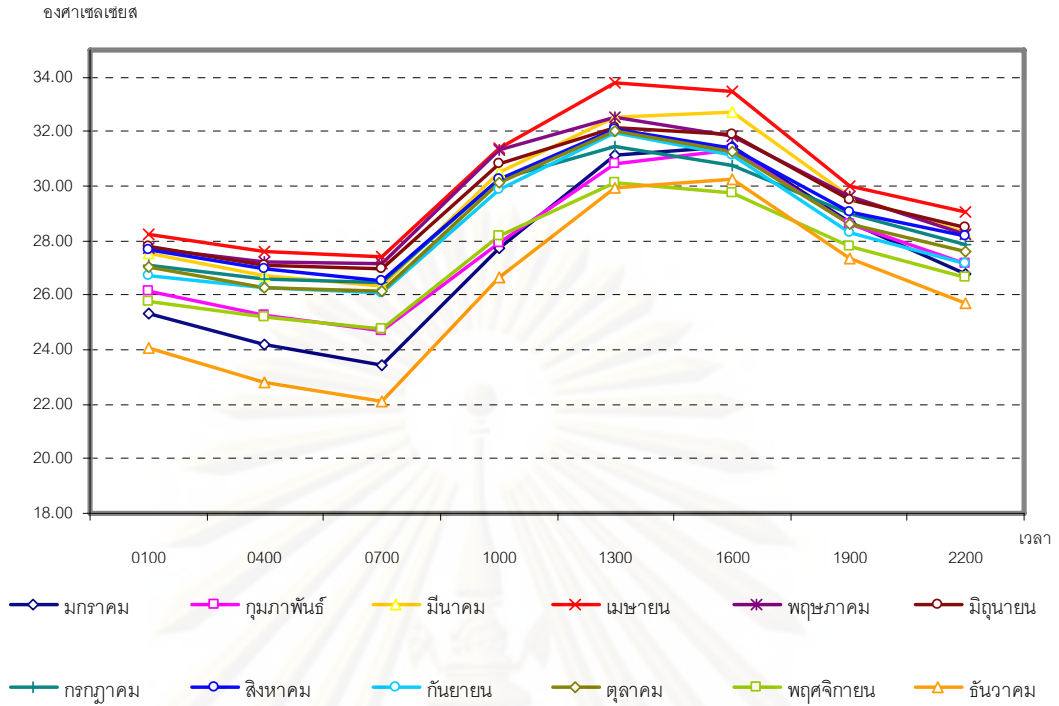
4) ข้อมูลสภาพอากาศเพื่อการคำนวณวิธี CLTD

ข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนของปี พ.ศ. 2551 ดังตารางที่ 4-3 เพื่อการพิจารณาค่าสูงสุดที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นภายในอาคาร เพื่อนำมาออกแบบเปลือกอาคารในการลดการนำความร้อนผ่านวัสดุเปลือกอาคาร

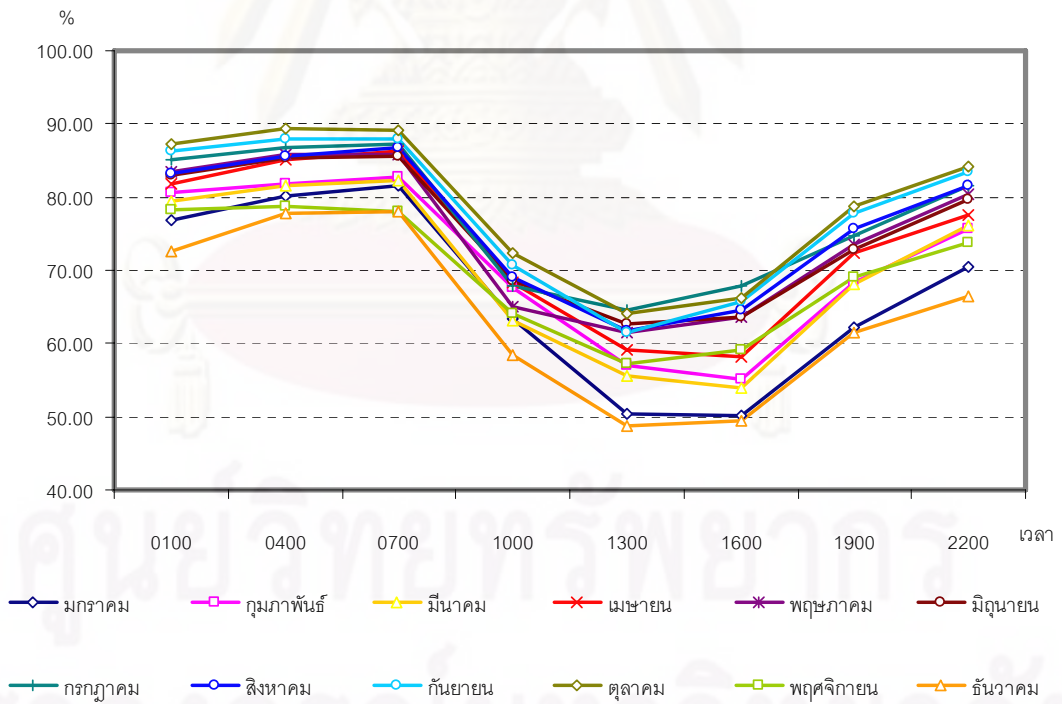
ตารางที่ 4-3 แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศรายเดือน ปี พ.ศ.2551

เดือน	ตรวจวัด	เวลาทำการตรวจวัด							
		0100	0400	0700	1000	1300	1600	1900	2200
มกราคม	T(°C)	25.31	24.19	23.44	27.71	31.14	31.45	28.69	26.81
	RH(%)	76.84	80.26	81.68	63.39	50.32	50.19	62.13	70.58
กุมภาพันธ์	T(°C)	26.14	25.29	24.72	27.94	30.82	31.31	28.61	27.15
	RH(%)	80.52	81.79	82.86	67.66	57.10	55.03	68.38	75.62
มีนาคม	T(°C)	27.57	26.73	26.36	30.51	32.52	32.75	29.65	28.32
	RH(%)	79.45	81.61	82.19	63.19	55.52	53.90	68.13	76.26
เมษายน	T(°C)	28.22	27.59	27.44	31.40	33.79	33.48	30.01	29.08
	RH(%)	81.73	85.20	86.20	68.23	59.13	58.13	72.33	77.63
พฤษภาคม	T(°C)	27.74	27.20	27.18	31.36	32.55	31.84	29.61	28.22
	RH(%)	83.39	85.90	85.77	65.00	61.39	63.65	73.52	80.29
มิถุนายน	T(°C)	27.78	27.13	26.98	30.80	32.16	31.90	29.50	28.49
	RH(%)	82.97	85.30	85.53	68.70	62.77	63.60	72.77	79.73
กรกฎาคม	T(°C)	27.07	26.59	26.45	30.29	31.46	30.75	29.00	27.84
	RH(%)	85.06	86.81	87.29	67.94	64.52	67.90	74.68	81.48
สิงหาคม	T(°C)	27.69	26.98	26.55	30.27	32.12	31.42	29.05	28.20
	RH(%)	83.16	85.58	86.68	69.16	61.65	64.61	75.71	81.58
กันยายน	T(°C)	26.71	26.27	26.11	29.86	31.96	31.12	28.29	27.18
	RH(%)	86.33	87.97	88.03	70.67	61.47	65.73	77.87	83.43
ตุลาคม	T(°C)	27.01	26.25	26.14	30.12	32.03	31.24	28.61	27.63
	RH(%)	87.16	89.45	89.19	72.29	64.16	66.19	78.84	84.16
พฤศจิกายน	T(°C)	25.78	25.19	24.73	28.17	30.16	29.77	27.82	26.65
	RH(%)	78.17	78.83	78.03	64.17	57.27	59.23	68.97	73.83
ธันวาคม	T(°C)	24.07	22.78	22.11	26.67	29.93	30.24	27.36	25.70
	RH(%)	72.65	77.74	78.10	58.52	48.77	49.45	61.42	66.39

นำข้อมูลสภาพอากาศในตาราง 4-3 พล็อตในกราฟ จะเห็นว่าในเดือนเมษายน เป็นเดือนที่อากาศมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 13.00 น. และในเดือนพฤศจิกายน เป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ข้อมูลดังกล่าวจึงได้นำไปใช้ในการคำนวณวิธี CLTD ที่ใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุด เพื่อคำนวณภาระการทำความเย็นในอาคารกรณีศึกษา



แผนภูมิที่ 4-1 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2551



แผนภูมิที่ 4-2 แสดงความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2551

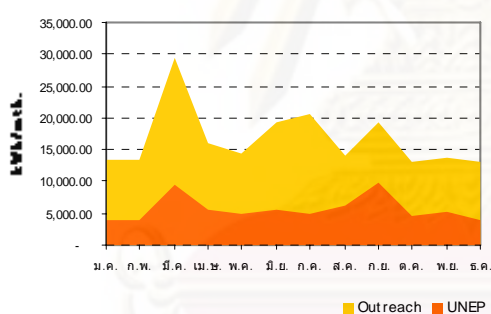
4.1.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร

1) ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ผ่านมาของอาคาร

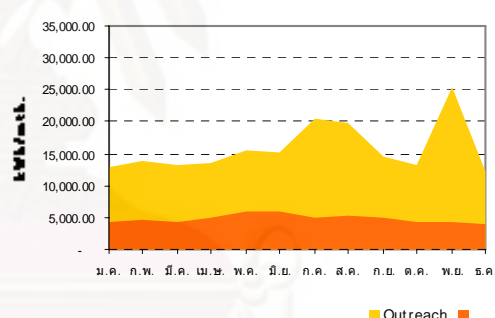
พลังงานไฟฟ้าที่ส่งมายังอาคาร Outreach Building นี้ได้ถูกส่งด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำ 220 โวลท์มายังอาคารโดยผ่านมิเตอร์ไฟฟ้าหลักที่บันทึกการใช้ไฟฟ้าทั้งอาคาร โดยแยกเป็นมิเตอร์ย่อย 3 ชั้น ชั้นละ 2 มิเตอร์ ซึ่งบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในส่วนพื้นที่อาคารด้านทิศเหนือ 1 มิเตอร์ และพื้นที่อาคารด้านทิศใต้ 1 มิเตอร์ นอกจากนี้ยังมีมิเตอร์ที่ใช้บันทึกการใช้ไฟฟ้าในส่วนพื้นที่ใช้สอยรวม เช่น โถงทางเข้าอาคาร โถงบันได ห้องน้ำ ห้องเก็บของ และห้องควบคุมระบบเป็นต้น

การจัดเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา Outreach Building รวมทั้งสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ได้ทำการจัดเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าโดยแผนก Physical Plant สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียในฐานะผู้ให้เช่าพื้นที่สำนักงาน ได้แสดงสัดส่วนการใช้ไฟฟ้างดตามภูมิต่อไปนี้

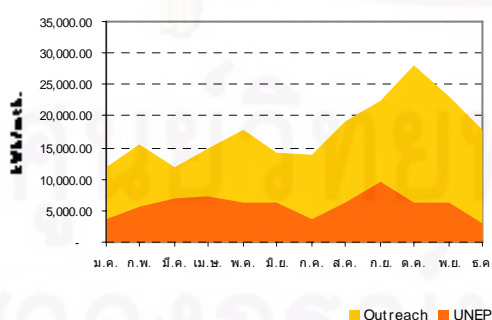
สถิติการใช้ไฟฟ้าปี 2548



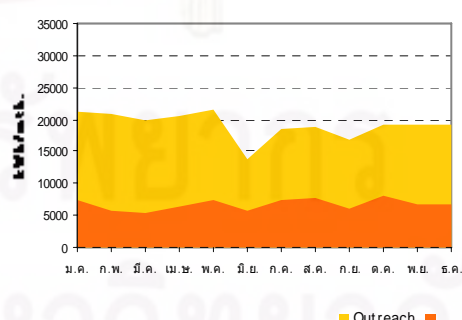
สถิติการใช้ไฟฟ้าปี 2549



สถิติการใช้ไฟฟ้าปี 2550



สถิติการใช้ไฟฟ้าปี 2551



แผนภูมิที่ 4-3 แสดงสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเปรียบเทียบของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี

จากแผนภูมิข้างต้นจะเห็นสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยในภาพรวมแล้วการใช้ไฟฟ้าของสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติเป็นสัดส่วนปกติ 1 ใน 3 ส่วนของพื้นที่อาคาร Outreach Building ทั้งหมด

แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดกับการใช้ไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศเฉพาะ Option B แล้ว จะเห็นจากตาราง 4-4 ว่าค่าเฉลี่ยของการใช้ไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศรวมมีอัตราสูงกว่าการใช้ไฟฟ้าส่วนอื่นๆ รวมกัน

ตารางที่ 4-4 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้ายรายเดือนของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) ปี พ.ศ.2548 - 2551 (แผนก Physical Plant, AIT)

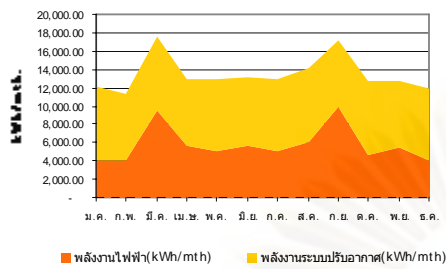
สถิติการใช้ไฟฟ้าปี 2548					
เดือน	UNEP				
	พลังงานไฟฟ้า (kWh/mth)	พลังงานระบบ ปรับอากาศ (kWh/mth)	พลังงานรวม (W/sq.m.)	ร้อยละของระบบ ปรับอากาศ (%)	กำลังไฟฟ้า (W/sq.m.)
มกราคม	4,008.00	8,041.44	12,049.44	66.74	68.54
กุมภาพันธ์	4,008.00	7,310.40	11,318.40	64.59	64.38
มีนาคม	9,456.00	8,041.44	17,497.44	45.96	99.53
เมษายน	5,568.00	7,310.40	12,878.40	56.76	73.26
พฤษภาคม	4,980.00	8,041.44	13,021.44	61.76	74.07
มิถุนายน	5,724.00	7,310.40	13,034.40	56.09	74.14
กรกฎาคม	4,968.00	8,041.44	13,009.44	61.81	74.00
สิงหาคม	6,060.00	8,041.44	14,101.44	57.03	80.21
กันยายน	9,828.00	7,310.40	17,138.40	42.66	97.49
ตุลาคม	4,728.00	8,041.44	12,769.44	62.97	72.64
พฤศจิกายน	5,388.00	7,310.40	12,698.40	57.57	72.23
ธันวาคม	3,960.00	8,041.44	12,001.44	67.00	68.27
รวม	68,676.00	92,842.08	161,518.08		
เฉลี่ย	5,723.00	7,736.84	13,459.84	58.41	76.56
สถิติการใช้ไฟฟ้าปี 2549					
เดือน	UNEP				
	พลังงานไฟฟ้า (kWh/mth)	พลังงานระบบ ปรับอากาศ (kWh/mth)	พลังงานรวม (W/sq.m.)	ร้อยละของระบบ ปรับอากาศ (%)	กำลังไฟฟ้า (W/sq.m.)
มกราคม	4,404.00	8,041.44	12,445.44	64.61	70.79
กุมภาพันธ์	4,764.00	7,310.40	12,074.40	60.54	68.68
มีนาคม	4,404.00	8,041.44	12,445.44	64.61	70.79
เมษายน	4,812.00	7,310.40	12,122.40	60.30	68.96
พฤษภาคม	5,988.00	8,041.44	14,029.44	57.32	79.80
มิถุนายน	6,048.00	7,310.40	13,358.40	54.73	75.99
กรกฎาคม	4,968.00	8,041.44	13,009.44	61.81	74.00
สิงหาคม	5,412.00	8,041.44	13,453.44	59.77	76.53
กันยายน	4,812.00	7,310.40	12,122.40	60.30	68.96
ตุลาคม	4,284.00	8,041.44	12,325.44	65.24	70.11
พฤศจิกายน	4,200.00	7,310.40	11,510.40	63.51	65.48
ธันวาคม	3,816.00	8,041.44	11,857.44	67.82	67.45
รวม	57,912.00	92,842.08	150,754.08		
เฉลี่ย	4,826.00	7,736.84	12,562.84	61.72	71.46

ตารางที่ 4-4(ต่อ) แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) ปี พ.ศ.2548 - 2551 (แผนก Physical Plant, AIT)

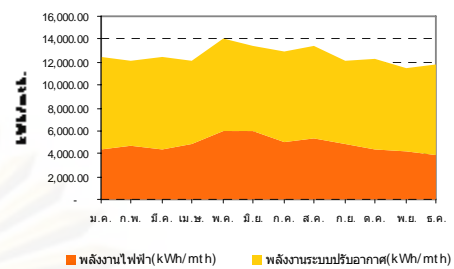
สถิติการใช้ไฟฟ้าปี 2550					
เดือน	UNEP				
	พลังงานไฟฟ้า (kWh/mth)	พลังงานระบบ ปรับอากาศ (kWh/mth)	พลังงานรวม (W/sq.m.)	ร้อยละของระบบ ปรับอากาศ (%)	กำลังไฟฟ้า (W/sq.m.)
มกราคม	3,720.00	8,041.44	11,761.44	68.37	66.90
กุมภาพันธ์	5,616.00	7,310.40	12,926.40	56.55	73.53
มีนาคม	6,840.00	8,041.44	14,881.44	54.04	84.65
เมษายน	7,248.00	7,310.40	14,558.40	50.21	82.81
พฤษภาคม	6,312.00	8,041.44	14,353.44	56.02	81.65
มิถุนายน	6,420.00	7,310.40	13,730.40	53.24	78.10
กรกฎาคม	3,720.00	8,041.44	11,761.44	68.37	66.90
สิงหาคม	6,420.00	8,041.44	14,461.44	55.61	82.26
กันยายน	9,636.00	7,310.40	16,946.40	43.14	96.40
ตุลาคม	6,420.00	8,041.44	14,461.44	55.61	82.26
พฤศจิกายน	6,204.00	7,310.40	13,514.40	54.09	76.87
ธันวาคม	2,856.00	8,041.44	10,897.44	73.79	61.99
รวม	71,412.00	92,842.08	164,254.08		
เฉลี่ย	5,951.00	7,736.84	13,687.84	57.42	77.86
สถิติการใช้ไฟฟ้าปี 2551					
เดือน	UNEP				
	พลังงานไฟฟ้า (kWh/mth)	พลังงานระบบ ปรับอากาศ (kWh/mth)	พลังงานรวม (W/sq.m.)	ร้อยละของระบบ ปรับอากาศ (%)	กำลังไฟฟ้า (W/sq.m.)
มกราคม	7,476.00	8,041.44	15,517.44	51.82	88.27
กุมภาพันธ์	5,556.00	7,310.40	12,866.40	56.82	73.19
มีนาคม	5,472.00	8,041.44	13,513.44	59.51	76.87
เมษายน	6,252.00	7,310.40	13,562.40	53.90	77.15
พฤษภาคม	7,500.00	8,041.44	15,541.44	51.74	88.41
มิถุนายน	5,676.00	7,310.40	12,986.40	56.29	73.87
กรกฎาคม	7,488.00	8,041.44	15,529.44	51.78	88.34
สิงหาคม	7,632.00	8,041.44	15,673.44	51.31	89.16
กันยายน	5,916.00	7,310.40	13,226.40	55.27	75.24
ตุลาคม	7,932.00	8,041.44	15,973.44	50.34	90.86
พฤศจิกายน	6,690.00	7,310.40	14,000.40	52.22	79.64
ธันวาคม	6,690.00	8,041.44	14,731.44	54.59	83.80
รวม	80,280.00	92,842.08	173,122.08		
เฉลี่ย	6,690.00	7,736.84	14,426.84	53.80	82.06

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

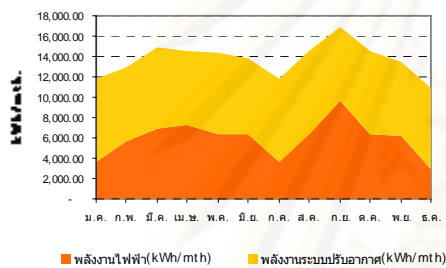
สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบปรับอากาศในUNEPปี 2548



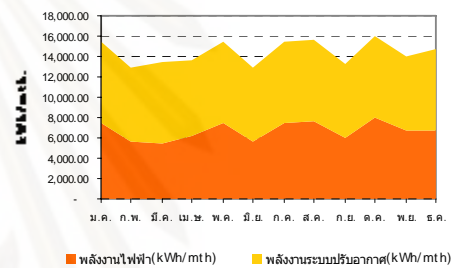
สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบปรับอากาศในUNEPปี 2549



สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบปรับอากาศในUNEPปี 2550



สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบปรับอากาศในUNEPปี 2551



แผนภูมิที่ 4-4 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษา ส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

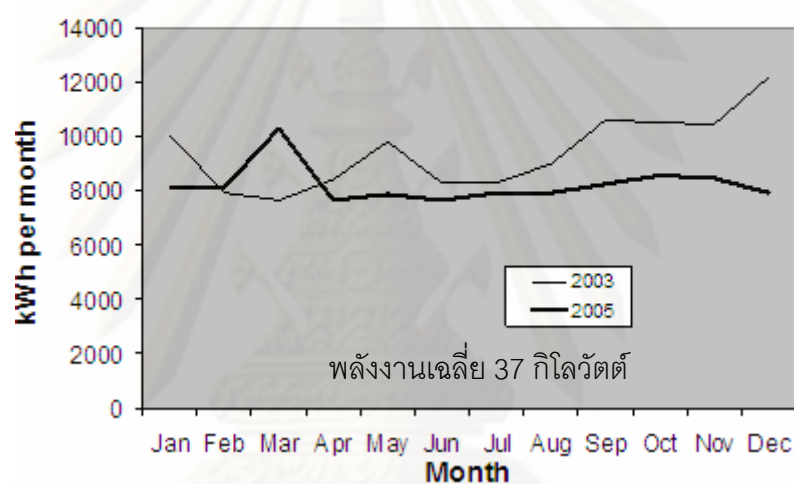
2) ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศของสำนักงานUNEP เป็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ของสถาบัน AIT พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศของทั้งสถาบันได้จ่ายตรงมายัง Central Chiller Plant ซึ่งเป็นศูนย์รวมระบบทำความเย็นด้วยน้ำของสถาบันฯ จ่ายน้ำเย็นไปยังอาคารต่างๆที่ทั้งสถาบันฯ เช่นเดียวกับอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติที่ผ่านมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้านั้น จึงเป็นพลังงานไฟฟ้าเฉพาะส่วนเครื่องเป่าลมเย็นเท่านั้น และไม่มีมิเตอร์วัดปริมาณน้ำเย็นหรือปริมาณพลังงานในการทำความเย็นในสำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ แต่ในการทำวิจัยจำเป็นต้องอาศัยสถิติการใช้พลังงานทั้งระบบของระบบปรับอากาศเพื่อการวิเคราะห์ จึงใช้การอนุมานจากบิลค่าไฟฟ้าและค่าบริการการปรับอากาศที่จัดทำโดยแผนก Infrastructure ของสถาบัน AIT ว่ามีการใช้พลังงานในการปรับอากาศเฉลี่ยวันละ 10 ชั่วโมง ของวันทำงานปกติ (วัน

จันทร์-วันศุกร์) เดือนละ 21 วัน และปรับอากาศเฉพาะส่วนห้องควบคุมระบบคอมพิวเตอร์ตลอด 24 ชั่วโมงในทุกวัน

แผนภูมิต่อไปนี้ แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนในระบบจ่ายน้ำเย็นจาก Central Chiller Plant ส่วนที่ส่งไปยังอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ โดยใช้ข้อมูลที่ทำกรการจัดเก็บของปี พ.ศ.2546 และ พ.ศ.2548 ได้เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 37 กิโลวัตต์

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบจ่ายน้ำเย็นส่วนที่จ่ายไปยังสำนักงานสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ



แผนภูมิที่ 4-5 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบจ่ายน้ำเย็นส่วนที่จ่ายไปยังอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ปี พ.ศ.2546 และ พ.ศ.2548 (แผนก Physical Plant, AIT)

ส่วนพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศที่ผ่านมิเตอร์ไฟฟ้าในสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ นั้น เป็นพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบจ่ายลมเย็น (FCU และ AHU) ซึ่งมีรายการและรายละเอียดแต่ละรายการดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

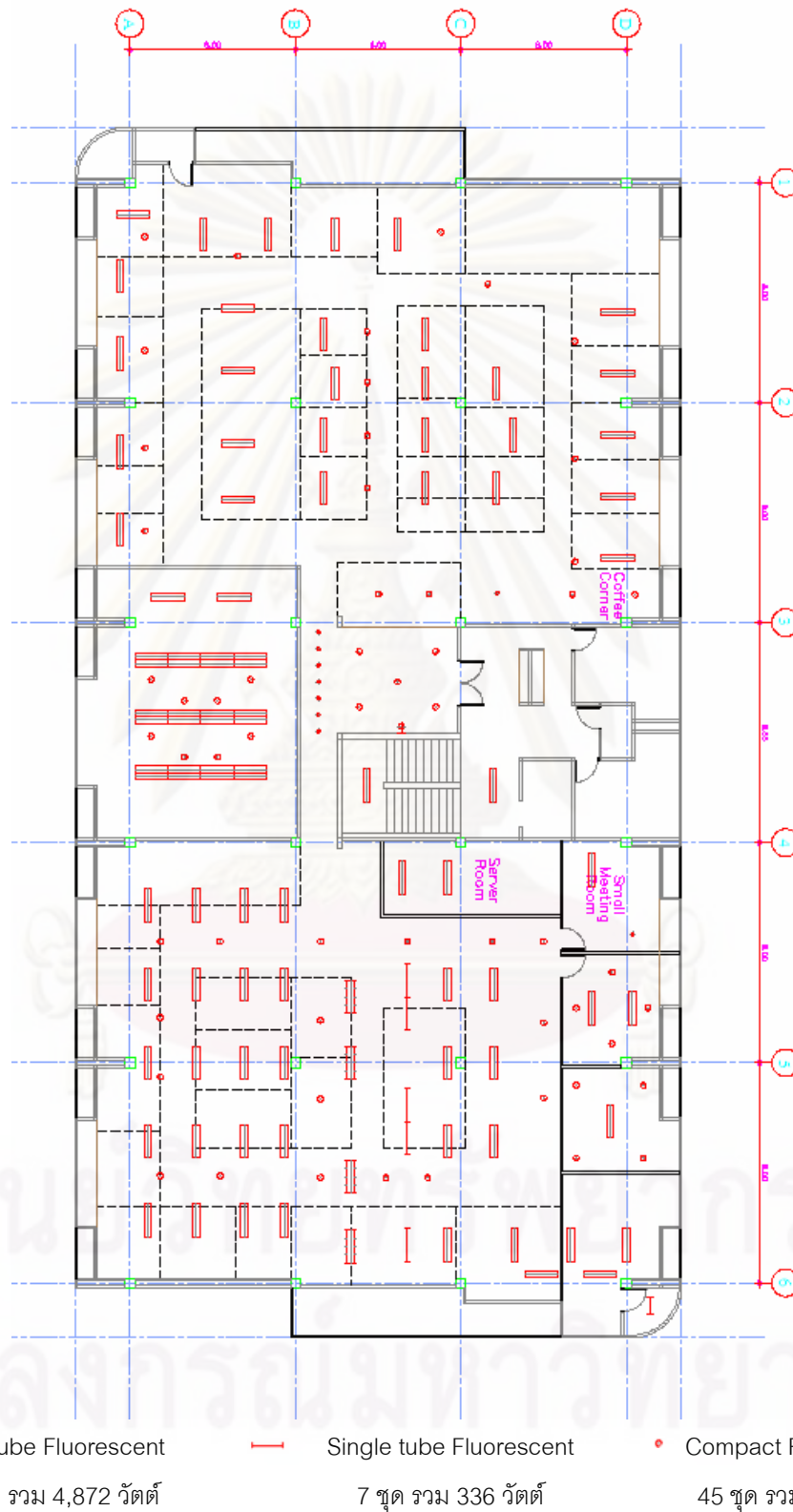
ตารางที่ 4-5 แสดงรายการระบบจ่ายลมเย็นในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานสำนักงานโครงการ
สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

พื้นที่	AHU	Diffusers	FCU	window AC
พื้นที่สำนักงานด้านทิศใต้	2	12	7	
พื้นที่สำนักงานด้านทิศเหนือ	2	8	4	
ลิโอบบี้		2		
ห้องสมุด			1	
ห้องประชุมใหญ่		6		
ห้องโครงการชี่นามี			1	
ห้องพักผ่อน			1	
ห้องผู้ประสานงาน			1	
ห้อง Server		2		1
รวม	4	30	15	1

ตารางที่ 4-6 แสดงชนิดและขนาดของระบบจ่ายลมเย็นในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน
สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ชนิด	ขนาด (ตัน)	จำนวน (เครื่อง)	ขนาดเครื่องทำความ เย็นรวม(ตัน)
FCU	1.06	6	6.36
	2.09	8	16.72
	2.74	10	27.4
AHU	1.05	16	16.8
	0.91	6	5.46
รวม		46	72.74
กำลังไฟฟ้าห่วยจ่ายระบบเป่าลมเย็นรวม			21317.98 วัตต์

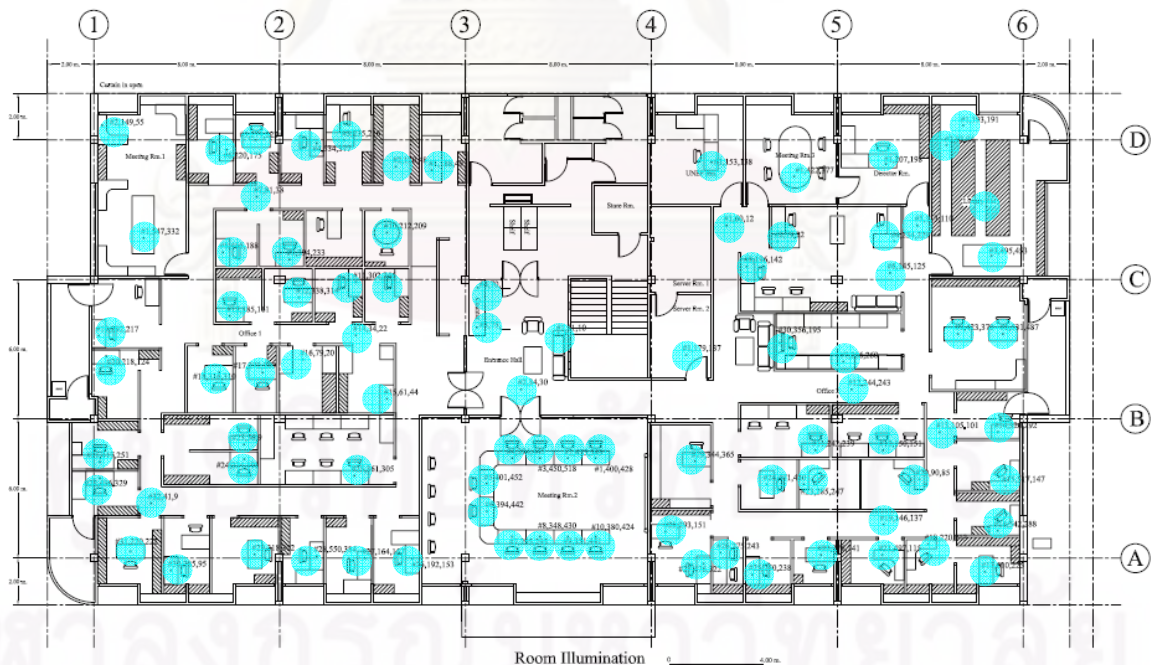
3) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง



ภาพที่ 4-6 แสดงตำแหน่งและประเภทไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ตารางที่ 4-7 แสดงรายการหลอดไฟฟ้าแสงสว่างและกำลังไฟฟ้าในอาคารกรณีศึกษาส่วน
สำนักงานสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ชนิดหลอดไฟ	กำลังไฟฟ้าต่อ หน่วย	จำนวน	กำลังไฟฟ้า รวม
Fluorescent tube lights : twin tube	36 W + 12 W choke	58	4872 วัตต์
Fluorescent tube lights : single tube	36 W+ 12 W choke	7	336 วัตต์
Compact fluorescent lamps	9 W+ 3 W choke	45	540 วัตต์
รวมกำลังไฟฟ้าแสงสว่าง			5748 วัตต์



ภาพที่ 4-7 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดค่าความสว่างในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน
สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าความสว่างในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อม
แห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ห้องที่ตรวจวัด	ตำแหน่งตรวจวัด	ความส่องสว่าง (Lux)		มาตรฐานความส่องสว่าง โดย IES standard
		กลางวัน	กลางคืน	
UNEP room	# 1, Table	153	138	500
Small meeting room	# 1, Table	422	377	750
Director room	# 1, Table	207	198	500
Library room	# 1, Floor	193	191	100
	# 2, Floor	93	94	100
	# 3, Table	495	453	300
Server room	# 1, Floor	179	137	100
south office area	# 1, Floor	60	12	100
	# 3, Table	79	22	500
	# 4, Table	234	229	500
	# 5, Floor	113	110	100
	# 6, Floor	145	125	100
	# 7, Table	266	260	500
	# 8, Table	531	487	500
	# 9, Table	423	370	500
	# 10, Table	150	151	500
	# 11, Table	242	239	500
	# 12, Floor	244	243	100
	# 13, Floor	105	101	100
	# 14, Table	320	292	500
	# 15, Table	517	147	500
	# 16, Table	542	288	500
	# 17, Table	610	225	500
	# 18, Table	220	213	500
	# 19, Floor	146	137	100
	# 20, Floor	90	85	100

	# 21, Table	497	115	500
	# 22, Table	376	141	500
	# 23, Table	285	247	500
	# 24, Table	471	430	500
	# 25, Table	250	238	500
	# 26, Table	275	243	500
	# 27, Table	476	322	500
	# 28, Table	293	151	500
	# 29, Table	344	365	500
	# 30, Table drawing	356	195	750
Big meeting room	# 1, Table	400	428	750
	# 2, Table	247	549	750
	# 3, Table	450	518	750
	# 4, Table	394	445	750
	# 5, Table	401	452	750
	# 6, Table	394	442	750
	# 7, Table	295	295	750
	# 8, Table	348	430	750
	# 9, Table	351	441	750
	# 10, Table	380	424	750
Entrance Hall	# 1, Sofa	31	10	150
	# 2, Floor	34	30	100
	# 3, Enquiry	75		500
	# 4, Enquiry	70		500
North office	# 1, Pantry table	188	49	500
	# 2, Floor	120	48	100
	# 3, Table	235	216	500
	# 4, Table	534	377	500
	# 5, Table	279	222	500
	# 6, Table	220	175	500
	# 7, Floor	81	38	100

	# 8, Table	455	188	500
	# 9, Table	394	233	500
	# 10, Table	212	209	500
	# 11, Table	302	246	500
	# 12, Table	338	314	500
	# 13, Table	185	161	500
	# 14, Floor	34	22	100
	# 15, Table	61	44	500
	# 16, Floor	79	20	100
	# 17, Floor	272	269	100
	# 18, Table	316	310	500
	# 19, Table	292	217	500
	# 20, Table	218	124	500
	# 21, Table	417	215	500
	# 22, Table	496	329	500
	# 23, Table	56	9	500
	# 24, Table	224	191	500
	# 25, Table	361	305	500
	# 26, Table	192	153	500
	# 27, Table	164	157	500
	# 28, Table	550	384	500
	# 29, Table	318	302	500
	# 30, Table	285	95	500
	# 31, Table	220	222	500
	# 32, Floor	41	9	100
Tsunami room	# 1, Table	547	332	500
	# 2, Table	149	55	500

4) เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ

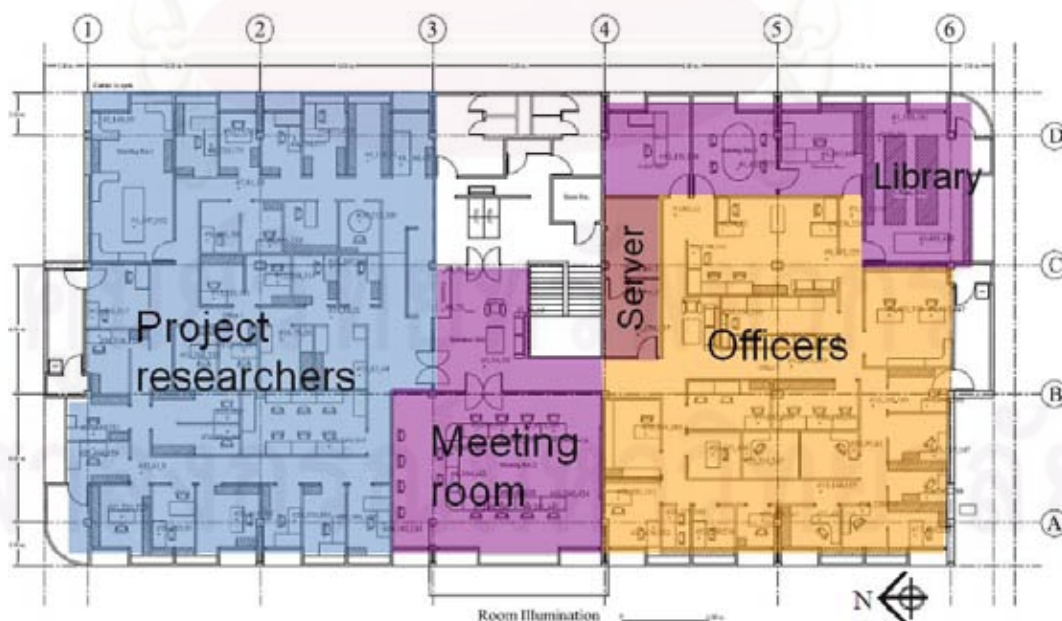
อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าสำนักงานอื่นๆ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์คอมพิวเตอร์ เครื่องสแกนเนอร์ เซิร์ฟเวอร์ เครื่องบันทึกวิดีโอ เครื่องเล่นวีซีดี เครื่องถ่ายเอกสาร ตู้เย็น เต้าไมโครเวฟ กาต้มน้ำไฟฟ้า เครื่องทำน้ำเย็น เครื่องเป่ามือ และอื่นๆ รวมกำลังไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย 15,200 วัตต์

5) ผู้ใช้งานในอาคาร

สำนักงาน UNEP มีจำนวนพนักงานทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 20 คน ทั้งพนักงานประจำ ผู้เชี่ยวชาญ และที่ปรึกษาโครงการต่างๆ ลักษณะอาคารมี 2 ส่วนหลัก คือพื้นที่ทางด้านทิศเหนือ และพื้นที่ทางด้านทิศใต้ การกำหนดใช้งานของพื้นที่ 2 ส่วนแบ่งดังนี้

(1) พื้นที่ทางทิศเหนือเป็นส่วนทำงานของพนักงานส่วนที่ทำงานเฉพาะโครงการ นักวิจัยและที่ปรึกษา ที่มีพฤติกรรมการใช้งานพื้นที่อาคารไม่แน่นอน จำนวนพนักงานไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดโครงการที่สำนักงานรับผิดชอบในแต่ละช่วงเวลา อาจใช้พื้นที่อาคารมากหรือน้อยกว่าเวลาทำงานปกติ พื้นที่ทำงานมีการกั้นเป็นสัดส่วนด้วยผนังชนิดเคลื่อนย้ายได้ ความสูง 1.80 เมตร

(2) พื้นที่ทางทิศใต้เป็นส่วนทำงานของพนักงานส่วนสนับสนุนองค์กร พนักงานประจำมีพฤติกรรมการใช้อาคารแน่นอนตามเวลาทำงานปกติ พื้นที่ทำงานมีทั้งการกั้นห้องด้วยผนังทึบถึงเพดาน และกั้นเป็นสัดส่วนด้วยผนังชนิดเคลื่อนย้ายได้ ความสูง 1.80 เมตร



ภาพที่ 4-8 แสดงพื้นที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ผู้ใช้งานในอาคารจะมีคุณภาพชีวิตที่ดีก็ต่อเมื่อคุณภาพอากาศภายในพื้นที่ใช้งานอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ตารางต่อไปนี้จะแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศตาม ASHRAE standards (62-2001, 55-1981)

ตารางที่ 4-9 แสดงค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ (ASHRAE, 2001: 62)

Carbondioxide (CO ₂)	1000 ppm ¹
Temperature	20 - 23° C winter
	22.8 - 26° C summer
Relative Humidity	20 - 60 %
External Air ²	10 litres of air/second/person (office)
	8 litres of air/second/person (classroom)

1. มาตรฐาน ASHREA standard กำหนดให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารต้องไม่สูงกว่า 700 ppm ของอากาศภายนอก อย่างไรก็ตาม หากมีความเข้มข้น 800 ppm ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องระมัดระวัง
2. External Air ที่ระบุ เป็นค่าต่ำสุดที่มาตรฐานยอมรับ



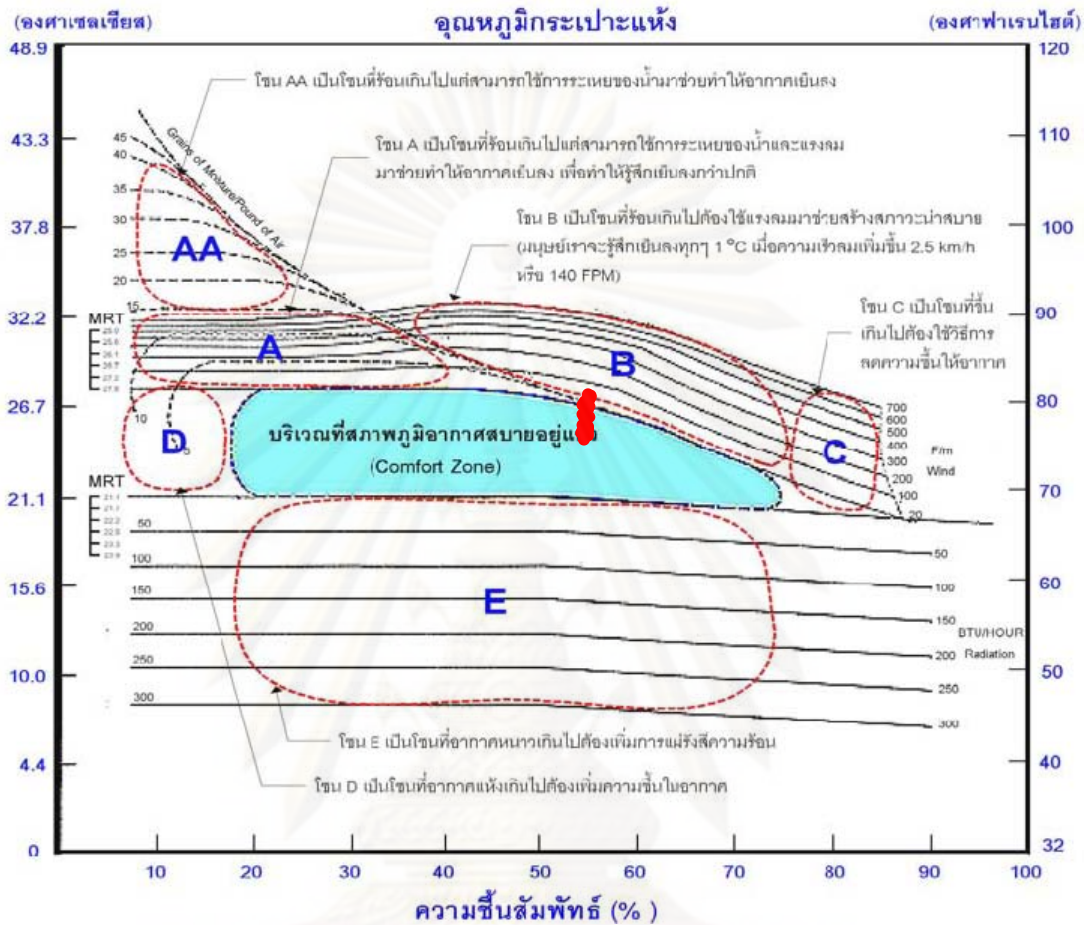
ภาพที่ 4-9 แสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานสำนักงาน UNEP

ตารางที่ 4-10 แสดงข้อมูลการวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน

โครงการ

Air quality measurement 11 Dec. 2007							
Area	Measured Point	CO2 ppm	CO2 inside larger than outside, ppm	Air Vent		Relative Humidity, %	Temperature °C
				cfm/p	litres/sec.		
South side office	S1	759	364	28.8	13.59	54.3	25.7
	S2	718	323	33.4	15.76	54.7	25.7
	S3	739	344	30.2	14.25	54.2	25.6
	S4	746	351	29.2	13.78	54.4	25.5
	S5	740	345	30.4	14.35	54.2	25.5
	S6	759	364	29.7	14.02	54.1	25.3
	S7	733	338	31.1	14.68	54.1	25.3
	S8	860	465	22.7	10.71	54.5	25.9
	S9	833	438	23.9	11.28	54.5	25.9
	S10	827	432	24.1	11.37	54.7	26
	S11	796	401	26.1	12.32	54.6	25.8
	S12	735	340	30.6	14.44	54.8	25.6
	S13	733	338	30.8	14.54	54.4	25.5
	S14	720	325	32.2	15.20	54.7	25.3
	S15	826	431	23.7	11.19	55.3	25.9
North side office	N1	724	329	33.2	15.67	54.9	26.7
	N2	706	311	34	16.05	54.7	26.4
	N3	703	308	33.5	15.81	55.1	26.5
	N4	736	341	30.6	14.44	55.1	24.9
	N5	711	316	33.4	15.76	54.5	25
	N6	765	370	28.1	13.26	54.7	25.1
	N7	852	457	22.7	10.71	54.3	26
	N8	673	278	37.6	17.75	54.9	25.2
	N9	830	435	25.6	12.08	54.6	25.7
	N10	894	499	21	9.91	54.7	26.8
	N11	881	486	21.8	10.29	54.7	26.7
	N12	817	422	25.1	11.85	55	26.6
	N13	851	456	22.4	10.57	54.8	26.7
	N14	894	499	21	9.91	55.1	26.8
	N15	861	466	23.5	11.09	55	26.9
	N16	852	457	22.6	10.67	55.2	26.9
	N17	840	445	23.7	11.19	55	27
	N18	835	440	23.9	11.28	55.7	26.9
N19	899	504	20.9	9.86	55.2	26.9	
N20	870	475	22.1	10.43	54.7	26.7	
N21	862	467	22.7	10.71	54.5	26.5	
N22	850	455	23.1	10.90	54.6	26.4	
Outside building		395					

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- สภาพอากาศภายในก่อนปรับปรุงอาคาร

ภาพที่ 4-10 แสดงสภาพอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) วันที่ 11 ธันวาคม 2550 ในแผนภูมิขอบเขตภาวะน่าสบายของมนุษย์

ได้ทำการวัดคุณภาพอากาศภายในสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2550 ซึ่งแสดงไว้ดังตารางข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบผลการวัดคุณภาพอากาศกับมาตรฐาน ASHREA standard แล้ว จะเห็นว่าทั้งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิอากาศยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แม้จะมีค่าค่อนข้างสูงก็ตาม แต่จากการสัมภาษณ์แบบสุ่มจากพนักงานในสำนักงานฯ แล้ว ให้ความเห็นว่า เมื่อทำงานอยู่ในพื้นที่นี้ จะมีความรู้สึกอึดอัด ง่วงนอน หายใจไม่สะดวก ปวดศีรษะบ่อยครั้ง คนที่นั่งทำงานใกล้หน้าต่างด้านทิศตะวันตก จะรู้สึกร้อนจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกและหน้าต่างอาคาร ต้องปรับ

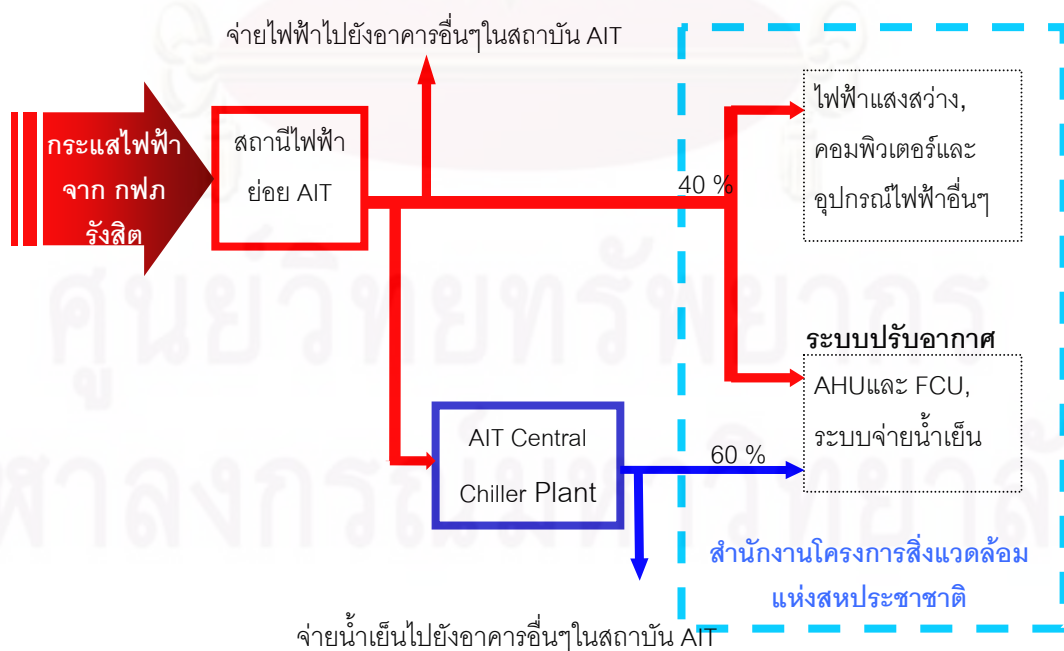
เครื่องปรับอากาศบริเวณนั้นให้มีอุณหภูมิ set point ต่ำลง ทำให้การทำงานของเครื่องปรับอากาศในส่วนนี้ทำงานหนักมากกว่าเครื่องที่ติดตั้งไว้บริเวณอื่น ส่วนคนที่นั่งทำงานบริเวณกลางห้องและทางด้านทิศตะวันออก จะไม่ได้รับความร้อนที่แผ่ออกมาจากผนังด้านทิศตะวันตกโดยตรง จึงไม่มีปัญหาในการปรับอุณหภูมิอากาศมากนัก

6) ระบบอาคาร

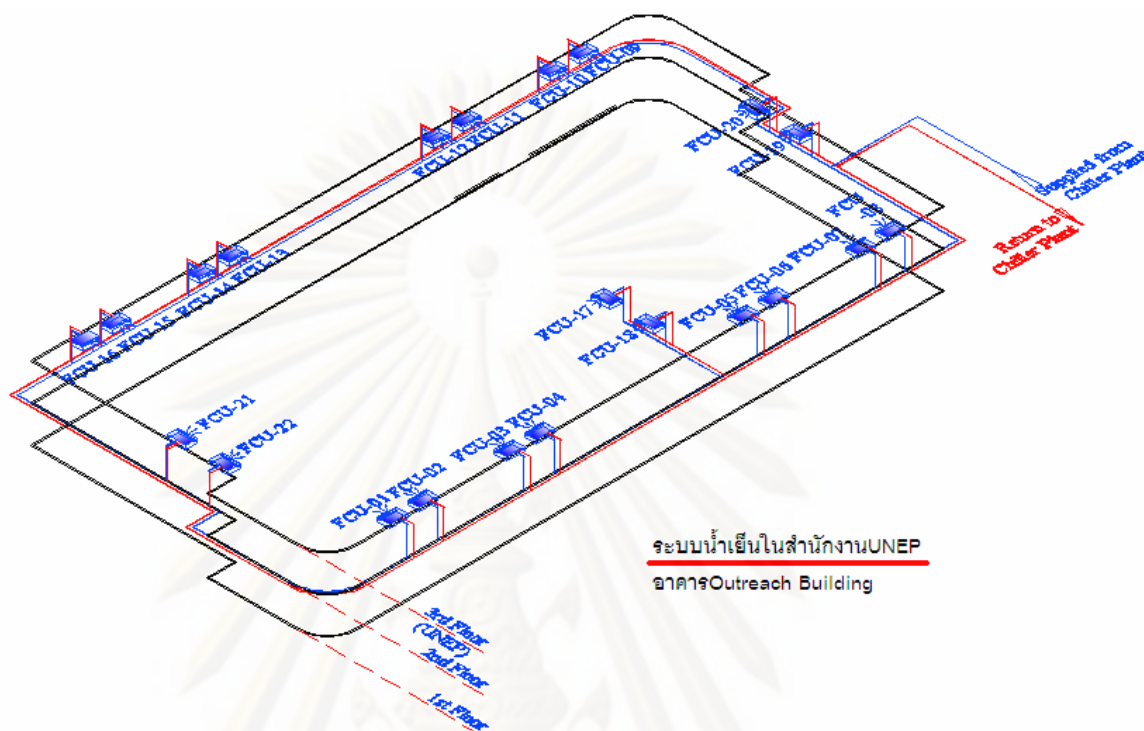
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายมายังสำนักงาน UNEP ส่งมาด้วยขนาดแรงดัน 220 Volt ที่ผ่านการแปลงกระแสไฟฟ้าแรงสูงขนาดแรงดัน 22 kVA จากกริดไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัด ที่สถานีไฟฟ้าย่อยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ระบบปรับอากาศเป็นระบบรวมศูนย์ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ศูนย์ทำความเย็นระบบปรับอากาศภายในสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียเรียกว่า Chiller plant ภายใต้การควบคุมรับผิดชอบของแผนก Infrastructure Office, AIT

จากภาพที่ 3-4 การใช้พลังงานในการทำความเย็นภายในอาคารสำนักงาน UNEP และอาคารอื่นๆ ในสถาบัน AIT จะรวมกันอยู่ที่ Chiller Plant ดังนั้นการวัดค่าพลังงานในการทำความเย็นโดยตรงของอาคารสำนักงาน UNEP ในการวิจัยนี้จึงทำไม่ได้ ต้องออกแบบการวัดจากการไหลของน้ำเย็นในท่อส่งน้ำเย็นและท่อน้ำกลับที่จ่ายไปยังอาคาร



ภาพที่ 4-11 แสดงไดอะแกรมการจ่ายไฟฟ้าในสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียและอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)



ภาพที่ 4-12 แสดงไดอะแกรมการจ่ายน้ำเย็นและท่อน้ำกลับของระบบปรับอากาศในอาคาร
กรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

จากภาพที่ 4-8 แสดงไดอะแกรมการจ่ายน้ำเย็นและท่อน้ำกลับของระบบปรับอากาศ ซึ่ง
จ่ายมาจากแผนก Physical Plant (ระยะทางประมาณ 800 เมตรจากอาคาร Outreach Building
ไปทางทิศตะวันตก) ในท่อน้ำกัลวาไนซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วหุ้มด้วยฉนวนความหนาแน่น
สี่ด้านหนา 2.5 นิ้ว ด้วยอุณหภูมิน้ำที่หัวจ่าย 45 ฟาเรนไฮต์

ท่อน้ำเย็นที่ส่งมายังอาคาร Outreach Building เมื่อมาถึงอาคารชั้นล่างมีวาล์วควบคุม
การจ่ายน้ำหลักของอาคาร แยกเป็นชั้น 1 ซึ่งเป็นชั้นล่างสุดมีวาล์วควบคุมการจ่ายน้ำย่อยประจำ
ชั้นที่ 1 และแยกส่งน้ำเย็นขึ้นชั้น 2 โดยมีวาล์วย่อยควบคุมการจ่ายน้ำเย็นเพียงอีก 1 ชุดที่ควบคุม
การจ่ายน้ำที่ส่งไปยังชั้น 2 และชั้น 3 ทำให้ไม่สามารถทำการติดตั้งเครื่องมือวัดข้อมูลน้ำเย็นที่
บริเวณวาล์วควบคุมย่อยชั้นที่ 2 ได้

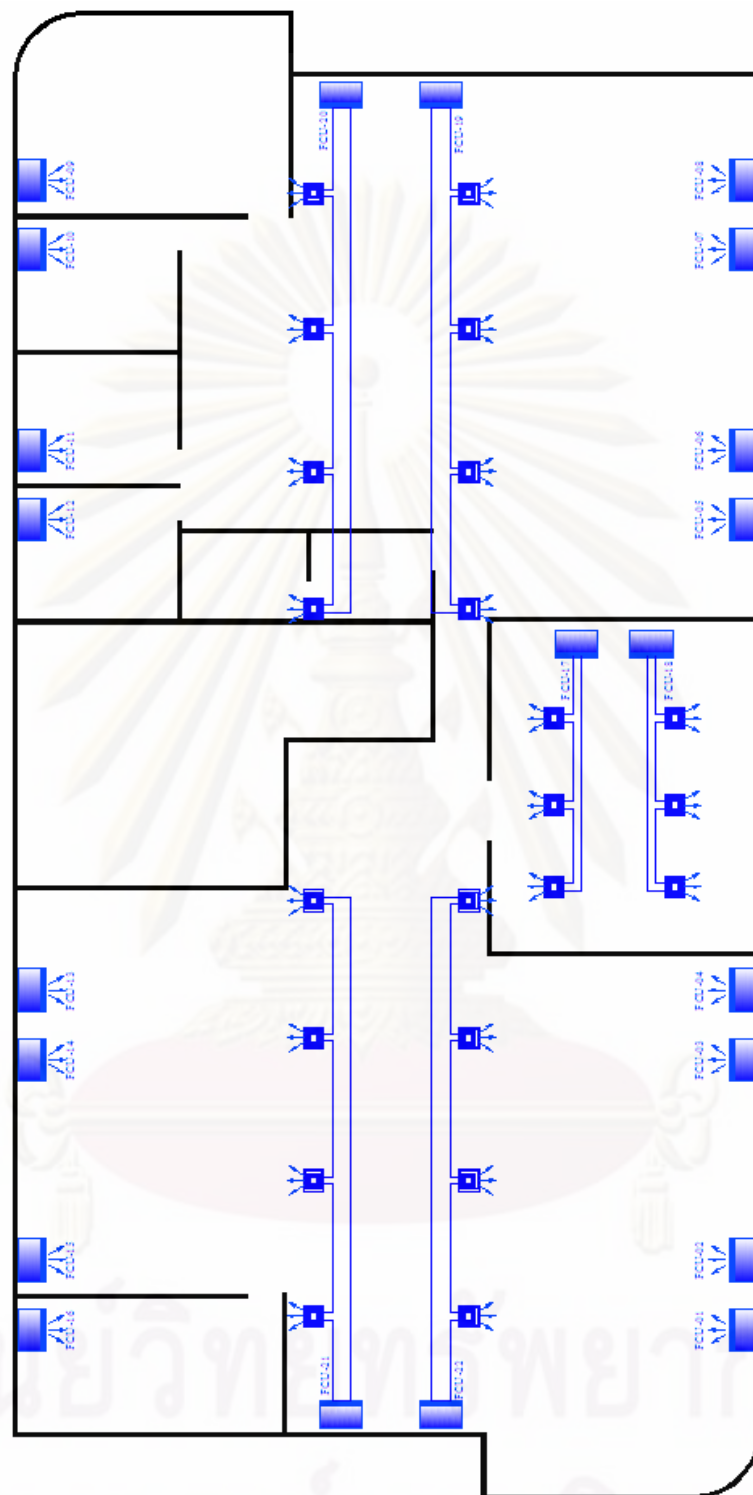
การจ่ายน้ำเย็นไปยังชั้น 3 ตามไดอะแกรมข้างต้น จะเห็นว่าแบ่งเป็น 2 โครงข่ายที่ส่งขึ้น
ตามท่อแนวตั้งจากชั้น 2 ไปยังจุดหัวจ่ายลมเย็นที่ชั้นที่สุด โครงข่ายแรกเป็นท่อแนวตั้งด้านทิศ
เหนือและทิศใต้ไปเชื่อมต่อกับ Air Handling Units จำนวน 4 ชุด ส่งลมเย็นผ่านท่อ Air Duct ใน

แนวกลางอาคาร โดยลมเย็นจะปล่อยลงสู่พื้นที่ใช้งานในอาคารจากด้านบนเหนือฝ้าเพดาน โครง
ข่ายชุดที่สอง ท่อจ่ายน้ำเย็นและท่อน้ำกลับจาเชื่อมต่อกับชั้นสองด้วยท่อส่งน้ำเย็นขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 1 ½ นิ้ว ในแนวตั้งเช่นกัน โดยเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่งหัวจ่ายลมเย็น (Fan coil Units)
จำนวน 18 ชุดตามแนวชิดผนังโดยรอบอาคาร

ดังนั้นในการติดตั้งเครื่องมือวัดข้อมูลตามโครงข่ายการจ่ายน้ำเย็นจึงต้องแยกติดตั้งตาม
แนวท่อจ่ายน้ำเย็นดังกล่าว และแบ่งเครื่องมือวัดข้อมูลเป็นสองประเภท คือโครงข่ายแรกใช้
เครื่องมือวัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำ จำนวน 4 ชุด โครงข่ายที่สองใช้เครื่องมือวัดอัตรา
การไหลของน้ำเพียงอย่างเดียวจำนวน 18 ชุด ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมือตรวจวัดข้อมูลโครงข่ายแรก
มีราคาสูงมาก งบประมาณที่มีอยู่จำกัดของสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติจึง
ต้องออกแบบการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดข้อมูลให้เหมาะสมกับงบประมาณ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



FCU

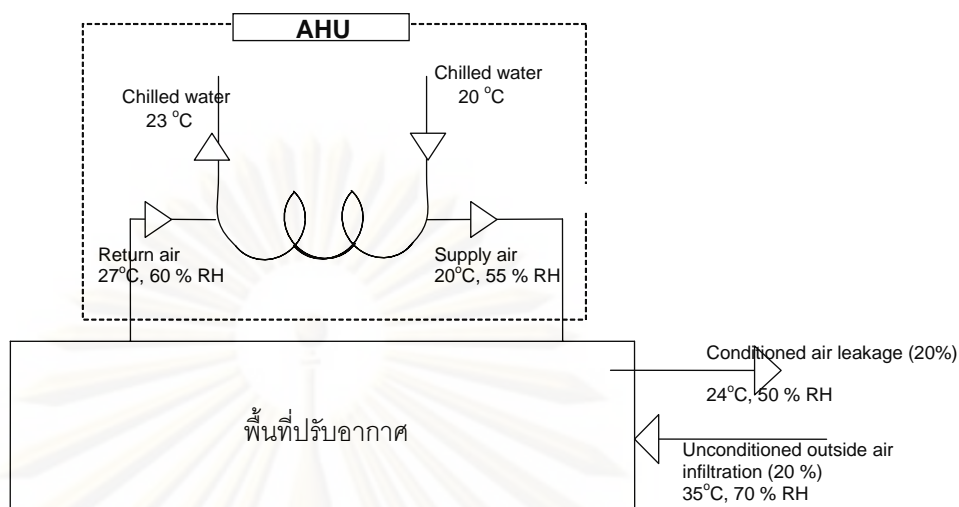
รวม 14,794 วัตต์



หัวจ่ายลมเย็นจาก AHU

รวม 6,524 วัตต์

ภาพที่ 4-13 แสดงชนิดและตำแหน่งหัวจ่ายลมเย็นในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน
โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)



ภาพที่ 4-14 แสดงระบบการทำงานของ Air Handling Unit ในอาคารกรณีศึกษาส่วน
สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ในระบบเดิมไม่มีระบบควบคุมความชื้นใน AHU และ FCU ไม่มีการควบคุมการรั่วซึมของอากาศ จึงคาดประมาณการรั่วซึมไว้ที่ 20% ของเครื่องเป่าลมเย็น เป็นการคาดประมาณจาก Air flow ให้มีค่า 100 cfm/ton ค่าเฉลี่ยของลมเย็นจากเครื่องเป่าลมเย็นประมาณ 20 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55% อุณหภูมิอากาศภายนอก 35°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % อุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศ 24°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %

4.2 ประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

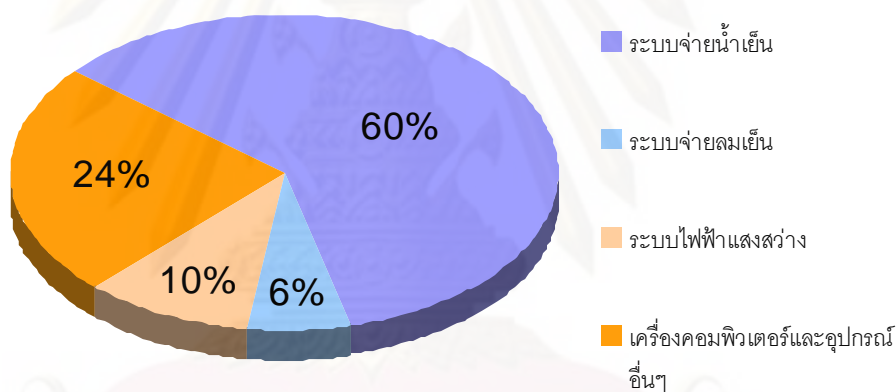
4.2.1 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า

สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) จากข้อมูลข้างต้นและจากการคำนวณข้อมูลบิลค่าไฟฟ้าและค่าบริการระบบปรับอากาศ สามารถแสดงการเปรียบเทียบดังตารางและแผนภูมิได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-11 แสดงสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ
สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

รายการ	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์)
ระบบจ่ายน้ำเย็น	37000
ระบบจ่ายลมเย็น	4000
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	5800
เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ	15200
พลังงานไฟฟ้ารวม	62000



แผนภูมิที่ 4-6 แสดงสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อม
แห่งสหประชาชาติ (UNEP)

การใช้พลังงานไฟฟ้าหลักในสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติคือ การจ่ายน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ เครื่องเป่าลมเย็น ไฟฟ้าแสงสว่าง คอมพิวเตอร์และเครื่องใช้ไฟฟ้าสำนักงาน โดยมีค่าความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย 62 กิโลวัตต์ ค่าพลังงานไฟฟ้าในการจ่ายน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ 37 กิโลวัตต์ (จากการประมาณตามใบเสร็จค่าไฟฟ้าและการคำนวณจากขนาดเครื่องเป่าลมเย็น) ค่าพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง 5.8 กิโลวัตต์ ค่าพลังงานเครื่องเป่าลมเย็น 4 กิโลวัตต์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ 15.2 กิโลวัตต์ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบส่งน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ 60 % และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าสำนักงาน 24% ไฟฟ้าแสงสว่าง 10 % และเครื่องเป่าลมเย็นของระบบปรับอากาศ 6 %

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากการประมาณการใช้พลังงาน 60 ตันความเย็นต่อชั่วโมงทำงาน 10 ชั่วโมงต่อวันใน 21 วันทำงานต่อเดือน ซึ่งทางสถาบันเอไอทีไม่ได้วัดค่าพลังงานในการทำความเย็นจากระบบจริง เป็นเพียงการคาดประมาณจากขนาดเครื่องเป่าลมเย็นและพื้นที่ที่ให้บริการเท่านั้น

4.2.2 การวิเคราะห์ภาระการทำความเย็น

1) ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากเปลือกอาคาร

การถ่ายเทความร้อนจากเปลือกอาคารสู่ภายในอาคารเกิดจากความร้อนจากสภาพอากาศภายนอกอาคารถ่ายเทไปยังวัสดุเปลือกอาคาร เกิดการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุ เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งที่มีพลังงานความร้อนสูงไปสู่แหล่งที่มีพลังงานความร้อนต่ำกว่า

การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากเปลือกอาคารมีตัวแปรที่สำคัญคือวัสดุเปลือกอาคารที่มีความจุความร้อนจำเพาะตามชนิดของวัสดุชนิดนั้นๆ ความหนาและพื้นที่สัมผัสกับอากาศภายนอกอาคาร ทิศทางและมุมของวัสดุอาคารที่ทำกับทิศทางของแหล่งความร้อนที่ถ่ายเทมายังวัสดุเปลือกอาคาร

การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเป็นการถ่ายเทโดยการนำความร้อน และมีค่าขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด ตารางต่อไปนี้แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุเปลือกอาคารของสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

ตารางที่ 4-12 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร (U value) ของอาคารกรณีศึกษา ส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ค่าการนำความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร(U value)

หลังคาเหล็กกรีต

หลังคาเหล็กกรีต		ค่าต้านทานความร้อน (R value) (heat flow down)
ชั้นที่	รายละเอียด	
1	Outside air film	0.25
2	Metal sheet	0.0001
3	Still air	0.92
4	Fiber glass 2"thk.	6.67
5	Fiber board 0.5"thk.	1.25

6	Still air	0.92
7	Gypsum board 0.375"thk.	0.32
8	Inside air film	0.92
	ค่าต้านทานความร้อนรวม	11.2467
	ค่าการนำความร้อนรวม	0.0889

หลังคาคอนกรีต

ชั้นที่	รายละเอียด	ค่าต้านทานความร้อน (R value) (heat flow down)
1	Outside air film	0.25
2	Concrete roof 4"thk.	0.32
3	Still air	0.92
4	Gypsum board 0.375"thk.	0.32
5	Inside air film	0.92
	ค่าต้านทานความร้อนรวม	2.73
	ค่าการนำความร้อนรวม	0.366

พื้น

ชั้นที่	รายละเอียด	ค่าต้านทานความร้อน (R value) (heat flow up)
1	Inside air film	0.61
2	Gypsum board 0.375"thk.	0.32
3	Still air	0.61
4	Concrete floor 4"thk.	0.32
5	Inside air film	0.61
	ค่าต้านทานความร้อนรวม	2.47
	ค่าการนำความร้อนรวม	0.405

ผนังกระจก

ชั้นที่	รายละเอียด	ค่าต้านทานความร้อน (R value)
1	Outside air film	0.25
2	Glass 6 mm.	0.91
3	Inside air film	0.68
	ค่าต้านทานความร้อนรวม	1.84
	ค่าการนำความร้อนรวม	0.543

ผนังก่ออิฐฉาบปูน

ชั้นที่	รายละเอียด	ค่าต้านทานความร้อน
---------	------------	--------------------

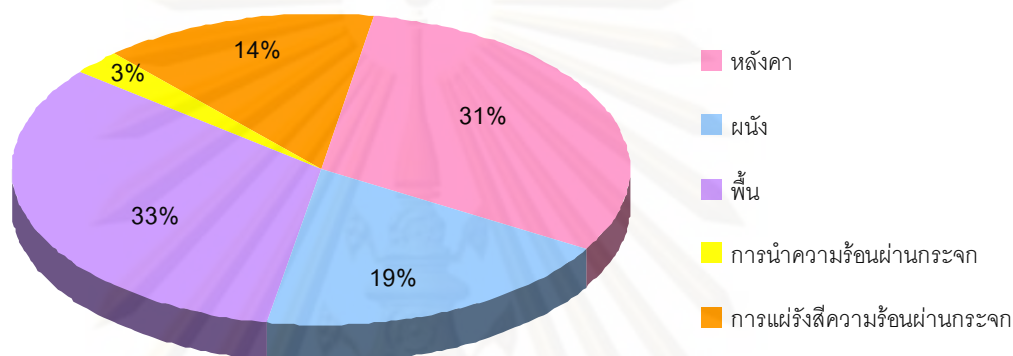
		(R value)
1	Outside air film	0.25
2	Plaster	0.44
3	Brick wall 4"thk.	1.01
4	plaster	0.44
5	Inside air film	0.68
ค่าต้านทานความร้อนรวม		2.82
ค่าการนำความร้อนรวม		0.355

เมื่อได้ค่าการนำความร้อนรวมของวัสดุเปลือกอาคารแล้วจึงนำมาคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD (Cooling Load Temperature Difference) โดยการแยกคำนวณเป็นหลังคา ผนังส่วนที่รับแสงแต่ละด้าน ผนังกระจกแต่ละด้าน และพื้นอาคาร ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-13 แสดงภาระการทำความเย็นของเปลือกอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ภาระการทำความเย็นของเปลือกอาคาร(Q)				
หลังคา	Q_{Roof}		65,878.18	btu/hr.
ผนังทึบ	Q_{Wall}	ทิศใต้	5,022.83	btu/hr.
		ทิศตะวันออก	15,512.44	btu/hr.
		ทิศเหนือ	4,651.69	btu/hr.
		ทิศตะวันตก	15,765.71	btu/hr.
		รวม	40,952.66	btu/hr.
พื้น	Q_{floor}		70,517.25	btu/hr.
กระจก	$Q_{\text{Glass conduction}}$	ทิศใต้	1,417.72	btu/hr.
		ทิศตะวันออก	835.15	btu/hr.
		ทิศเหนือ	1,417.72	btu/hr.
		ทิศตะวันตก	1,716.26	btu/hr.
		รวม	5,386.86	btu/hr.
	$Q_{\text{Glass solar}}$	ทิศใต้	4,571.41	btu/hr.
		ทิศตะวันออก	7,260.59	btu/hr.
		ทิศเหนือ	5,123.13	btu/hr.
		ทิศตะวันตก	13,958.01	btu/hr.
		รวม	30,913.14	btu/hr.
ภาระการทำความเย็นรวม	Q_{Total}		213,648.00	btu/hr.
ภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ปรับอากาศ				
			69.63	W/sq.m.

จากตารางการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านเปลือกอาคารแต่ละส่วน เมื่อนำมาวิเคราะห์สัดส่วนของแต่ละชั้นส่วนของเปลือกอาคารแล้ว จะเห็นว่าส่วนของเปลือกอาคารที่มีอิทธิพลในการถ่ายเทความร้อนมากสำหรับอาคารสำนักงานนี้คือ การถ่ายเทความร้อนจากพื้นอาคารและหลังคา เนื่องจากมีอัตราส่วนพื้นที่ชั้นส่วนของเปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยปรับอากาศมากดังแสดงในตารางที่ 3-1



แผนภูมิที่ 4-7 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นจากเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

2) ภาระการทำความเย็นจากตัวแปรอื่นๆ

ภาระการทำความเย็นในอาคารจากตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ ไฟฟ้าแสงสว่าง เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ และผู้ใช้อาคาร ซึ่งแจกแจงได้ดังนี้

(1) ภาระการทำความเย็นจากไฟฟ้าแสงสว่าง

$$\begin{aligned}
 q_{lgt} &= L_{wsf} \times A \times 3.413 \times (CLF_{eq}) \\
 &= 5800 \times 3.413 \times 0.74 \\
 &= 14648.6 \text{ btu/hr} \\
 &= 4293 \text{ watt} \\
 &= 16.29 \text{ watt/ m}^2
 \end{aligned}$$

(2) ภาระการทำความเย็นจากเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ

$$\begin{aligned}
 q_{\text{eq}} &= EQ_{\text{wsf}} \times A \times 3.413 \times (\text{CLF}_{\text{eq}}) \\
 &= 15200 \times 3.413 \times 0.90 \times 0.75 + 15200 \times 3.413 \times 0.25 \\
 &= 47986.78 \text{ btu/hr} \\
 &= 14063.54 \text{ watt} \\
 &= 53.38 \text{ watt/ m}^2
 \end{aligned}$$

(3) ภาระการทำความเย็นจากผู้ใช้อาคาร

$$\begin{aligned}
 q_{\text{p-sen}} &= N \times \text{SHG}_p \times \text{CLF}_p \\
 &= 20 \times 255 \times 0.89 \\
 &= 4539 \text{ btu/hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{p-lat}} &= N \times \text{LHG}_p \\
 &= 20 \times 255 \\
 &= 5100 \text{ btu/hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{p-total}} &= 4539 + 5100 \\
 &= 9639 \text{ btu/hr} \\
 &= 2825 \text{ watt} \\
 &= 10.72 \text{ watt/ m}^2
 \end{aligned}$$

(4) การรั่วซึมของอากาศ

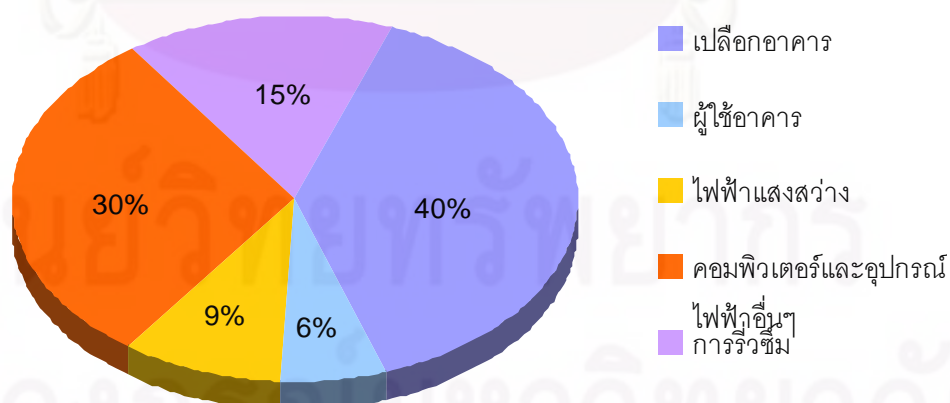
$$\begin{aligned}
 q_{\text{infil}} &= 4.5 \times \text{cfm} \times (H_o - H_i) \\
 &= 4.5 \times 4264.4 \times 4.36 \\
 &= 83667.53 \text{ btu/hr} \\
 &= 24504 \text{ watt} \\
 &= 27.26 \text{ watt/m}^2
 \end{aligned}$$

3) เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของเปลือกอาคารและตัวแปรอื่นๆ

จากการคำนวณภาระการทำความเย็นของแต่ละตัวแปร เมื่อนำแต่ละตัวแปรมาเปรียบเทียบแล้ว จะเห็นได้ว่าสัดส่วนภาระการทำความเย็นที่เกิดจากเปลือกอาคารมีน้ำหนักสูงที่สุดเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนต่อพื้นที่ใช้สอยที่ปรับอากาศดังตารางและแผนภูมิต่อไปนี้

ตารางที่ 4-14 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นจากตัวแปรต่างๆของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

รายการ	ภาระการทำความเย็น (วัตต์/ตร.ม.)
เปลือกอาคาร	69.63
ผู้ใช้อาคาร	10.72
ไฟฟ้าแสงสว่าง	16.29
คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ	53.38
การรั่วซึม	27.26
รวม	177.28



แผนภูมิที่ 4-8 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นจากตัวแปรต่างๆของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

4.2.3 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารข้างต้นซึ่งได้แสดงให้เห็นปริมาณการใช้พลังงานโดย
 แจกแจงแต่ละตัวแปรแล้ว นำมาคำนวณเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้
 ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตปีล่าสุด พ.ศ.2551 มี
 ค่าเฉลี่ยจากทุกแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยเท่ากับ 0.55 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ
 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-15 แสดงรายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

THAILAND: CO₂ EMISSION FROM POWER SECTORS
 (Source: Environmental Division, EGAT; March 2009)

Year	CO ₂ (ton)	Electricity Generation (kWh) ^v	kgCO ₂ /kWh
1970	2,303,364	4,095,320,000	0.56
1971	2,425,482	4,893,880,000	0.50
1972	3,020,469	5,711,152,300	0.53
1973	4,097,749	6,873,650,000	0.60
1974	3,837,504	7,231,623,000	0.53
1975	4,442,148	8,211,567,000	0.54
1976	4,381,695	9,414,472,000	0.47
1977	6,171,736	10,950,420,000	0.56
1978	8,043,630	12,371,676,000	0.65
1979	8,644,848	13,964,539,337	0.62
1980	10,341,778	14,753,727,400	0.70
1981	10,098,646	15,928,805,200	0.63
1982	9,099,265	16,879,406,400	0.54
1983	9,949,788	19,065,775,100	0.52
1984	11,128,954	21,058,547,000	0.53
1985	12,702,320	23,350,041,000	0.54
1986	12,699,894	24,728,248,200	0.51
1987	15,466,478	28,145,775,000	0.55
1988	17,924,628	31,964,657,500	0.56
1989	19,994,201	36,331,461,967	0.55
1990	26,345,087	43,074,302,148	0.61
1991	33,431,959	49,044,090,000	0.68
1992	37,409,837	56,005,340,000	0.67
1993	39,709,487	62,178,490,000	0.64
1994	44,669,647	69,931,764,318	0.64
1995	48,460,628	78,880,358,096	0.61
1996	54,123,190	85,924,123,082	0.63
1997	59,756,580	93,083,460,767	0.64
1998	57,503,739	92,134,440,379	0.62
1999	55,336,707	90,414,002,296	0.61
2000	55,785,497	96,754,400,000	0.58
2001	59,983,269	103,172,100,368	0.58
2002	56,888,173	100,376,025,482	0.57
2003	64,913,276	116,741,577,964	0.56
2004	73,302,114	125,318,787,092	0.58
2005	76,565,703	134,630,012,427	0.57
2006	77,015,878	141,900,226,139	0.54
2007	81,834,143	149,275,974,788	0.55
2008	81,691,511	148,200,933,936	0.55

หมายเหตุ: 1. ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ คำนวณจาก "คู่มือการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตาม Revised

1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน
 (พฤษภาคม 2547)"

2. * ผลิตงานไฟฟ้าที่ปล่อยสุทธิ (Net Generation) จากโรงไฟฟ้าทุกประเภทของ กฟผ. และเอกชน (รวมผลิตงานไฟฟ้า
 สับเปลี่ยนจากต่างประเทศ)

จากตารางข้างต้น ได้ใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตปีล่าสุด พ.ศ.2551 มีค่าเฉลี่ยจากทุกแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยเท่ากับ 0.55 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เพื่อคำนวณเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-16 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นจากตัวแปรต่างๆของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

รายการ	ภาระการทำความเย็น (w/m ²)	ปริมาณ CO ₂ (kgCO ₂ /m ²)
เปลือกอาคาร	69.63	38.30
ผู้ใช้อาคาร	10.72	5.90
ไฟฟ้าแสงสว่าง	16.29	8.96
คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ	53.38	29.36
การรั่วซึม	27.26	14.99
รวม	177.28	97.50

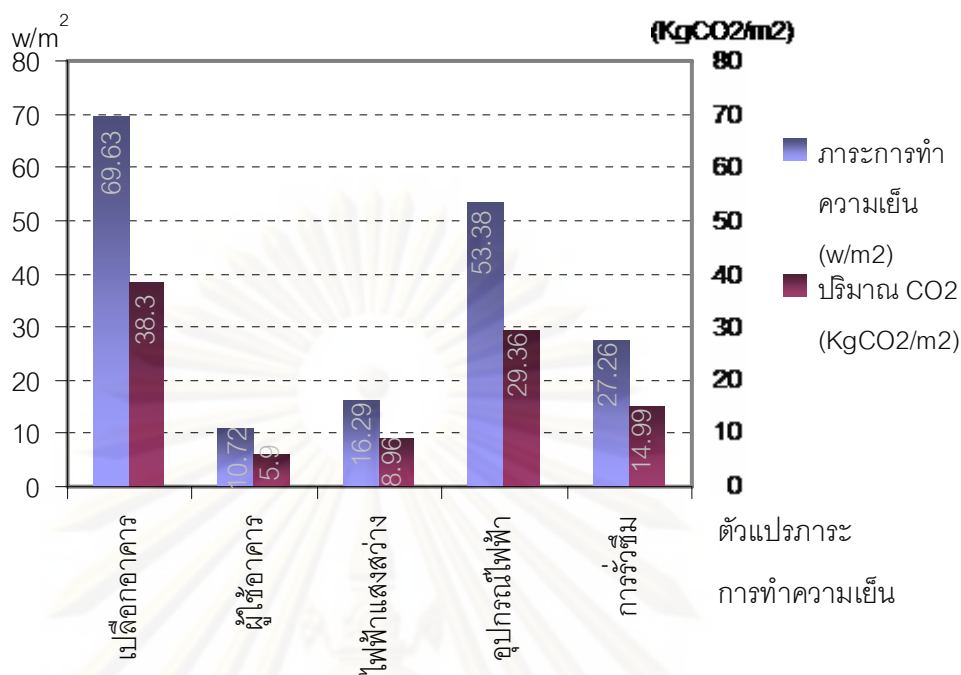
พื้นที่ใช้สอยของอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติทั้งหมด 866 ตารางเมตร ดังนั้น ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาระการทำความเย็นทั้งหมด คิดเป็น

$$\text{CO}_2 = 866 \times 97.50$$

$$= 84,435 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

$$= 84,435 \times 10 \times 21$$

$$= 17,731,350 \text{ กิโลกรัมต่อเดือน}$$



แผนภูมิที่ 4-9 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากตัวแปรด้านภาระการทำความเย็นของอาคารกรณีศึกษา ส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

4.2.4 วิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการใช้พลังงานในอาคาร

จากข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนการใช้พลังงานในการปรับอากาศมีค่าประมาณ 60 % ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่สูงมาก จึงทำการศึกษาค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพลังงานในการปรับอากาศ และกำหนดให้ตัวแปรในการใช้พลังงานอื่นนอกเหนือจากการปรับอากาศเป็นตัวแปรคงที่

ในการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในการปรับอากาศในอาคาร พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศในอาคารสามารถสรุปในรูปแบบการได้ดังนี้

$$E = (\sum U.S * S/A * \Delta t) / COP$$

โดยที่

E = ภาระการทำความเย็นในอาคาร (Electrical Supply) (วัตต์)

$\sum U.S$ = ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นตัวแปรด้านวัสดุ (U-Value)

S/A = พื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตร.ม.) ซึ่งเป็นตัวแปรด้านลักษณะรูปร่างอาคาร

Δt = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก ซึ่งเป็นตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่ตั้งและอุณหภูมิภายใน ($^{\circ}\text{C}$) ของโครงการ

COP = อัตราส่วนประสิทธิผลของพลังงาน ซึ่งเป็นตัวแปรประสิทธิภาพของเครื่องกล (Energy Efficiency Ratio)

การวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละตัวแปรดังกล่าว จึงต้องทำการออกแบบการวิจัยแต่ละตัวแปรได้ดังนี้

1) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคารและวัสดุ (Buildings and Material Factors) โดยทำการเลือกวัสดุเปลือกอาคาร เปรียบเทียบคุณสมบัติที่เหมาะสม คำนวณภาระการทำความร้อนและเปรียบเทียบ โดยเปรียบเทียบการวิจัยเป็นระยะการปรับปรุงเปลือกอาคารส่วนที่บดแสงและระยะการปรับปรุงเปลือกอาคารทั้งหมดรวมทั้งส่วนหน้าต่างกระจก

ตารางที่ 4-17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเปลือกอาคารใน 2 ระยะการปรับปรุงอาคาร กรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

Descriptions	Base case		Opaque Wall Improved case		Opaque Wall & Glass Improved case	
	R	U	R	U	R	U
	hr.ft ² .°F/btu	Btu/hr.ft ² .°F	hr.ft ² .°F/btu	Btu/hr.ft ² .°F	hr.ft ² .°F/btu	Btu/hr.ft ² .°F
Metal Sheet Roof	11.25	0.09	34.58	0.03	34.58	0.03
Concrete Roof	2.73	0.37	32.42	0.03	32.42	0.03
Floor	2.47	0.40	8.47	0.12	8.47	0.12
Glass	1.84	0.54	1.84	0.54	5.39	0.19
Wall	2.82	0.35	18.82	0.05	18.82	0.05

2) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร (Surface per Usable Area factors) โดยทำการศึกษาอาคารกรณีศึกษาใน 2 กรณีที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่การใช้สอยอาคารต่างกัน

ตารางที่ 4-18 แสดงค่าสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารใน 2 กรณีของการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

พื้นที่เปลือกอาคารกรณีศึกษาเปรียบเทียบ 2 กรณี							
ส่วนเปลือกอาคาร	รายละเอียด	Option A			Option B		
		อาคาร Outreach Building			UNEP		
		พื้นที่ (sq.m.)	อัตราส่วนต่อพื้นที่ปรับอากาศ %	อัตราส่วนต่อพื้นที่เปลือกอาคาร %	พื้นที่ (sq.m.)	อัตราส่วนต่อพื้นที่ปรับอากาศ %	อัตราส่วนต่อพื้นที่เปลือกอาคาร %
ผนัง (ทั้งหมด)	ทิศใต้	253	11.01		110	12.7	
	ทิศตะวันออก	535	23.28		220	25.4	
	ทิศเหนือ	253	11.01		110	12.7	
	ทิศตะวันตก	535	23.28		220	25.4	
	รวม	1576	68.58	32.44	660	76.21	26.55
หลังคา	เหล็กกรีต	720	31.33		720	83.14	
	คอนกรีต	216	9.40		216	24.94	
	รวม	936	40.73	19.27	936	108.08	37.65
พื้น	ภายใน	2298	100.00		866	100.00	
	ภายนอก	48	2.09		24	2.77	
	รวม	2346	102.09	48.29	890	102.77	35.80
ผนังกระจก	ทิศใต้	41	1.78		17.31	2.00	
	ทิศตะวันออก	96.28	4.19		10.2	1.18	
	ทิศเหนือ	41	1.78		17.31	2.00	
	ทิศตะวันตก	112.24	4.88		20.96	2.42	
	รวม	290.52	12.64	5.98	65.77	7.59	2.65
ผนังทึบ	ทิศใต้	212.00	9.23		92.69	10.7	
	ทิศตะวันออก	438.72	19.09		209.80	24.23	
	ทิศเหนือ	212.00	9.23		92.69	10.7	
	ทิศตะวันตก	422.76	18.40		199.05	22.98	
	รวม	1,285.48	55.94	26.46	594.23	68.62	23.90
รวมเปลือกอาคาร		4858	211.4	100	2486	287.07	100

3) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม (Site and Climate Factors) ในที่นี้ไม่สามารถทำการออกแบบแก้ไขได้ เนื่องจากเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับนโยบายทางด้านกายภาพของหน่วยงานสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จึงเป็นข้อจำกัด ไม่สามารถทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้

4) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบอุปกรณ์อาคาร (Buildings System Factors) ได้แก่ระบบปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นระบบจ่ายน้ำเย็นเย็นรวมที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ทั้งระบบ จึงทำการออกแบบการวิจัยเป็นระยะการเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็นแบบ FCU ติดผนังและติดตั้งระบบ Fresh air โดยการสนับสนุนอุปกรณ์และการติดตั้งจากบริษัท Broad Company ประเทศจีน

ตารางที่ 4-19 แสดงรายการ FCU ระบบเดิมของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

Model	No.	Cooling Load (kW)	Total (kW)
FCU - C	8	7.35	58.8
FCU - D	8	9.64	77.12
FCU - F	4	14.47	58.96
Total	20	—	198.88

ตารางที่ 4-20 แสดงรายการติดตั้ง FCU ของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

Specific Location at UNEP RRC.AP Office	Area (m ²)	Model	No.	Cooling Load (kW)	Cooling Capacity (W/m ²)
Tsunami Room	28	Thick DB3.6	1	3.6	129
Public Area	318	Thick DB3.6	2	28.2	89
Program Support Head		Thick DB9	1		
Vacant		Thick DB12	1		
Emerging Issues Head	15	Thick AD1.8	1	1.8	120
Big Meeting Room	73	Thick DB9	1	9	123
UNEP Room	17	Curve AD1.8	1	1.8	106
Small Meeting Room	17	Thin AA2.7	1	2.7	159
Director Room	16	Curve AD1.8	1	1.8	113
Library	35	Thick DB3.6	1	3.6	103
Public Area	232	Thick DB3.6	1	20.7	89
Regional Support Head		Thick DB4.5	1		
Finance Group		Thick DB5.4	1		
Vacant		Thick DB7.2	1		
Head Regional Support		—	—		

Specific Location at UNEP RRC.AP Office	Area (m ²)	Model	No.	Cooling Load (kW)	Cooling Capacity (W/m ²)
Server Room	10	Left Thick DC 3.6	1	3.6	360
Others	119	—	—	—	—
Total	880	9 models	16	76.8	87

ตารางที่ 4-21 แสดงรายการติดตั้ง Fresh air units ของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

Fresh air units	No.
HEFA 100	10
HEFA 240	2
HEFA 400	1
Total	13

ทั้ง 4 ตัวแปรเชิงเดียวจะมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ซึ่งกันและกันต่อการบริโภคพลังงานในอาคาร และการออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้การออกแบบการวิจัยในหัวข้อต่อไป

4.3 การออกแบบการวิจัย เครื่องมือและวิธีการวิจัย

4.3.1 การเลือกวัสดุผนังเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

วัสดุกรอบอาคารที่ใช้วัสดุในการศึกษาได้ทำการพิจารณาจากวัสดุที่สามารถจัดหาได้ง่าย ในท้องตลาดและเป็นที่ยอมรับใช้กันโดยทั่วไป เป็นแนวทางเบื้องต้นในการคัดเลือกวัสดุ ควบคู่ไปกับพิจารณาถึงคุณสมบัติด้านอื่น ๆ เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบหาวัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสมต่อไป เพื่อง่ายต่อการเข้าใจ และสอดคล้องกับการใช้งานในการก่อสร้างหรือติดตั้ง จึงมีการพิจารณาวัสดุกรอบอาคารตามการแบ่งประเภทของตำแหน่งการใช้งานของวัสดุผนัง ดังนี้

- 1) ผนังที่เป็นมวลสาร (mass wall) หมายถึงผนังที่มวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนัง โดยการก่อหรือการหล่อเข้าด้วยกัน ผนังที่นำมาพิจารณาศึกษาสำหรับโครงการศึกษาวิจัยวัสดุผนังเพื่อการประหยัดพลังงาน
- 2) ฉนวนกันความร้อน (insulation) เพื่อให้ผนังป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดี ควรมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงาน

4.3.2 การเลือกวัสดุหลังคาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

หลังคาเป็นส่วนหนึ่งของอาคารด้านบนที่ช่วยป้องกันอาคารจากสภาพภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะหลังคาเป็นกรอบอาคารที่ต้องรองรับความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา จากดวงอาทิตย์โดยตรง ดังนั้นอาคารชั้นบนหรือพื้นที่ใช้สอยที่อยู่ใต้หลังคา จะมีผลกระทบเต็มที่ จากการแผ่รังสีความร้อนดังกล่าว จึงควรที่จะคำนึงถึงวิธีการป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา ใน การศึกษาถึงวัสดุของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในส่วนของหลังคาที่พิจารณานี้ได้แก่

- 1) วัสดุมุงหลังคา (roofing) หมายถึง วัสดุที่ใช้มุงหลังคาของอาคาร เป็นส่วนที่รองรับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง
- 2) ฉนวนกันความร้อน (insulation) เพื่อให้ผนังป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ ที่มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนสูงของตัววัสดุเอง ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย โฟรงหรือช่องกลวง เป็นต้น

4.3.3 การเลือกฉนวนกันความร้อนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

ฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุที่ใช้เพื่อการประหยัดพลังงานที่สำคัญปัจจุบันเกือบทุกอาคาร ใช้ฉนวนกันความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในการสกัดกั้นการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ซึ่งในแง่ของ การใช้งานแล้วอาจใช้ได้ทั้งการรักษาความร้อนและความเย็น ดังนั้นเพื่อลดความร้อนที่จะเข้ามา ภายในอาคารการใช้ฉนวนกันความร้อนจึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจาก ภายนอกเข้ามายังภายในอาคารเป็นสำคัญ

ตารางที่ 4-22 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของฉนวนกันความร้อนประเภทที่นำมาใช้กับอาคาร

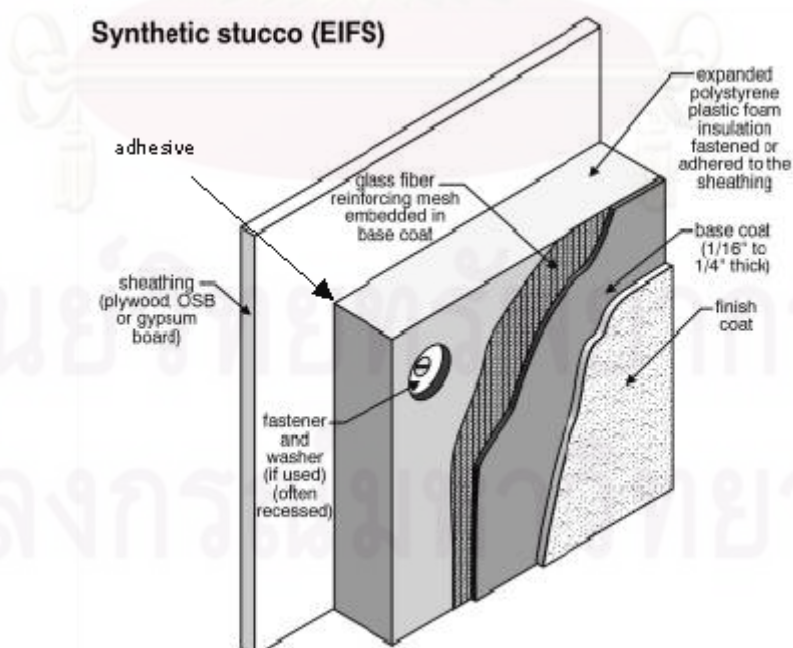
ลำดับ	ชนิดฉนวน	ลักษณะทั่วไป	ข้อดี	ข้อเสีย
1	ใยแก้ว(glass fiber)	<ul style="list-style-type: none"> ฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด แบบคลุมห่ม ผลิตโดยการนำเศษแก้วมาหลอมและปั่นจนเป็นเส้นใยละเอียด 	สภาพการนำความร้อนต่ำ ไม่เป็นพิษ	ไม่กันไฟ ตัวประสาน (binder) ลุกไหม้ได้ การแทรกซึมของไอน้ำสูง ควรมีวัสดุหุ้มกันไอน้ำ
2	ใยแร่หรือใยหิน (mineral fiber/ rock wool)	<ul style="list-style-type: none"> ฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด แบบคลุมห่ม ลักษณะกรรมวิธีการผลิตคล้ายฉนวนใยแก้ว ใช้วัสดุประเภทแร่ เช่น โลหะของเหล็กกล้า ทองแดง 	สภาพการนำความร้อนต่ำ ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษ อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส	ตัวประสาน (binder) ลุกไหม้ได้ การแทรกซึมของไอน้ำสูง
3	ใยเซลลูโลส (cellulose)	<ul style="list-style-type: none"> ผลิตขึ้นจากเศษกระดาษ เศษไม้ นำมาใช้ใหม่ ฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด แบบคลุมห่ม แบบแผ่น และแบบฉีด 	สภาพการนำความร้อนต่ำ ไม่เป็นพิษ	ติดไฟได้ การใช้งาน การดูดซึมน้ำสูง อาจมีการยุบตัวตามอายุ
4	โฟมโพลีสไตรีน (polystyrene foam)	<ul style="list-style-type: none"> รูปแบบการผลิต(แบบรีด , แบบหล่อ) วัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก เป็นสีเหลืองและเสื่อมสภาพได้เมื่อโดนรังสี UV 	สภาพการนำความร้อนต่ำ เป็นตัวฉนวนหรือกันซึมได้ การแทรกซึมของไอน้ำและการดูดซึมน้ำต่ำ ไม่เป็นพิษ	ติดไฟได้ อุณหภูมิใช้งานสูงสุดประมาณ 82 องศาเซลเซียส
5	โฟมโพลียูรีเทน (polyurethane foam)	<ul style="list-style-type: none"> เป็นสารฟลูออโรคาร์บอนที่พ่นให้เป็นโฟม แบบแผ่นแข็ง แบบฉีดขึ้น รูปแบบพ่นบนพื้นผิว 	สภาพการนำความร้อนต่ำที่สุด เป็นตัวฉนวนหรือกันซึมได้ การแทรกซึมของไอน้ำและการดูดซึมน้ำต่ำ	ติดไฟได้ เกิดควันที่เป็นพิษขณะลุกไหม้ แก๊สโดยใส่สารกันไฟลาม
6	โฟมโพลีเอทิลีน (polyethelene foam)	<ul style="list-style-type: none"> ลักษณะคล้ายฉนวนโพลีสไตรีน แต่มักจะมีความหนาแน่นมากกว่า แบบรีดติดกับวัสดุผนังหลังคา 	การนำความร้อนต่ำสุด ไม่ติดไฟ ปรับรูปได้ ยืดติดง่าย น้ำหนักเบา กันเสียง	เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงหากไม่มีการป้องกัน ถ้าขึ้นมาก ๆ จะทำให้เสื่อมสภาพไป

7	แผ่นอลูมิเนียม พอยล์	<ul style="list-style-type: none"> เป็นอลูมิเนียมพอยล์บาง การใช้งานควรมีช่องอากาศระหว่างแผ่นหลังคา เพราะมีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี มีหลายประเภท 	ทนต่อรังสีอุลตราไวโอเล็ต ไม่ติดไฟ ป้องกันการกัดกร่อนของสนิม น้ำหนักเบา	ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะลดลงเรื่อย ๆ ไม่หดตัวแต่จะเสียรูปหรือหย่อนเนื่องจากการติดตั้งไม่ดี
8	เซรามิคโคทติ้ง	<ul style="list-style-type: none"> เป็นวัสดุเคลือบผิวเพื่อสะท้อนความร้อน มีค่าการสะท้อนความร้อนสูงดูดซับความร้อนต่ำ และกระจายความร้อนได้เร็ว 	ช่วยป้องกันความเสียหายให้แก่หลังคาและผนัง จากความร้อน ความร้อน	หากมีฝุ่นละอองจะทำให้ค่าการสะท้อนความร้อนลดลง ค่าการสะท้อนที่ดีขึ้นอยู่กับสี (โดยเฉพาะสีขาว)

แหล่งที่มา : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543 : 28

ทำการออกแบบการติดตั้งฉนวนหุ้มเปลือกอาคารเพื่อลดการสะสมความร้อนในวัสดุเปลือกอาคาร โดยเลือกประเภทของฉนวน ให้เหมาะสมกับชิ้นส่วนอาคารสำนักงานฯ ได้แก่

ส่วนผนังอาคาร เดิมเป็นวัสดุก่ออิฐและพ่นทับผิวหน้าด้วยกรวดล้าง วัสดุฉนวนในส่วนนี้ในท้องตลาดที่เหมาะสมที่สุดคือผนังEIFS (Exterior Insulation Finishing System) ซึ่งเป็นผนังที่ใช้ติดตั้งภายนอกอาคารยึดติดผนังเดิมด้วยกาวหรือสกรู



ภาพที่ 4-15 แสดงรายละเอียดฉนวนผนังEIFS (Exterior Insulation Finishing System)

ส่วนหลังคา วัสดุหลังคาเดิมเป็นหลังคาเหล็กกรีดทำมุม 8 องศา กับแนวราบ ใต้หลังคา มีแผ่นไฟเบอร์บอร์ดหนา 2 เซนติเมตรวางแนวราบ ใต้ชั้นไฟเบอร์บอร์ดลงไป 60 เซนติเมตรมีแผ่นฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ววางบนฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 6 มิลลิเมตร การออกแบบวัสดุฉนวน ป้องกันการสะสมความร้อนของวัสดุอาคารนั้น ตามหลักคิดแล้วจะต้องติดตั้งฉนวนในชั้นนอกสุดที่สัมผัสกับแหล่งความร้อน หากแต่ในกรณีนี้ หลังคาเหล็กกรีดมีอายุการใช้งานมานานกว่า 20 ปี มีความเสียหายเนื่องจากอายุการใช้งานอยู่มากและมีการซ่อมบำรุงอยู่บ่อยๆ เฉพาะที่ จึงทำการออกแบบฉนวนสำหรับส่วนหลังคาเป็นแผ่นไฟเบอร์กลาสวางทับบนแผ่นไฟเบอร์กลาสเดิมแทนที่จะเลือกวัสดุทับบนหลังคา

ส่วนพื้นอาคารปูทับด้วยโฟมชนิด PU foam ซึ่งมีความหนาแน่นสูงและทนการรับน้ำหนักได้ดีแล้วปูทับหน้าอีกทีด้วยไม้อัดหนา 20 มิลลิเมตร กรูผิวหน้าด้วยกระเบื้องยาง

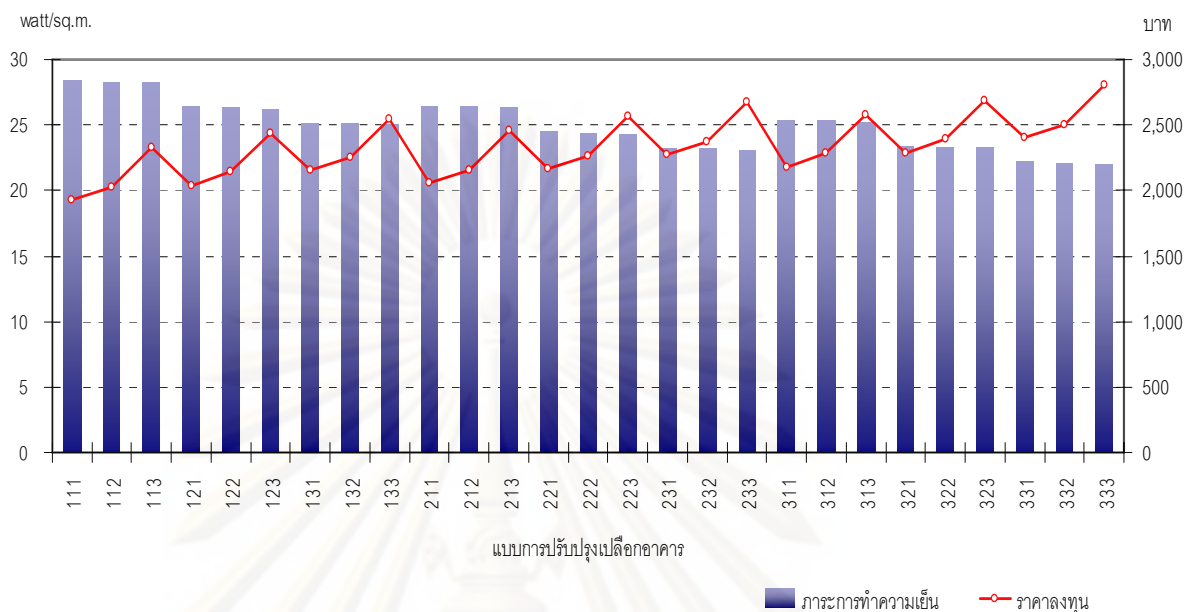
เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย จากตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาแสดงว่าตัวแปรในการใช้พลังงานในอาคารที่มากที่สุดคือระบบปรับอากาศ และภาระต่อระบบปรับอากาศที่สูงที่สุดคือการสะสมความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร ดังนั้นจึงออกแบบการวิจัยเพื่อหาน้ำหนักตัวแปรที่เป็นภาระต่อระบบปรับอากาศในส่วนของเปลือกอาคาร โดยกำหนดให้เป็นตัวแปรต้น และกำหนดตัวแปรอื่นๆ ที่มีน้ำหนักน้อยเป็นตัวแปรคงที่ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจึงใช้วัดเฉพาะระบบปรับอากาศ กระแสไฟฟ้า สภาพอากาศภายในและภายนอกอาคาร เครื่องมือที่ใช้วัดระบบปรับอากาศใช้หวััดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำเย็น และเก็บบันทึกข้อมูลทุก 15 นาทีด้วยโปรแกรม DMS เครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าเก็บบันทึกข้อมูลทุก 15 นาทีด้วยโปรแกรม DMS เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในสำนักงานใช้เครื่องวัดแบบ Spot check เครื่องมือที่ใช้วัดสภาพอากาศภายนอกอาคาร ใช้เครื่องมือวัดของสถานีตรวจอากาศของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย เก็บบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 ออกแบบปรับปรุงอาคารโดยเปรียบเทียบภาระกระทำความเย็น วิธี การและการลงทุน วัสดุ

ตารางที่ 4-23 แสดงรายการแบบเปลือกอาคาร ภาระการทำความเย็น และราคาลงทุนปรับปรุง อาคารกรณีศึกษา Option B (UNEP)

รหัสแบบเปลือกอาคาร	หลังคา			ผนัง			พื้น			ภาระการทำความเย็น (Watt/sq.m.)	ราคาลงทุน (บาท)
	ไฟเบอร์กลาสหนา			ผนังEIFSหนา			PU foam หนา				
	6"	9"	12"	3"	4"	7"	1"	1 1/2"	2"		
111	✓			✓			✓			28.3642	1930
112	✓			✓				✓		28.3053	2030
113	✓			✓					✓	28.2204	2330
121	✓				✓		✓			26.3744	2040
122	✓				✓			✓		26.3155	2140
123	✓				✓				✓	26.2306	2440
131	✓					✓	✓			25.1448	2150
132	✓					✓		✓		25.0859	2250
133	✓					✓			✓	25.0009	2550
211		✓		✓			✓			26.4405	2055
212		✓		✓				✓		26.3817	2155
213		✓		✓					✓	26.2967	2455
221		✓			✓		✓			24.4507	2165
222		✓			✓			✓		24.3918	2265
223		✓			✓				✓	24.3069	2565
231		✓				✓	✓			23.2211	2275
232		✓				✓		✓		23.1622	2375
233		✓				✓			✓	23.0773	2675
311			✓	✓			✓			25.3859	2180
312			✓	✓				✓		25.3270	2280
313			✓	✓					✓	25.2421	2580
321			✓		✓		✓			23.3961	2290
322			✓		✓			✓		23.3372	2390
323			✓		✓				✓	23.2523	2690
331			✓			✓	✓			22.1665	2400
332			✓			✓		✓		22.1076	2500
333			✓			✓			✓	22.0226	2800



แผนภูมิที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบแบบเปลือกอาคาร ประสิทธิภาพทำความเย็น และราคาลงทุนปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (UNEP)

จากการเปรียบเทียบการออกแบบเปลือกอาคารแต่ละแบบกับการลงทุนแล้ว แบบผนังที่เหมาะสมที่เลือกมาทำการปรับปรุงอาคารจริงได้แก่ แบบรหัส 222 และเมื่อนำมาคำนวณมาประสิทธิภาพทำความเย็นเปรียบเทียบ 2 กรณี ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-24 แสดงภาวะการทำความเย็นเปรียบเทียบตามการออกแบบเปลือกอาคารกรณีศึกษา ทั้ง 2 กรณี

ภาวะการทำความเย็นของเปลือกอาคาร(Q)เปรียบเทียบตามการออกแบบปรับปรุงอาคารทั้ง 2 กรณี						
ส่วนของเปลือกอาคาร	รายละเอียด	Option A (Outreach Building)		Option B (UNEP)		
		ก่อนปรับปรุง	ออกแบบ	ก่อนปรับปรุง	ออกแบบ	
		(btu/hr.)	(btu/hr.)	(btu/hr.)	(btu/hr.)	
หลังคา	Q_{Roof}	รวม	65,878.18	14,944.36	65,878.18	14,944.36
ผนัง	Q_{Wall}	ทิศใต้	26,694.42	3,999.91	5,022.83	752.62
		ทิศตะวันออก	65,311.13	9,786.26	15,512.44	2,324.39
		ทิศเหนือ	24,721.92	3,704.35	4,651.69	697.01
		ทิศตะวันตก	71,326.57	10,687.62	15,765.71	2,362.34
		รวม	188,054.04	28,178.13	40,952.66	6,136.37
พื้น	Q_{floor}	รวม	70,651.62	16,373.81	70,517.25	20,564.06
กระจก	Q_{Glass} conduction	ทิศใต้	1,417.72	1,417.72	1,417.72	1,417.72
		ทิศตะวันออก	835.15	835.15	835.15	835.15
		ทิศเหนือ	3,357.98	3,357.98	1,417.72	1,417.72
		ทิศตะวันตก	1,716.26	1,716.26	1,716.26	1,716.26
		รวม	7,327.12	7,327.12	5,386.86	5,386.86
	$Q_{\text{Glass solar}}$	ทิศใต้	4,571.41	4,571.41	4,571.41	4,571.41
		ทิศตะวันออก	7,260.59	7,260.59	7,260.59	7,260.59
		ทิศเหนือ	5,123.13	5,123.13	5,123.13	5,123.13
		ทิศตะวันตก	13,958.01	13,958.01	13,958.01	13,958.01
		รวม	30,913.14	30,913.14	30,913.14	30,913.14
ภาวะการทำ ความเย็นรวม	Q_{Total}		362,824.10	97,736.55	213,648.00	77,944.79
ภาวะการทำ ความเย็นต่อ พื้นที่ใช้งาน	Btu/hr*sq.ft		14.38	3.95	22.08	7.74
	W/sq.m.		45.36	12.46	69.63	24.40
ลดการใช้พลังงานจากเดิมได้ (%)			72.53		64.96	

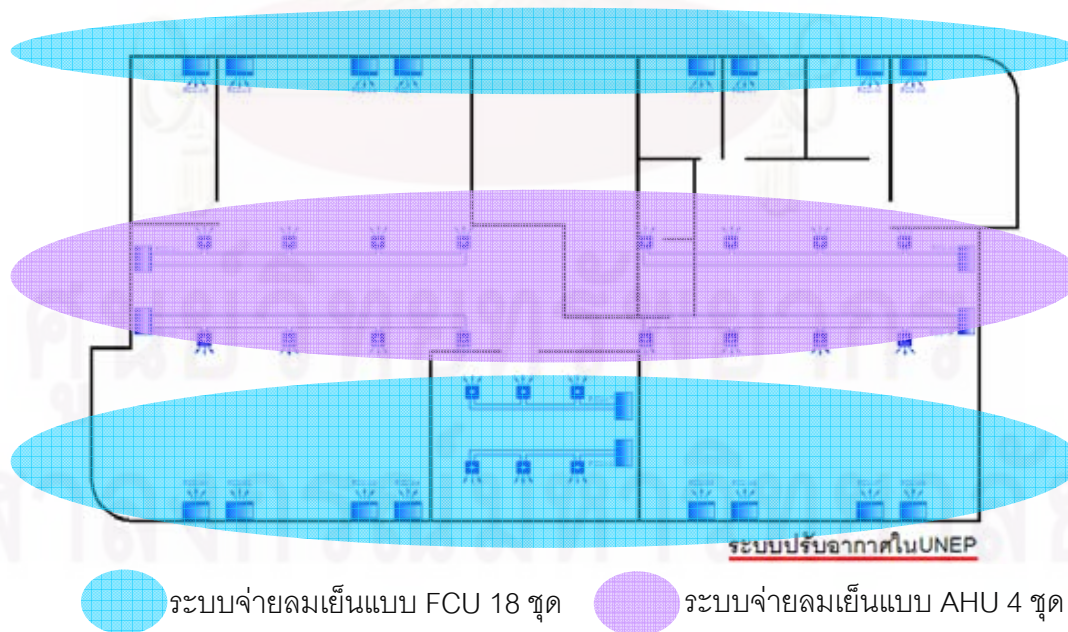
จากการออกแบบการวิจัย การเลือกวัสดุและคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน และการลงทุนแล้ว ได้ข้อสรุปข้างต้น จึงทำการเสนอไปยังสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ เพื่ออนุมัติในการดำเนินการปรับปรุงอาคารจริง โดยวางแผนระยะเวลาการปรับปรุงอาคารให้สั้นที่สุด และพื้นที่สำนักงานจะต้องใช้งานได้โดยไม่ต้องปิดทำการในช่วงระยะเวลาปรับปรุงอาคาร มีรายละเอียดการปรับปรุงอาคารแต่ละส่วนดังนี้

ตารางที่ 4-25 แสดงรายการและรายละเอียดแบบเปลือกอาคารกรณีศึกษา Option B (UNEP)
ระยะที่ 1

ลำดับ ที่	รายการ	ชนิดวัสดุฉนวน	วิธีการ
1	ปรับปรุงผนังอาคารส่วนที่บ แสดง	ผนัง EIFS หนา 4"	เตรียมผิวหน้าผนังด้านนอกอาคาร
			ติดตั้ง EPS foam
			ทำผิวชั้นนอก
2	ปรับปรุงฝ้าเพดาน	fiber glass หนา 9"	วางแผ่น fiber glass หนา 9" ลงบนแผ่น ฝ้ายิปซัมบอร์ดเดิม
			ซ่อมแผ่นฝ้ายิปซัมบอร์ดส่วนที่เสียหาย
3	ปรับปรุงพื้น	PU foam หนา 1 1/2" ปู ทับด้วยแผ่นพื้นไม้อัด หนา 20 มม. กรูกระเบื้อง ยาง	ติดตั้งแผ่นไม้อัดที่พื้นด้วย PU foam หนา 1 1/2" ลงบนพื้นคอนกรีตเดิม
			ปูกระเบื้องยาง

4.3.5 ปรับปรุงอาคารจริงตามแนวทางที่ได้เสนอ

1) ส่วนติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือตรวจวัด ทำการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดและเก็บ
ข้อมูลก่อนการดำเนินการปรับปรุงอาคาร โดยมีรายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือดังนี้



ภาพที่ 4-16 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอัตราการไหลและอุณหภูมิใน
ระบบการจ่ายน้ำเย็น

(1) ระบบจ่ายลมเย็นแบบ FCU 18 ชุด

ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นในท่อจ่ายน้ำเย็น เก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม DMS (Demand Management System)

(2) ระบบจ่ายลมเย็นแบบ AHU 4 ชุด

ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำเย็นในท่อจ่ายน้ำเย็นและท่อน้ำกลับ เก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม DMS (Demand Management System)

2) ส่วนการปรับปรุงอาคาร

(1) การติดตั้งฉนวนเปลือกอาคารส่วนที่บแสดง

a. วางแผนขั้นตอนการทำงาน พื้นที่การทำงานและการเคลื่อนย้ายผู้ใช้งานอาคาร โดยแบ่งพื้นที่การทำงานเป็นงานผนังภายนอก และงานภายในอาคารซึ่งแบ่ง เป็น 2 ส่วน คือพื้นที่ด้านทิศเหนือและพื้นที่ด้านทิศใต้

b. เตรียมพื้นที่กองเก็บวัสดุอุปกรณ์การทำงานและพื้นที่การจัดส่งวัสดุ ด้านหลังอาคาร Outreach Building ซึ่งใช้พื้นที่ประมาณ 100 ตารางเมตร บนพื้นที่สนามหญ้า ล้อมรั้วด้วยโครงไม้และตาข่ายสีเขียว

c. ปรับปรุงผนังด้านนอกอาคารชั้นที่ 3 โดยเริ่มจากด้านทิศตะวันออก ทิศเหนือ ทิศตะวันตกและทิศใต้ตามลำดับ ในแต่ละด้านเริ่มต้นด้วยการติดตั้งนั่งร้านเหล็ก ทำความสะอาดพื้นผิวอาคาร ฉาบปูนชนิดที่เป็นตัวประสานระหว่าง EPS foam กับผนังอาคารเดิม ติดตั้งตาข่ายด้านนอก EPS foam และแผ่นกั้นซีม จากนั้นทำผิวทับหน้าด้วยซีเมนต์ชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติกันการเกาะติดของฝุ่นและคราบต่างๆและชำระล้างออกได้ง่าย ในการติดตั้งจะเว้นช่องแสงเดิมไว้เพื่อให้แสงธรรมชาติผ่านเข้าในอาคาร

d. ปรับปรุงฝ้าเพดานด้วยแผ่น Fiber glassหนา 9” วางลงบนฝ้าเพดานเดิม โดยใช้แผ่น Fiber glass ความหนา 3” ชนิดหุ้มด้วยแผ่นฟอยล์วางซ้อนทับกัน 3 ชั้น แต่ละชั้นวางเหลื่อมสลับช่วงรอยต่อเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านรอยต่อได้

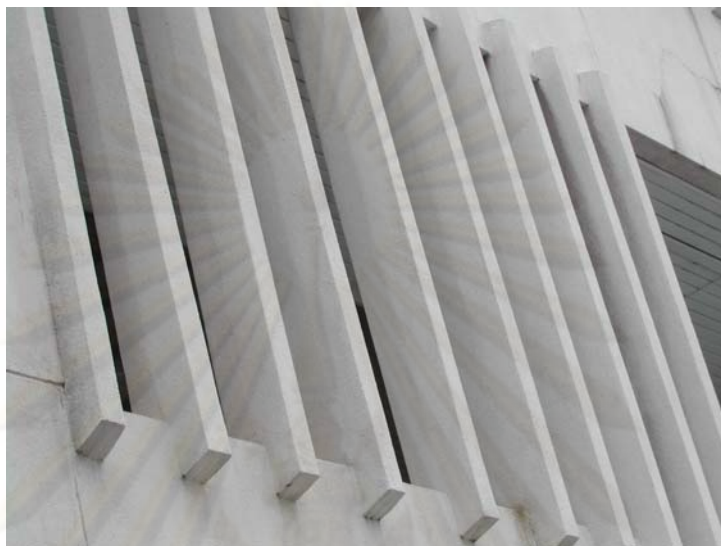
e. ปรับปรุงพื้นอาคาร โดยการใช้แผ่นไม้อัดหนา 20 มิลลิเมตรพ่นทับด้วย PU foam วางเรียงต่อกันบนพื้นคอนกรีตเดิม เชื่อมรอยต่อให้สนิทแล้วปูทับหน้าด้วยแผ่นพื้นกระเบื้องยาง



ภาพที่ 4-17 แสดงการระหว่างการปรับปรุงผนังอาคารด้านทิศเหนือ



ภาพที่ 4 -18 แสดงการปรับปรุงผนังอาคารด้านทิศตะวันออกและทิศเหนือด้วยวัสดุผนัง EIFS



ภาพที่ 4 -19 แสดงการปรับปรุงผนังอาคารด้านทิศตะวันออกและทิศเหนือด้วยวัสดุผนัง EIFS



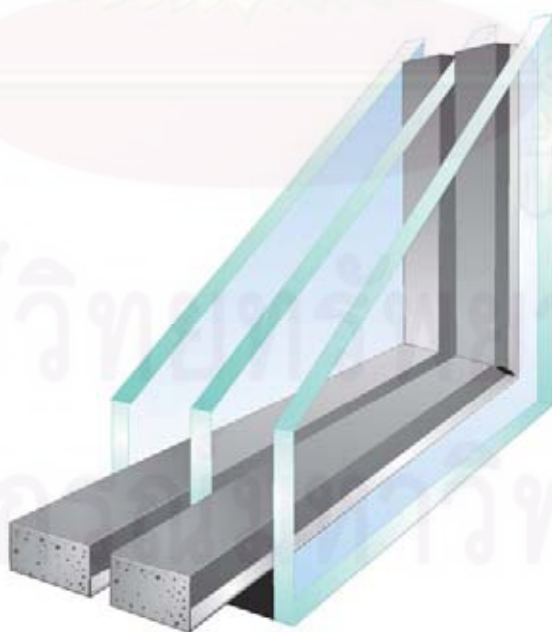
ภาพที่ 4 - 20 แสดงการติดตั้งผนังEIFSบนผนังระเบียงซีเมนต์เหล็ก



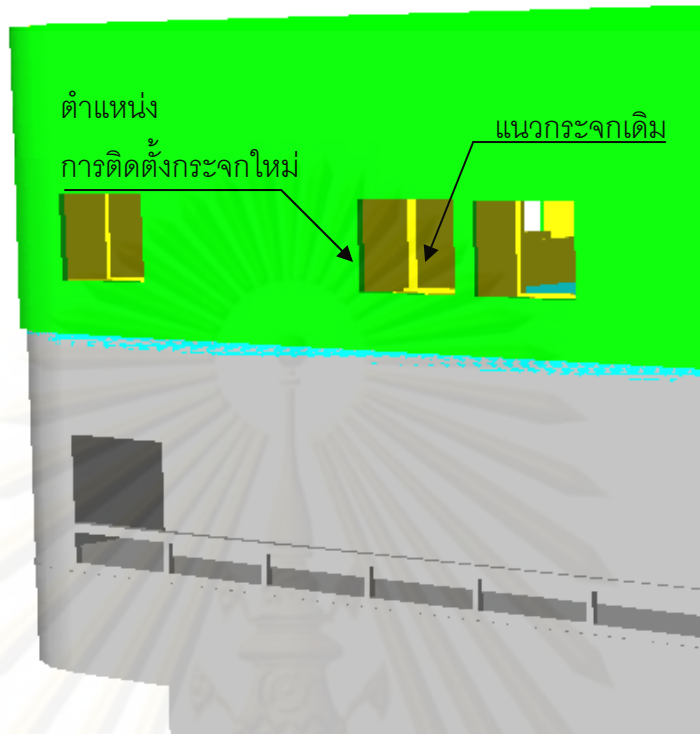
ภาพที่ 4-21 แสดงการปรับปรุงผนังอาคารด้วยวัสดุผนังEIFSโดยเว้นบริเวณช่องกระจก

(2) การติดตั้งฉนวนเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสง

ด้วยการติดตั้งกระจก Heat-stop 24 mm. 3 ชั้น ในวงกบ U-PVC บนแนวเดียวกับผนังอาคารด้านนอกอาคาร ซึ่งวงกบ UPVC นี้ได้ทำการติดตั้งลงบนฉนวน EIFS และปิดรอยต่อด้วยวัสดุ Sealant เพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศ โดยยังคงมีกระจกเดิมติดตั้งในตำแหน่งเดิมของอาคาร



ภาพที่ 4-22 แสดงรายละเอียดกระจก Triple panes Heat-stop



ภาพที่ 4-23 แสดงแนวการติดตั้งกระจก Triple panes Heat-stop






3) การติดตั้ง FCU และ Fresh air units



ภาพที่ 4-24 แสดงชนิด FCU และ Fresh air unit และตำแหน่งการติดตั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-26 แสดงชนิดเครื่องปรับอากาศ FCU และ Fresh air units ซึ่งได้รับการบริจาคโดย
บริษัท Broad Company ประเทศจีน

ชนิดเครื่องปรับอากาศ	
	AC:Curve Model AD
	AC:Thin Model AA
	AC:Thick Model DB
	AC:Left Thick Model DC
	HEFA: Fresh Air Unit SA

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-27 แสดงรายการชนิดเครื่องปรับอากาศและตำแหน่งการติดตั้ง

Specific Location at UNEP RRC.AP Office	Area m ²	Model	No.	Cooling Load (kW)	Cooling Capacity (W/m ²)
Tsunami Room	28	Thick DB3.6	1	3.6	129
Public Area	318	Thick DB3.6	2	28.2	89
Program Support Head		Thick DB9	1		
Vacant		Thick DB12	1		
Emerging Issues Head	15	Thick AD1.8	1	1.8	120
Big Meeting Room	73	Thick DB9	1	9	123
UNEP Room	17	Curve AD1.8	1	1.8	106
Small Meeting Room	17	Thin AA2.7	1	2.7	159
Director Room	16	Curve AD1.8	1	1.8	113
Library	35	Thick DB3.6	1	3.6	103
Public Area	232	Thick DB3.6	1	20.7	89
Regional Support Head		Thick DB4.5	1		
Finance Group		Thick DB5.4	1		
Vacant		Thick DB7.2	1		
Head Regional Support		—	—		
Server Room	10	Left Thick DC 3.6	1	3.6	360
Others	119	—	—	—	—
Total	880	9 models	16	76.8	87

ตารางที่ 4-28 แสดงจำนวนการติดตั้ง Fresh air units

Fresh air units	No.
HEFA 100	10
HEFA 240	2
HEFA 400	1
Total	13

4.4 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานก่อนและแต่ละระยะการปรับปรุงอาคารจริง

การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) แบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่ การติดตั้งฉนวนเปลือกอาคารส่วนที่บดแสง และการติดตั้งกระจก มู่ลี่กันแดดไฮโดรลิก พร้อมกับการติดตั้ง FCU และ Fresh air units

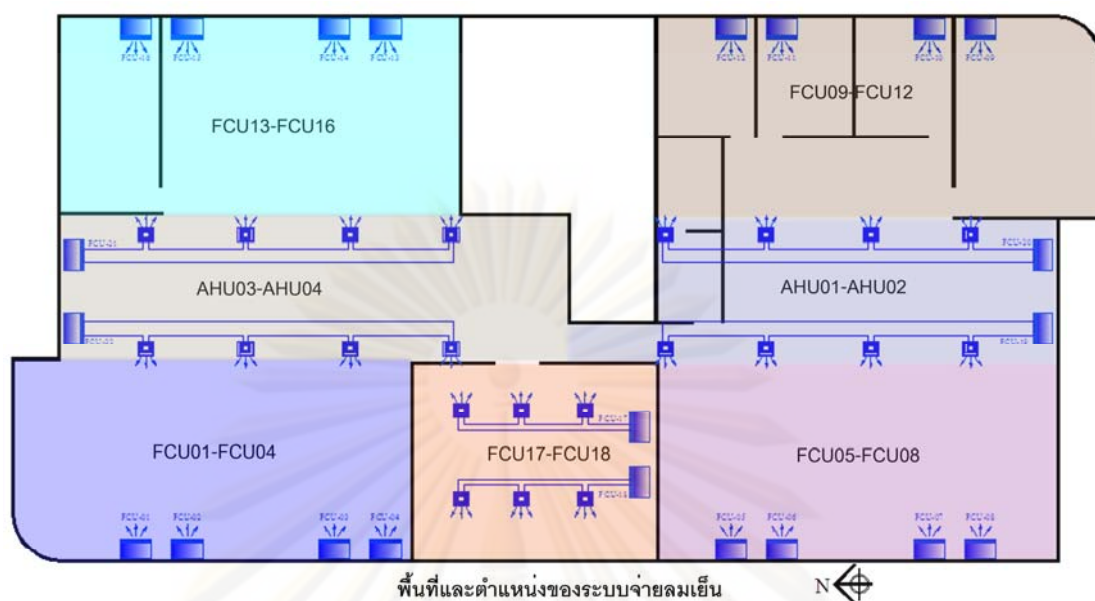
การเก็บข้อมูลได้ทำการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นเป็น 3 ชุดตามช่วงเวลาดังนี้

- 1) ข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงอาคาร
- 2) ข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำหลังการปรับปรุงอาคารด้วยการติดตั้งฉนวนเปลือกอาคารส่วนที่บดแสง
- 3) ข้อมูลน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นก่อนและหลังการปรับปรุงอาคารด้วยการติดตั้งกระจก มู่ลี่กันแดดไฮโดรลิก พร้อมกับการติดตั้ง FCU และ Fresh air units

โดยจัดเก็บข้อมูลชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ด้วยโปรแกรม DMS วัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำเย็นจากท่อระบบจ่ายน้ำเย็นทั้ง 22 ชุด แบ่งเป็นพื้นที่การทำความเย็นดังต่อไปนี้

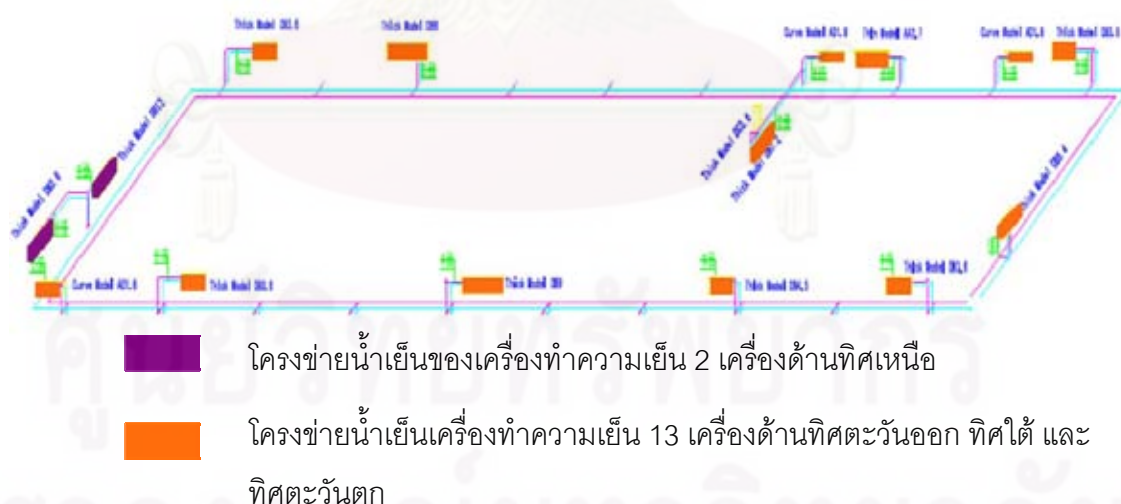
ตารางที่ 4-29 แสดงรายการหัวจ่ายลมเย็นตามพื้นที่ทำความเย็นแต่ละกลุ่ม

ลำดับที่	หัวจ่ายลมเย็น	พื้นที่ทำความเย็น	รายละเอียดพื้นที่
1	FCU01-FCU04	ทิศตะวันตก/เหนือ	พื้นที่ทำงานเปิดโล่ง
2	FCU05-FCU08	ทิศตะวันตก/ใต้	พื้นที่ทำงานเปิดโล่ง
3	FCU17-FCU18	ทิศตะวันตก	ห้องประชุมใหญ่
4	FCU13-FCU16	ทิศตะวันออก	พื้นที่ทำงานเปิดโล่ง
5	FCU09-FCU12	ทิศตะวันออก	ห้องทำงานกันผนังทึบ
6	AHU01-AHU02	ทิศใต้	พื้นที่ทำงานเปิดโล่ง
7	AHU03-AHU04	ทิศเหนือ	พื้นที่ทำงานเปิดโล่ง



ภาพที่ 4-25 แสดงพื้นที่ทำความเย็นแต่ละกลุ่มของหัวจ่ายลมเย็น

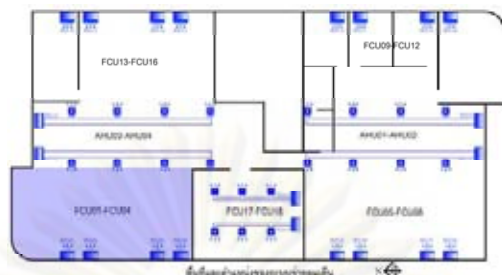
ส่วนการจัดเก็บข้อมูลชุดที่ 3 จัดเก็บด้วยโปรแกรม DMS วัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำเย็นจากท่อระบบจ่ายน้ำเย็นที่ได้ทำการตัดต่อท่อน้ำเย็นใหม่ โดยแบ่งเป็นท่อทางด้านทิศเหนือที่จ่ายน้ำเย็นเข้าเครื่องทำความเย็น 2 เครื่องด้านทิศเหนือ และท่อจ่ายน้ำเย็นทางด้านทิศใต้ที่จ่ายน้ำเย็นเข้าเครื่องทำความเย็น 13 เครื่องด้านทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก



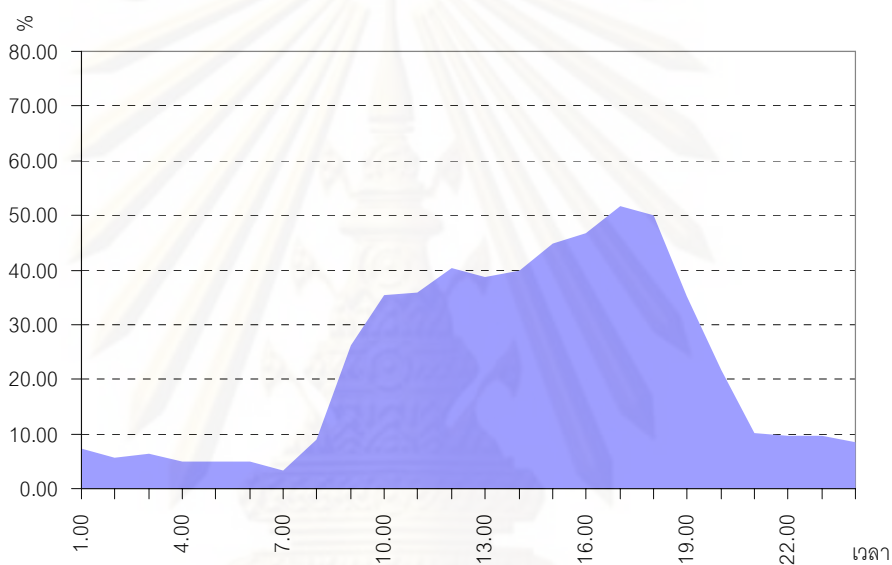
ภาพที่ 4-26 แสดงโครงข่ายการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นที่ติดตั้งใหม่

4.4.1 ข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงอาคารการตรวจวัดข้อมูลได้แบ่งเป็น 7 พื้นที่ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ผลการตรวจวัดข้อมูลได้เสนอแยกเป็นพื้นที่ดังนี้

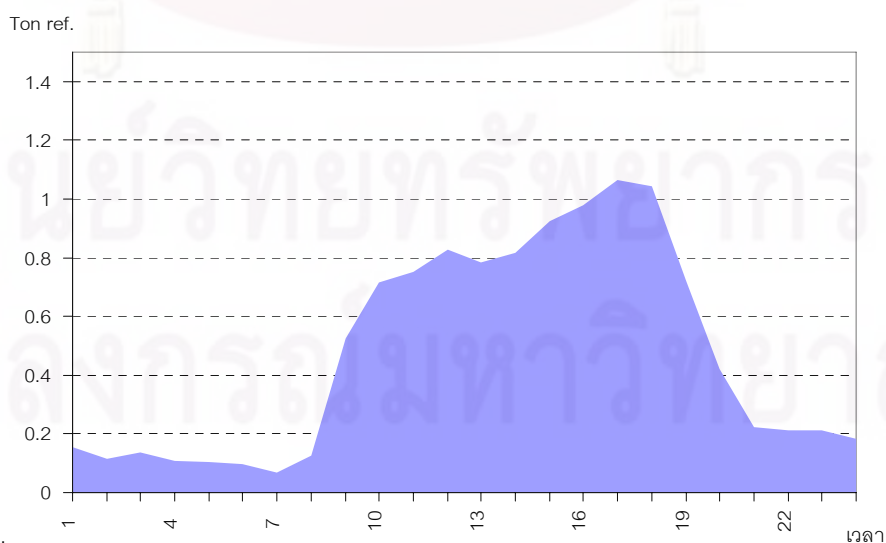
1) ระบบจ่ายลมเย็นแบบ FCU 18 ชุด



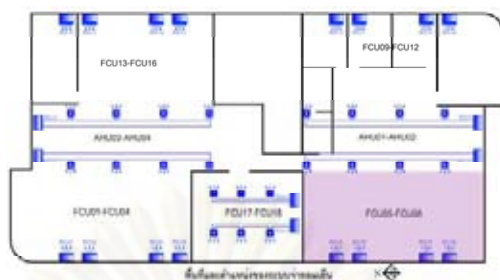
ภาพที่ 4-27 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)



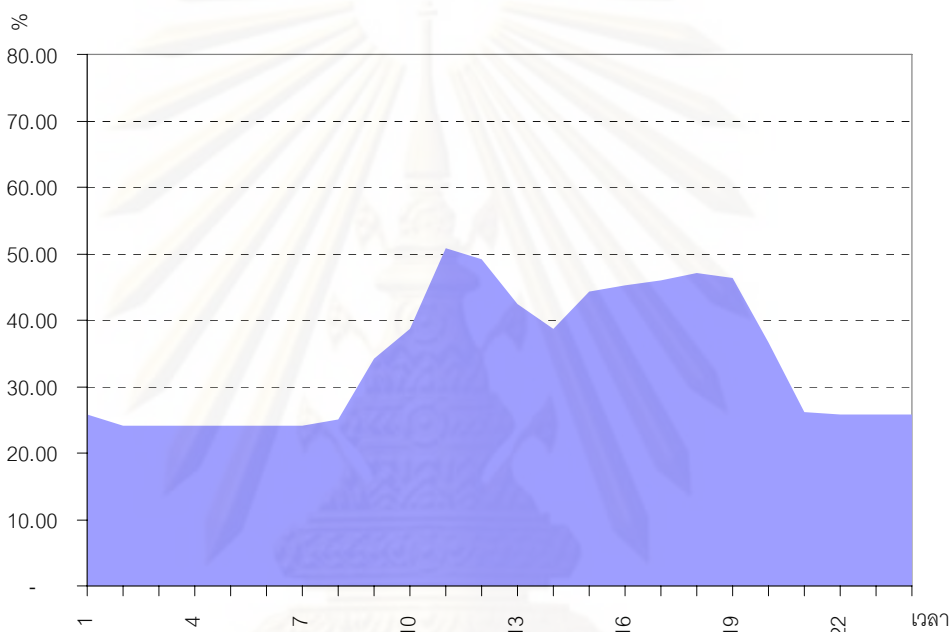
แผนภูมิที่ 4-11 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



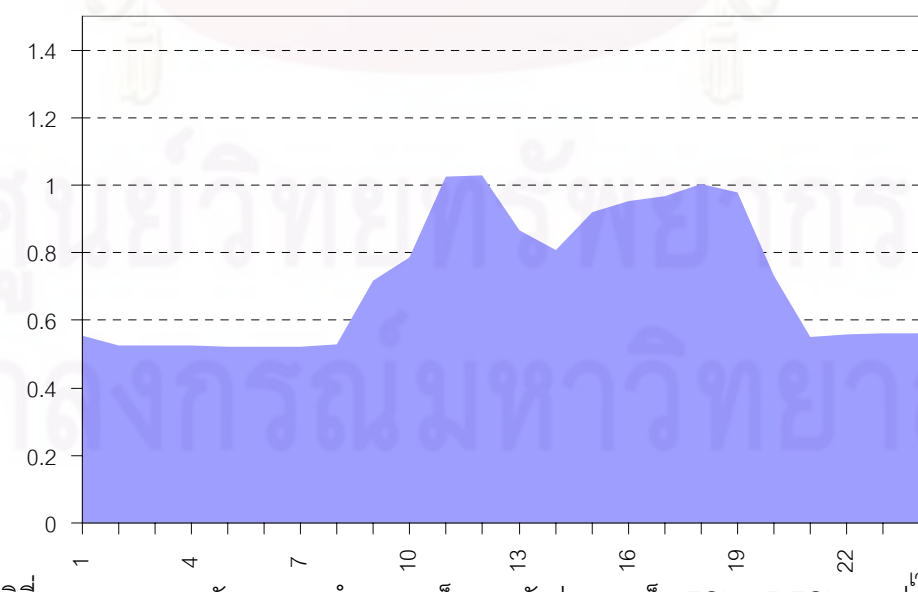
แผนภูมิที่ 4-12 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



ภาพที่ 4-28 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)



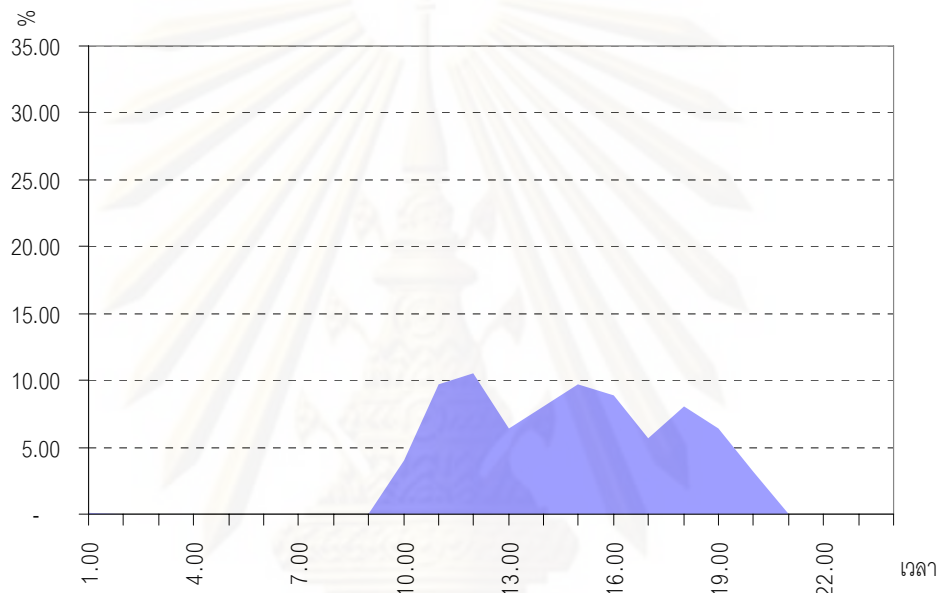
แผนภูมิที่ 4-13 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-14 แสดงพลังงานการทำงานทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



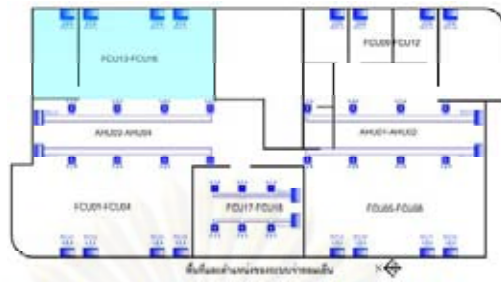
ภาพที่ 4-29 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)



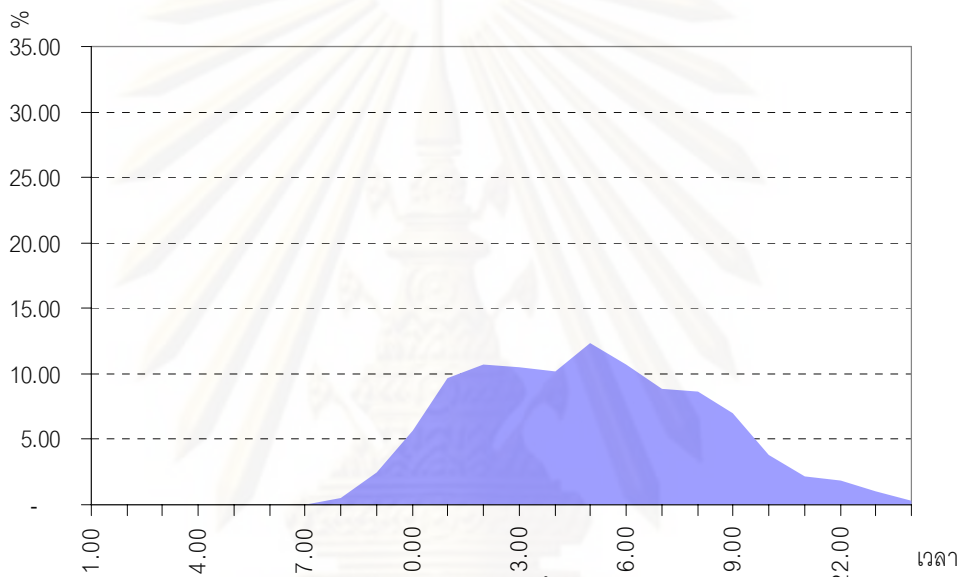
แผนภูมิที่ 4-15 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-16 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

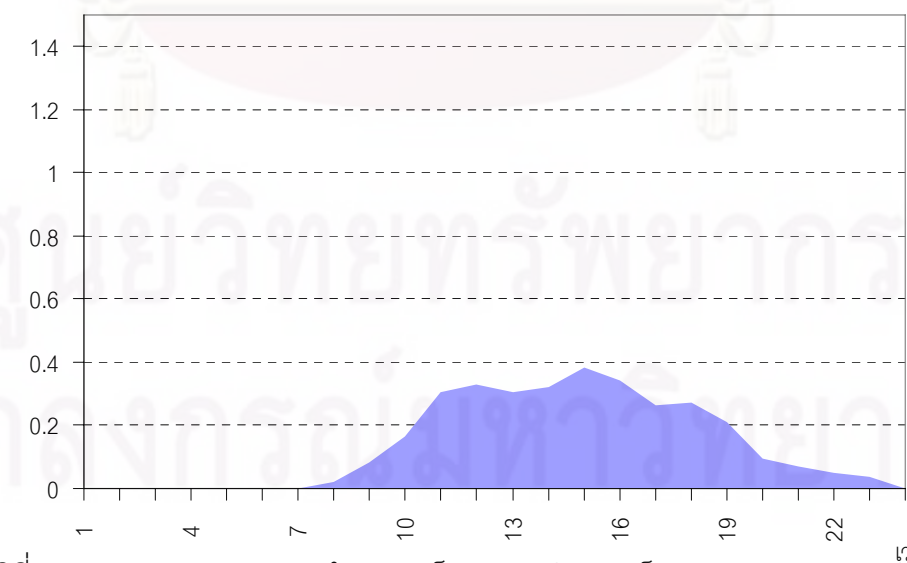


ภาพที่ 4-30 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-17 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16

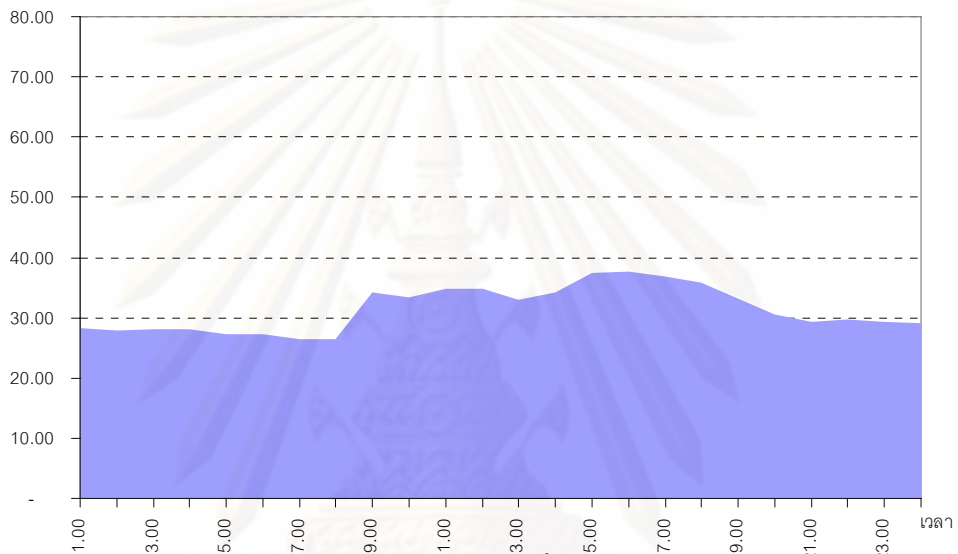
ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



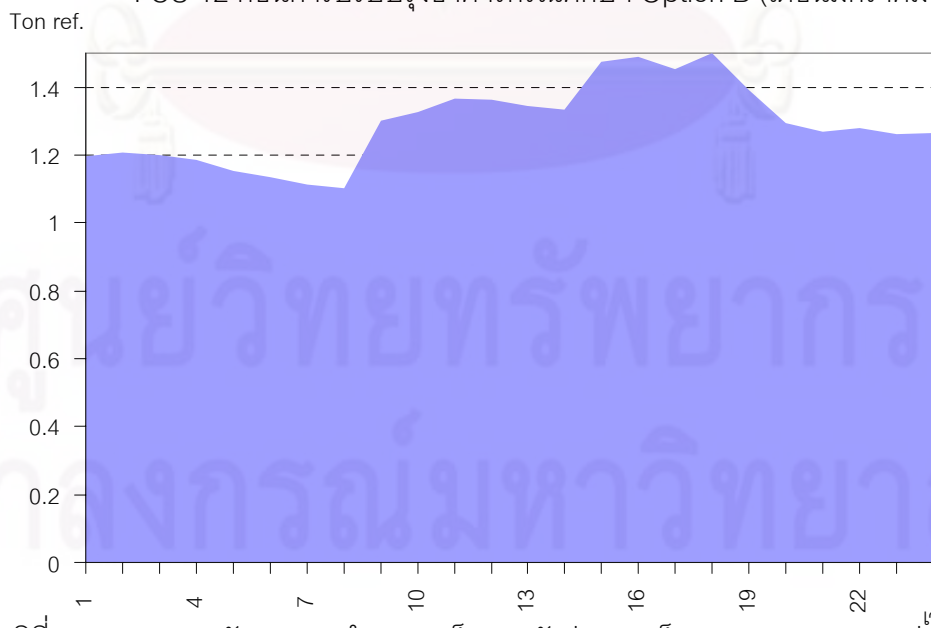
แผนภูมิที่ 4-18 แสดงพลังงานการทำงานทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



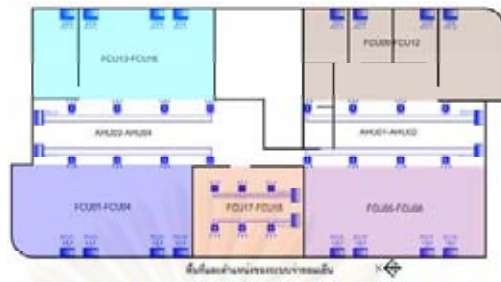
ภาพที่ 4-31 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)



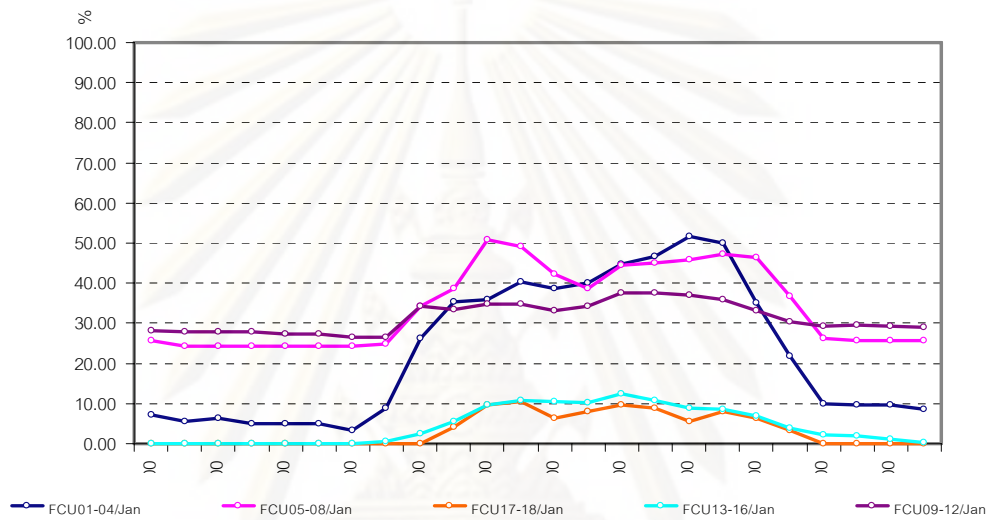
แผนภูมิที่ 4-19 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



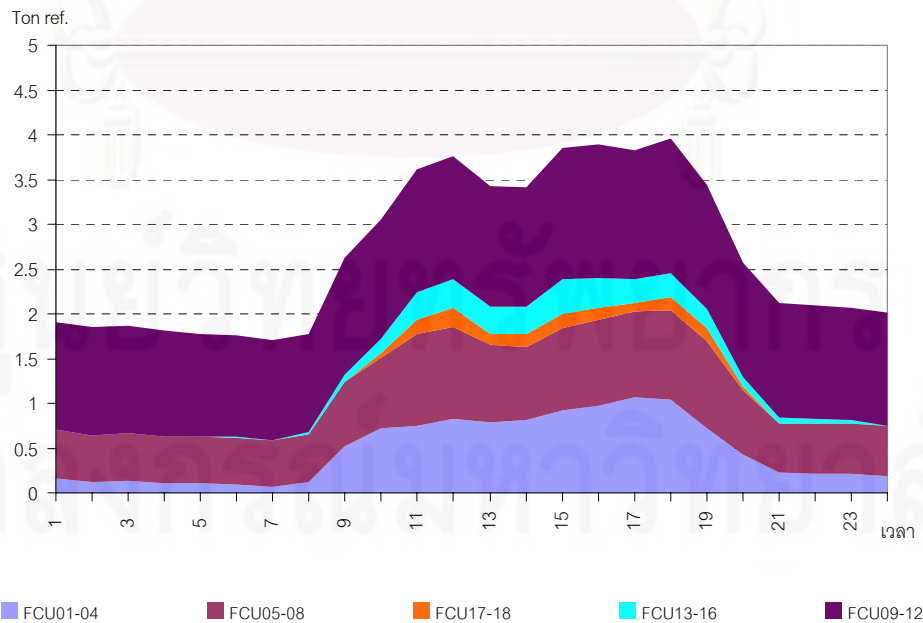
แผนภูมิที่ 4-20 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



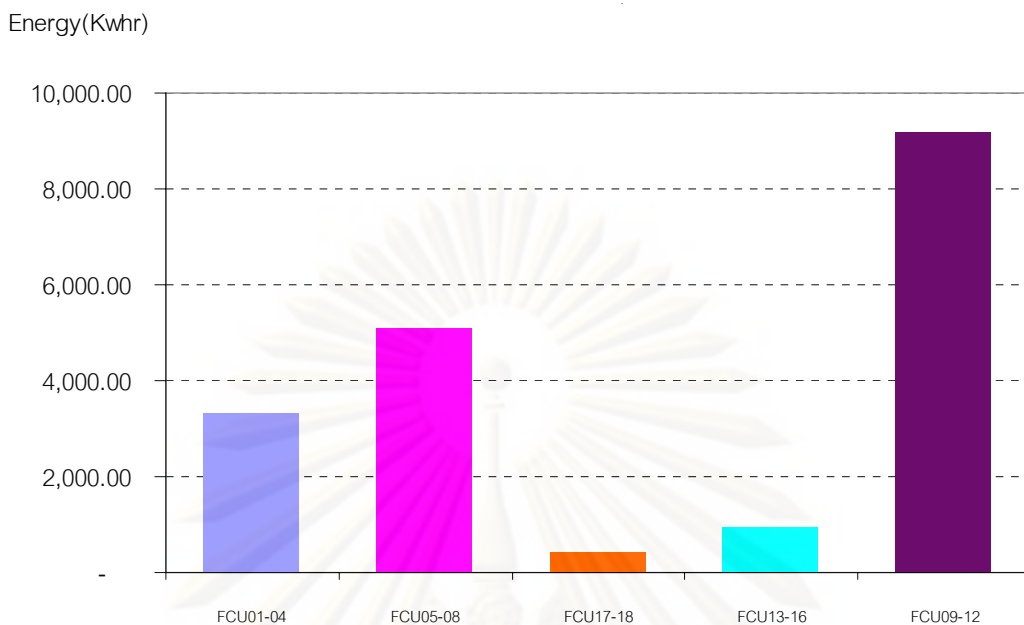
ภาพที่ 4-32 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)



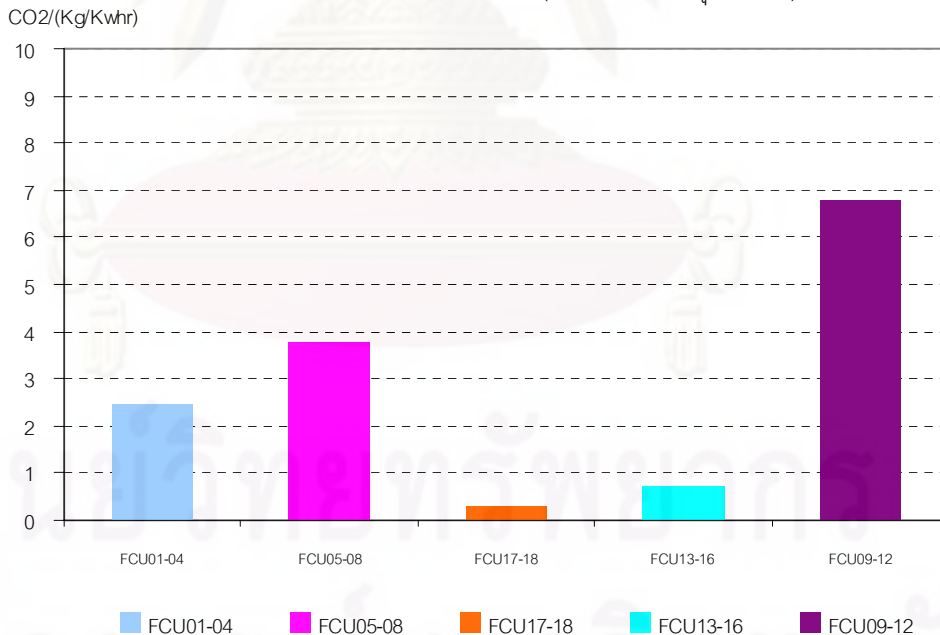
แผนภูมิที่ 4-21 แสดงอัตราการทำงานเปรียบเทียบของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-22 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-23 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

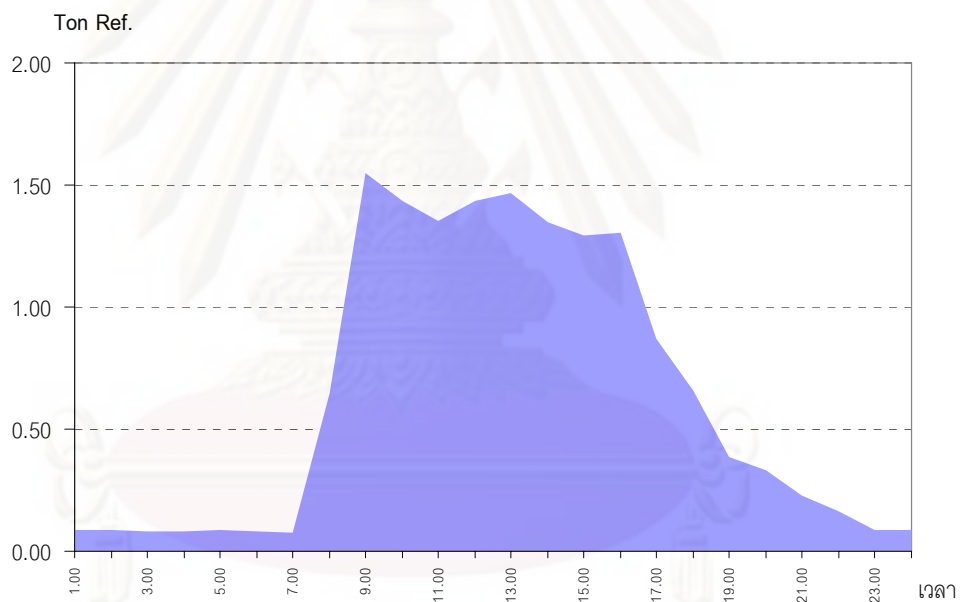


แผนภูมิที่ 4-24 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

2) ระบบจ่ายลมเย็น AHU 4 ชุด

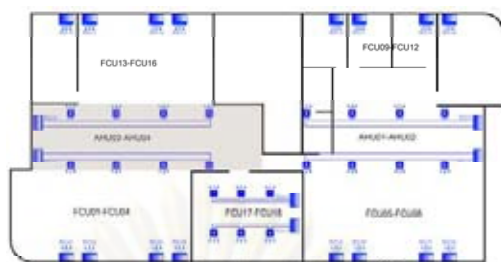


ภาพที่ 4-33 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)

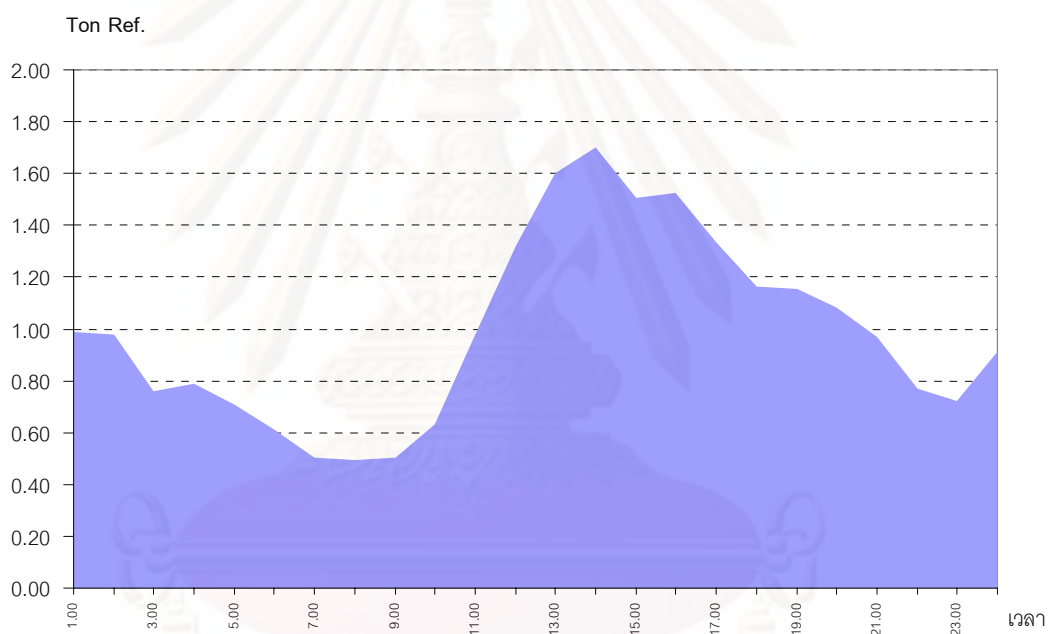


แผนภูมิที่ 4-25 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

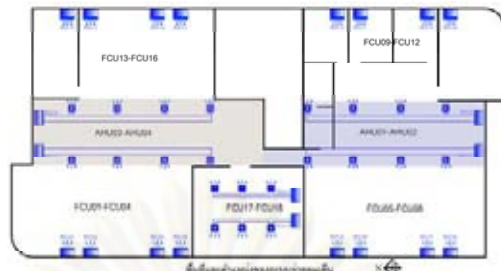
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



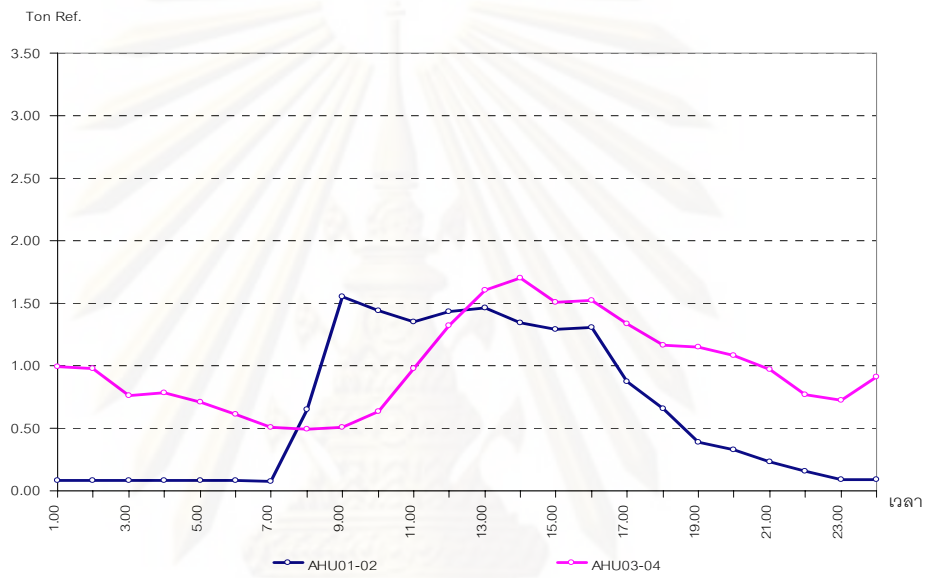
ภาพที่ 4-34 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 03-AHU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)



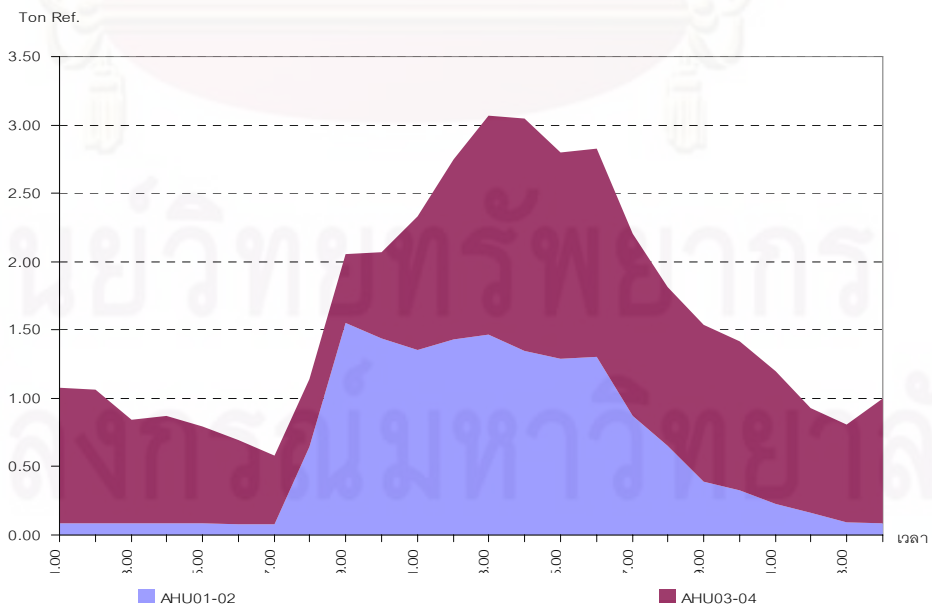
แผนภูมิที่ 4-26 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 03-AHU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



ภาพที่ 4-35 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)

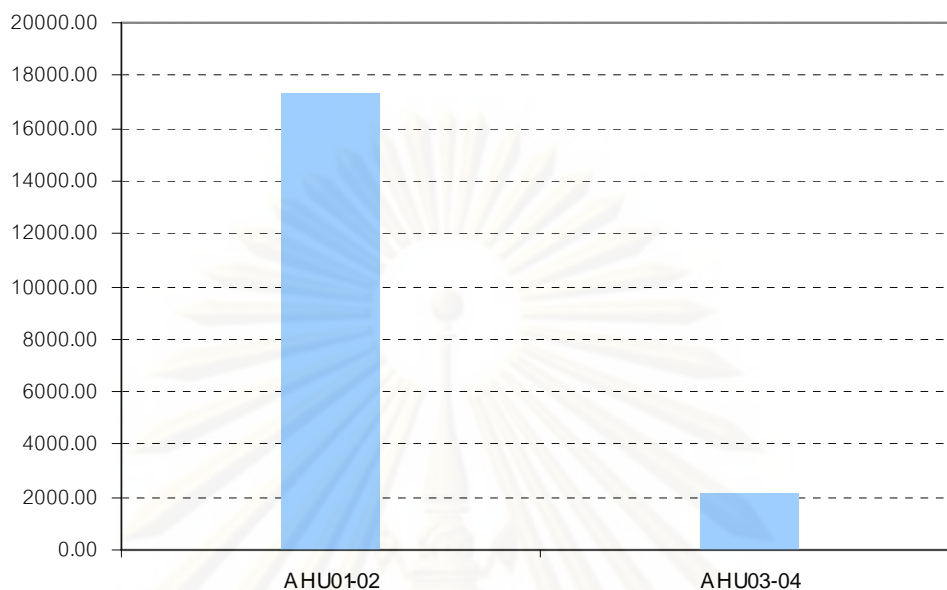


แผนภูมิที่ 4-27 แสดงพลังงานการทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



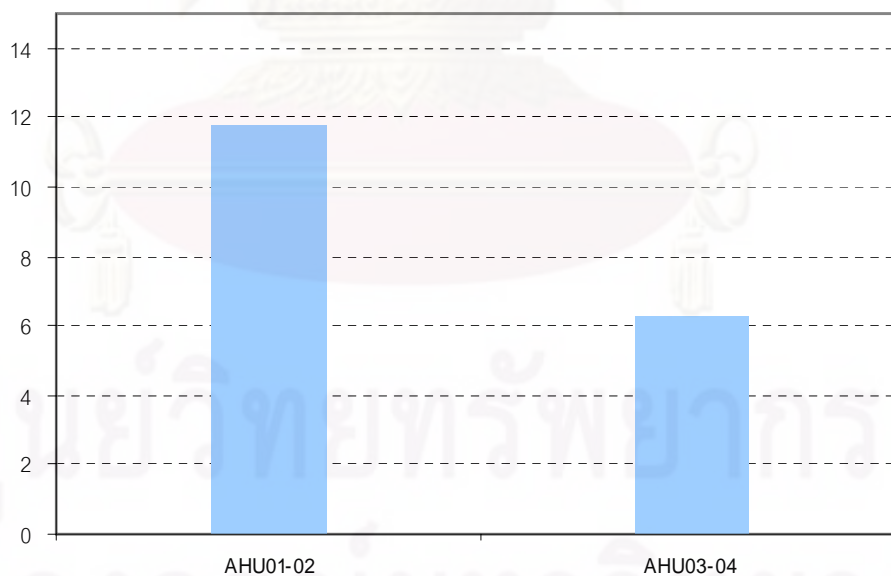
แผนภูมิที่ 4-28 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

Energy(Kwhr/mth)



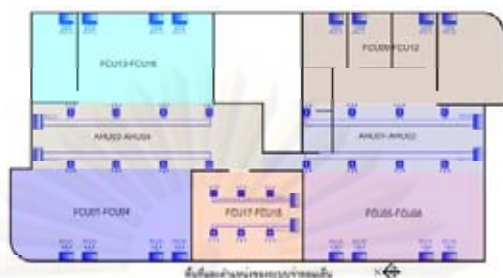
แผนภูมิที่ 4-29 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

CO2(Kg/Kwhr)

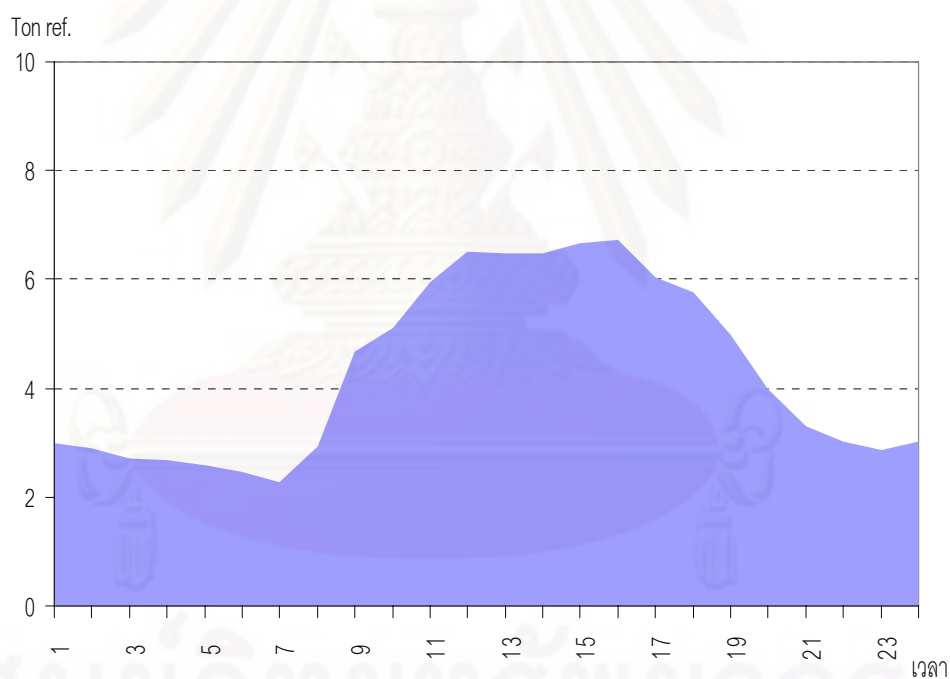


แผนภูมิที่ 4-30 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

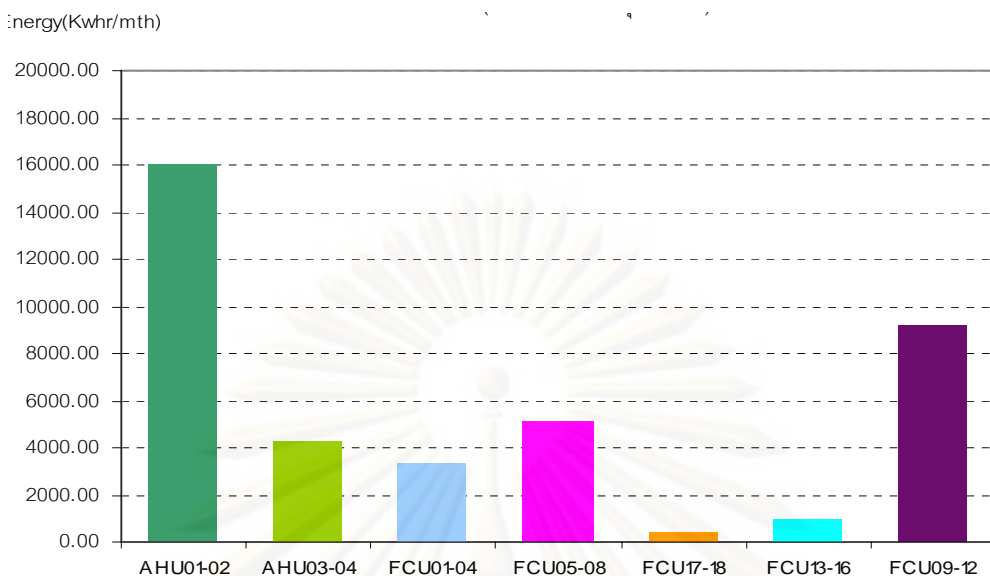
3) ระบบจ่ายลมเย็นรวม



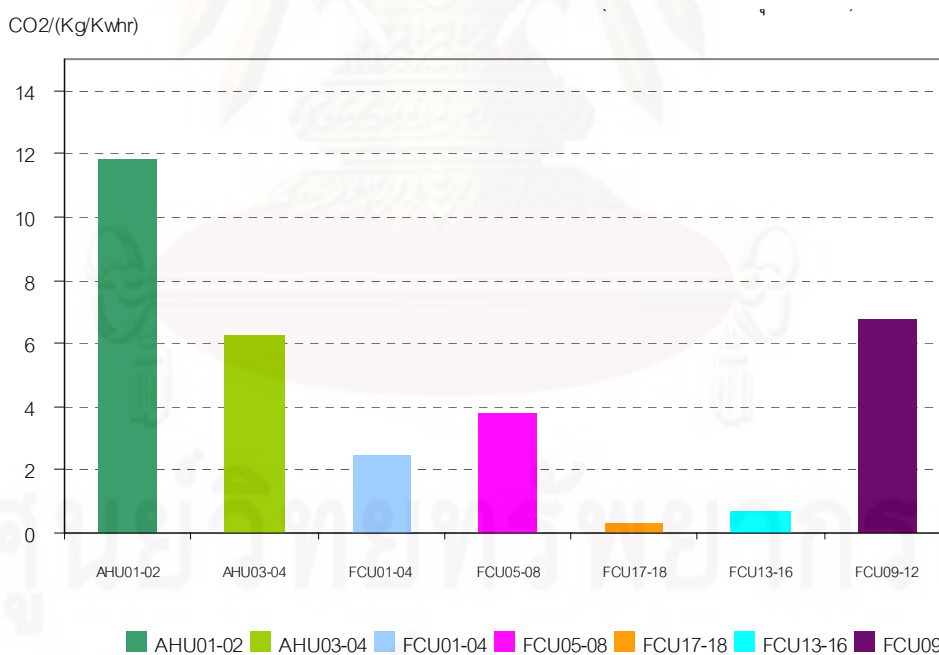
ภาพที่ 4-36 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคาร (เดือนมกราคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-31 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-32 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AH 04 และ FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

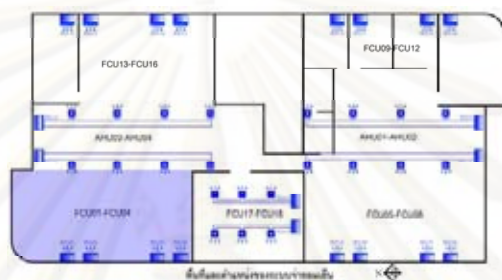


แผนภูมิที่ 4-33 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU01-AHU04 และ FCU 01-FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B (เดือนมกราคม 2551)

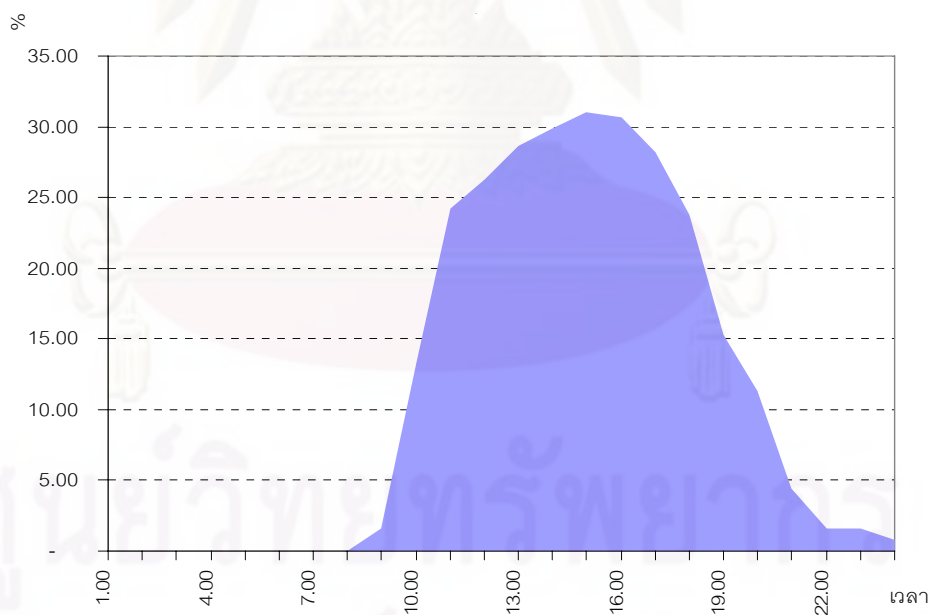
4.4.2 ข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นหลังการปรับปรุงอาคาร กรณีศึกษา ระยะที่ 1

การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา ระยะที่ 1 เป็นการปรับปรุงอาคารด้วยการติดตั้งฉนวนเปลือกอาคารส่วนที่บดแสง ได้แก่ ส่วนหลังคา ผนังที่บด และพื้น การตรวจวัดข้อมูลได้แบ่งเป็น 7 พื้นที่ ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ผลการตรวจวัดข้อมูลได้เสนอแยกเป็นพื้นที่ดังนี้

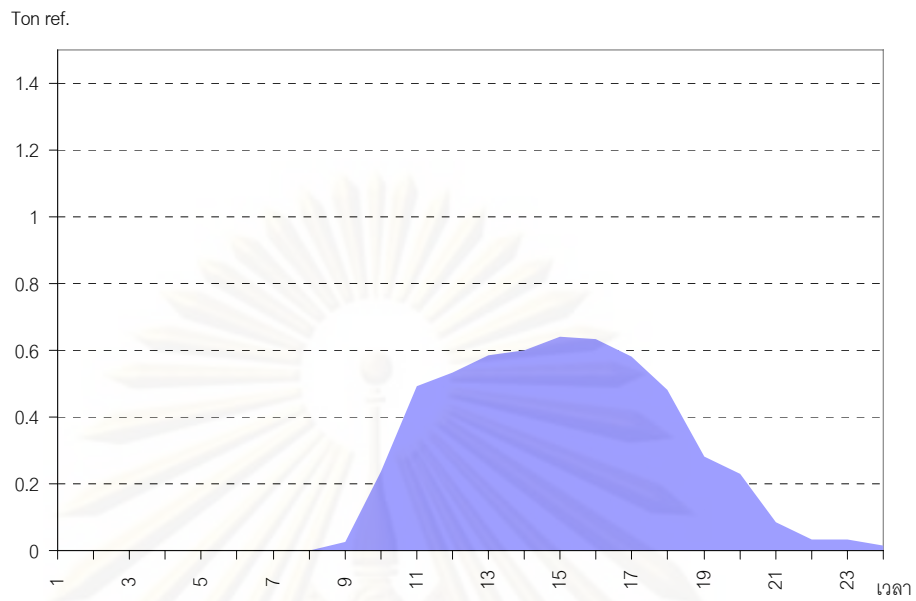
1) ระบบจ่ายลมเย็นแบบ FCU 18 ชุด



ภาพที่ 4-37 แสดงพื้นที่ที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-34 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

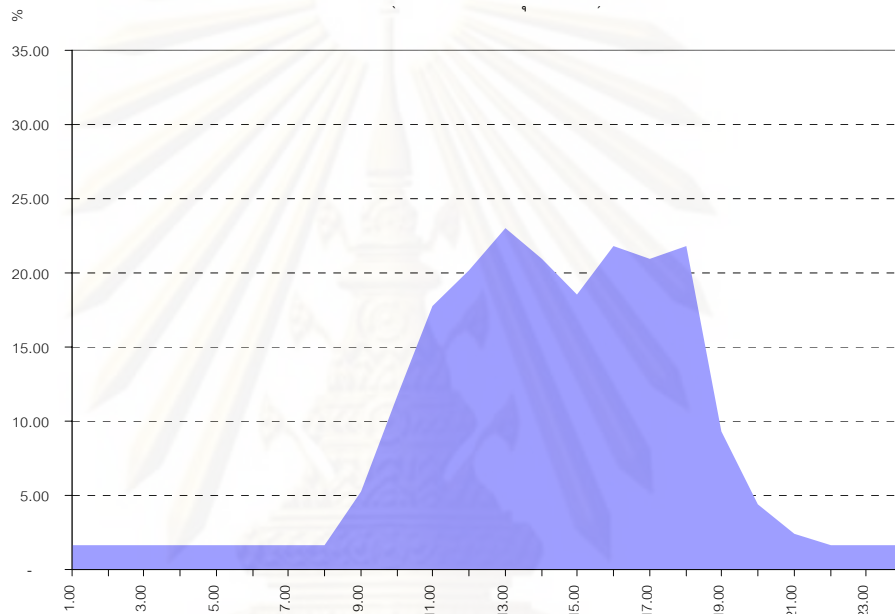


แผนภูมิที่ 4-35 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

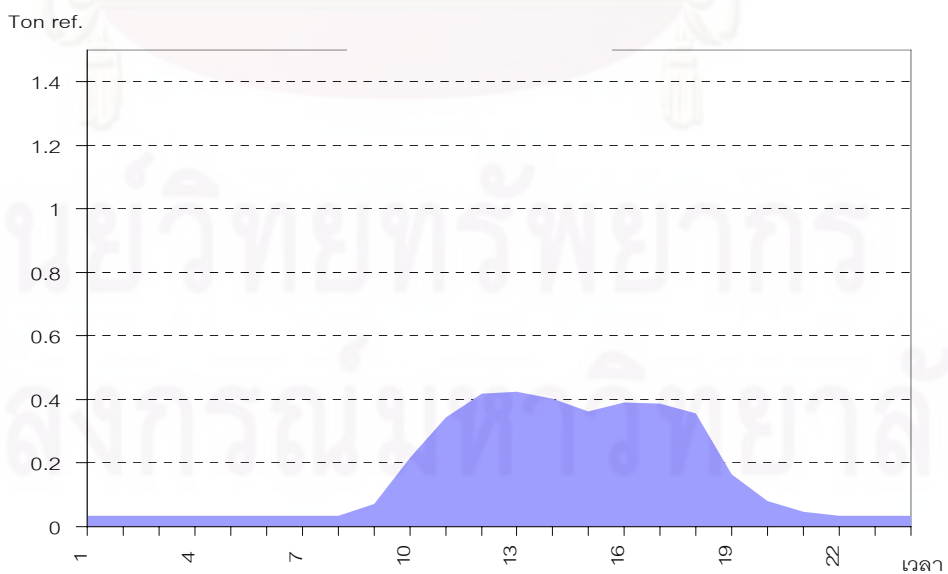
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



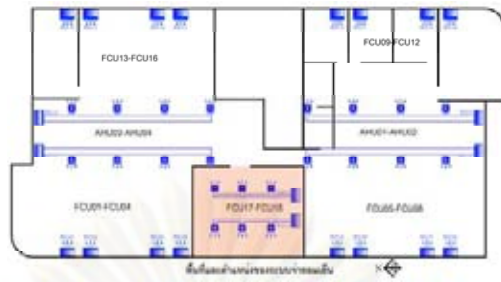
ภาพที่ 4-38 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



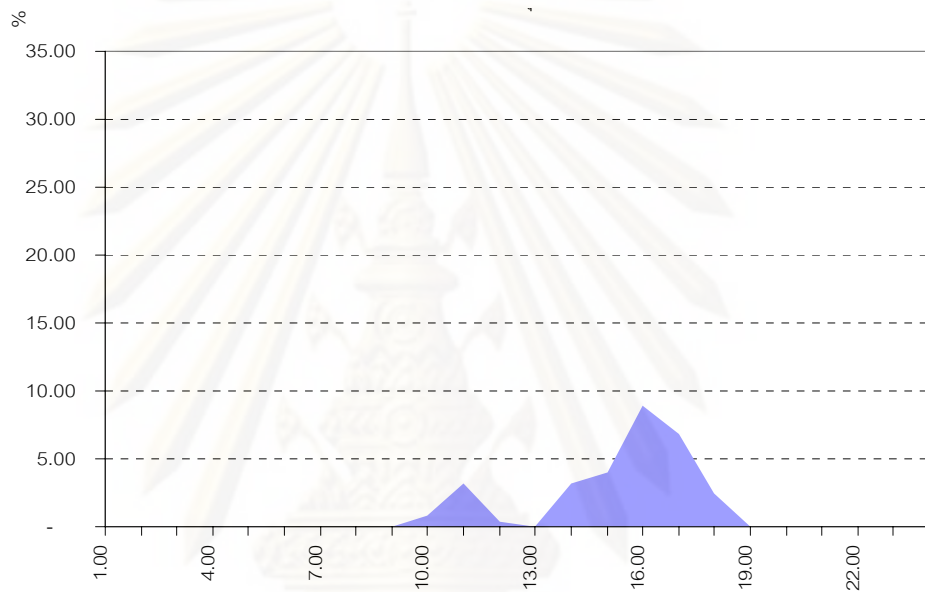
แผนภูมิที่ 4-36 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



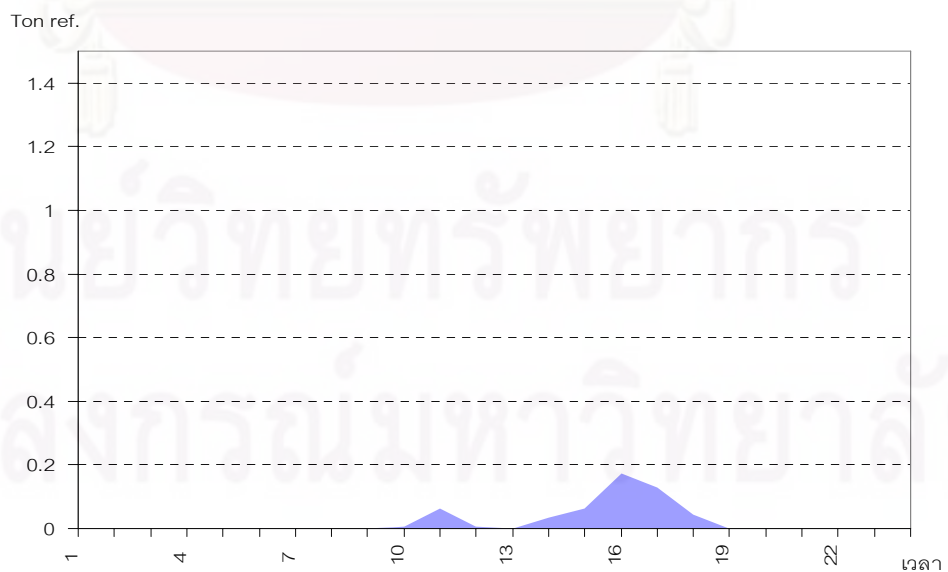
แผนภูมิที่ 4-37 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 05-FCU 08 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



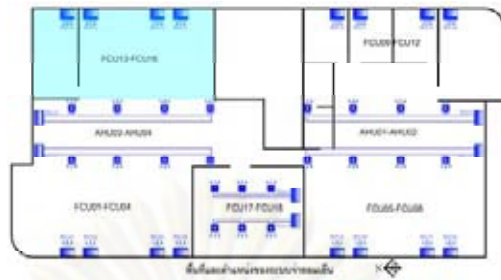
ภาพที่ 4-39 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



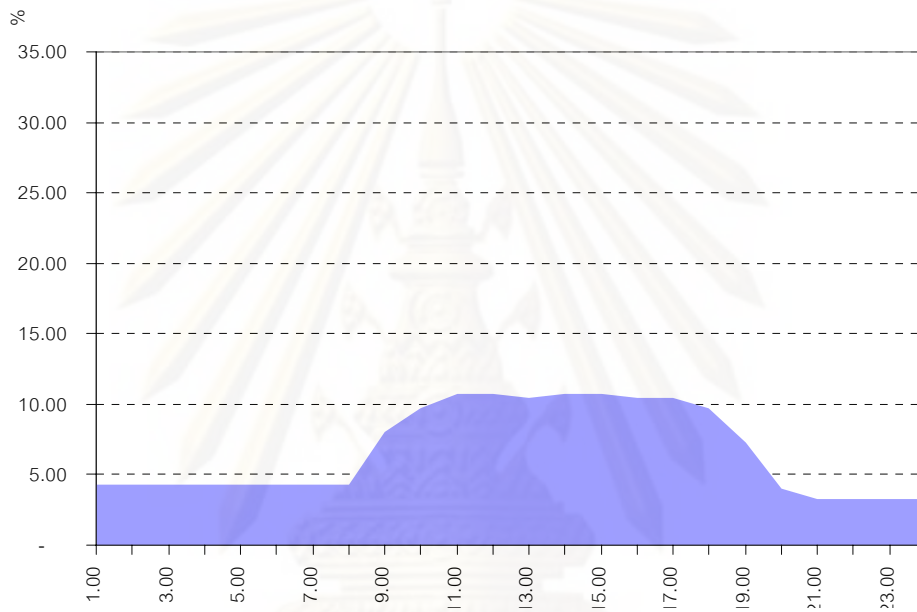
แผนภูมิที่ 4-38 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



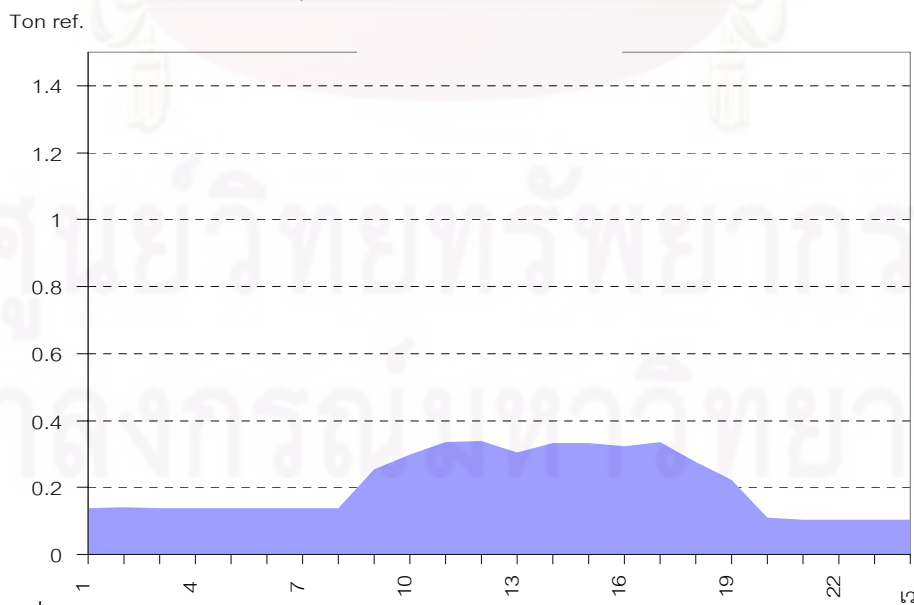
แผนภูมิที่ 4-39 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 17-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



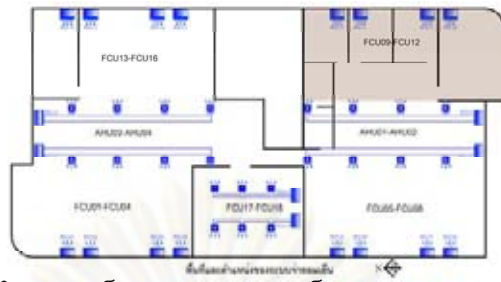
ภาพที่ 4-40 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU13-FCU 16 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



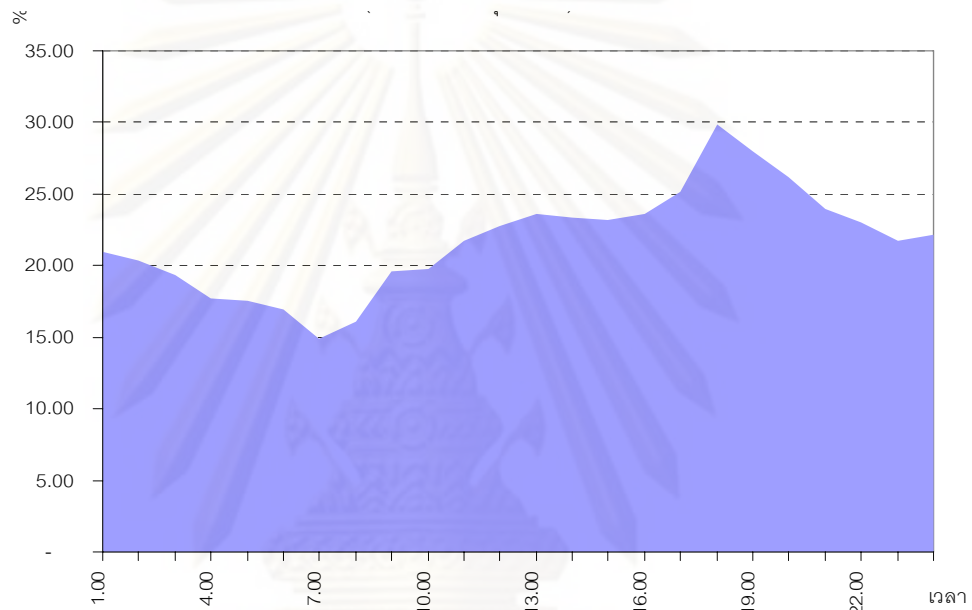
แผนภูมิที่ 4-40 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



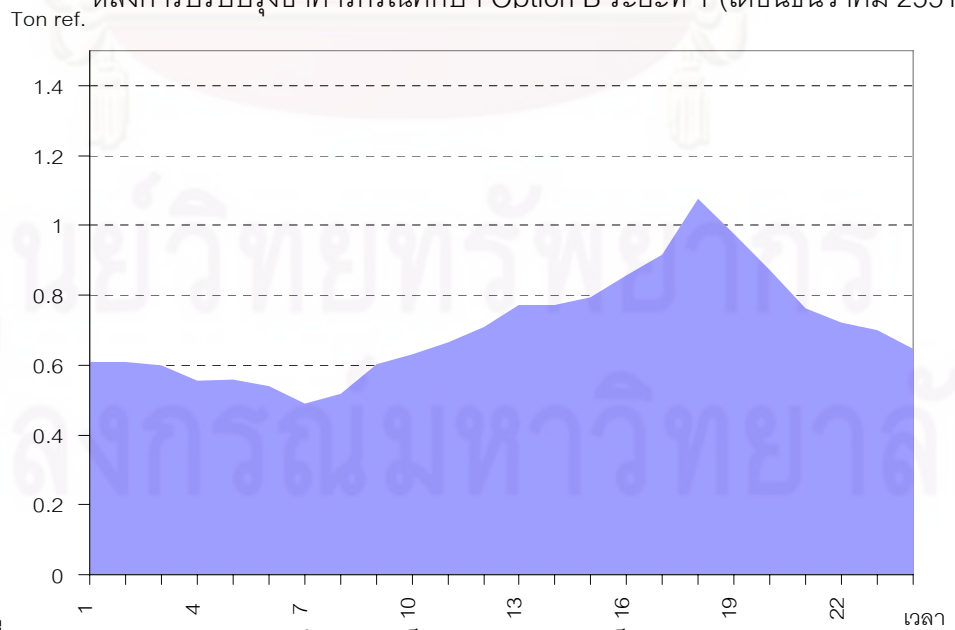
แผนภูมิที่ 4-41 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 13-FCU 16 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



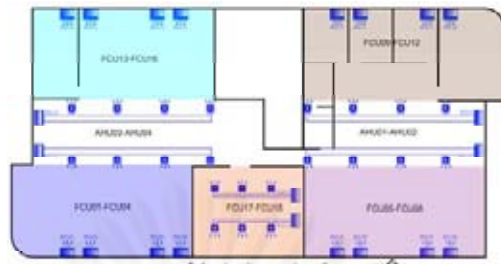
ภาพที่ 4-41 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



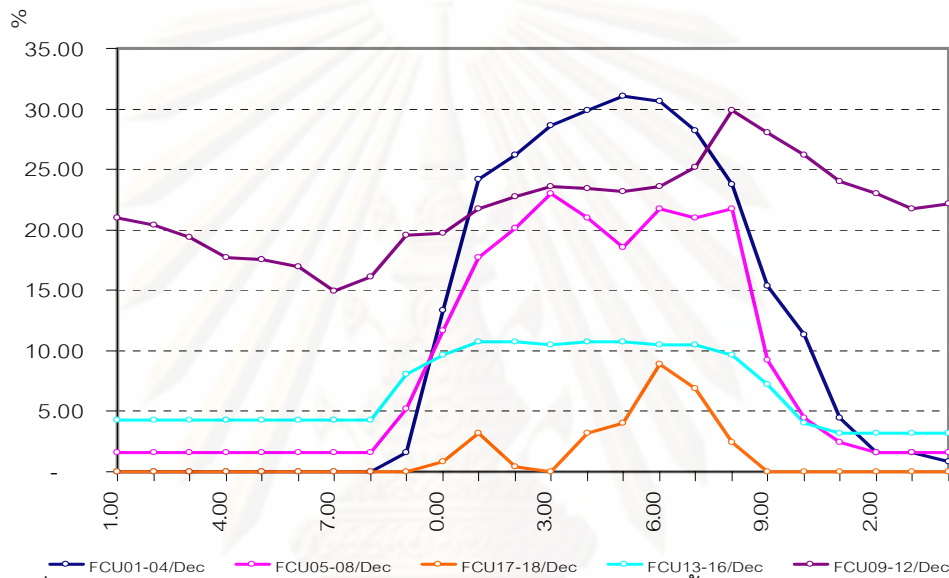
แผนภูมิที่ 4-42 แสดงอัตราการทำงานของวาล์วจ่ายน้ำเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



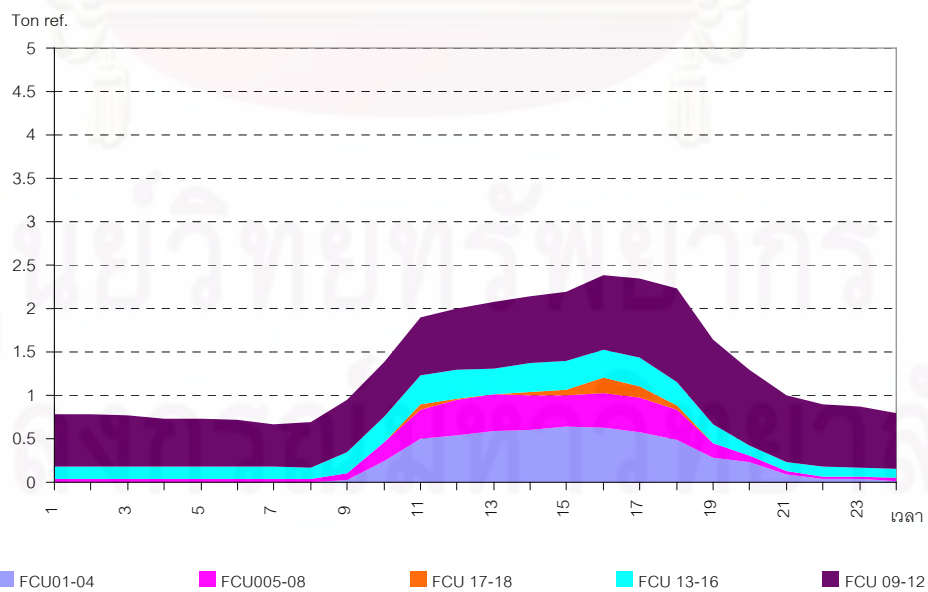
แผนภูมิที่ 4-43 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 09-FCU 12 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



ภาพที่ 4-42 แสดงพื้นที่ที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

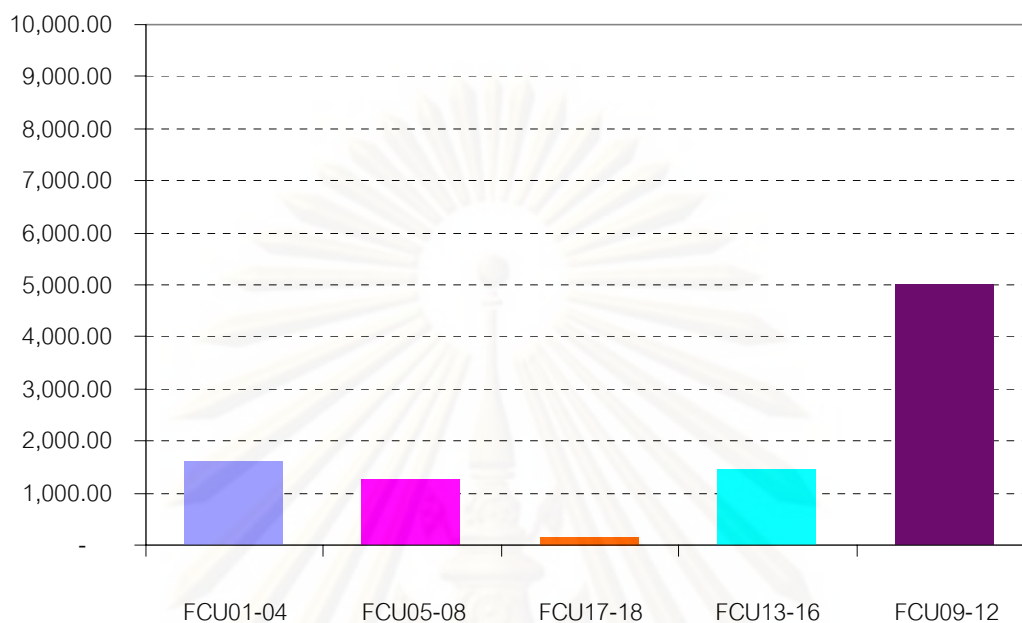


แผนภูมิที่ 4-44 แสดงอัตราการทำงานเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1



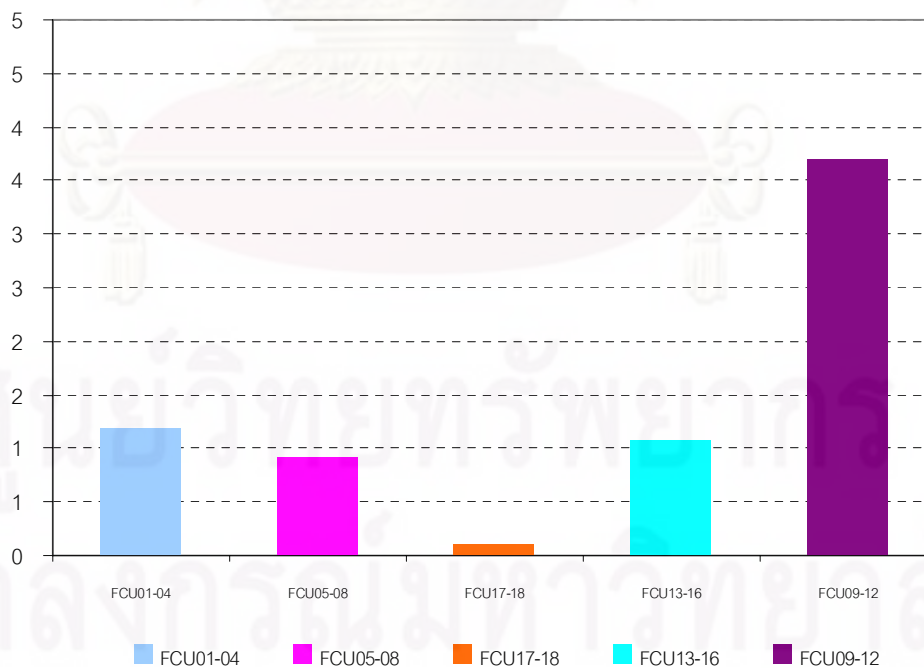
แผนภูมิที่ 4-45 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

Energy(Kwhr)



แผนภูมิที่ 4-46 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1

CO2/(Kg/Kwhr)

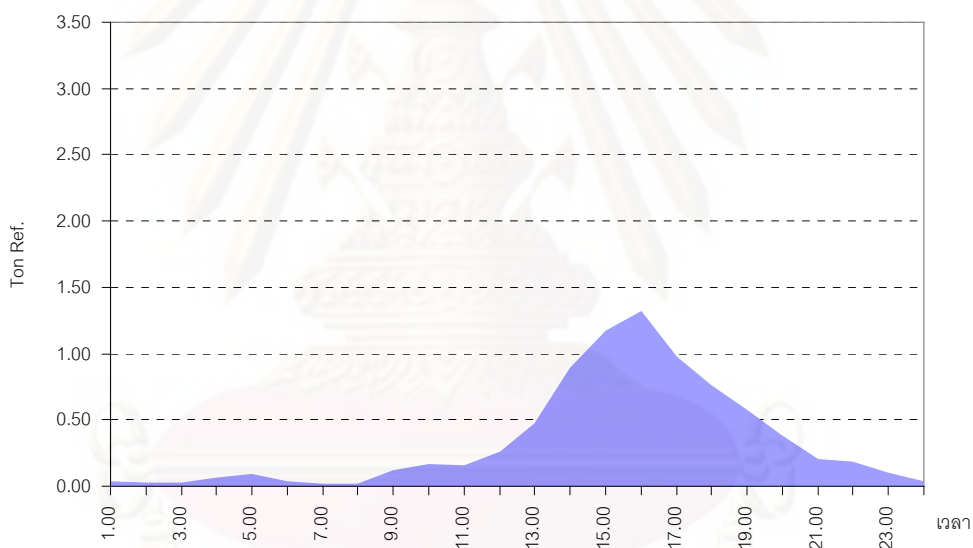


แผนภูมิที่ 4-47 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

2) ระบบจ่ายลมเย็น AHU 4 ชุด



ภาพที่ 4-43 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

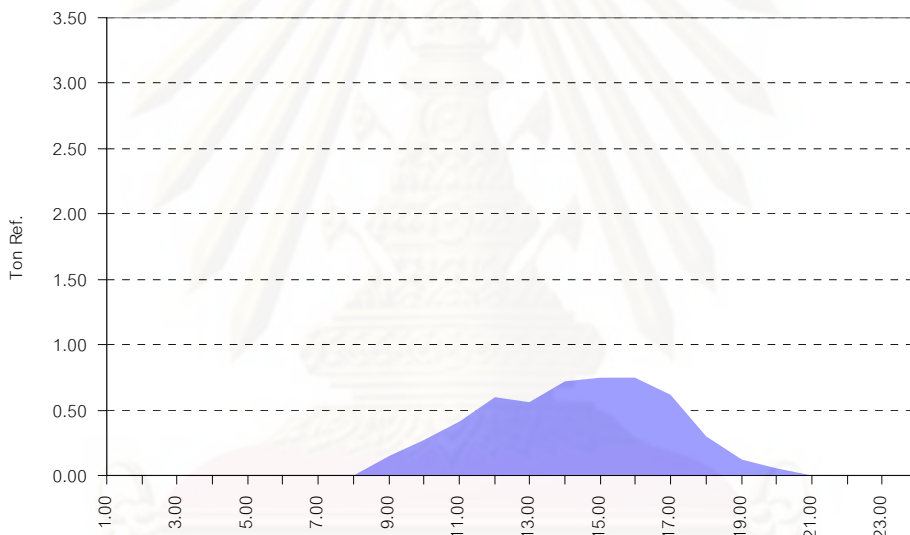


แผนภูมิที่ 4-48 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

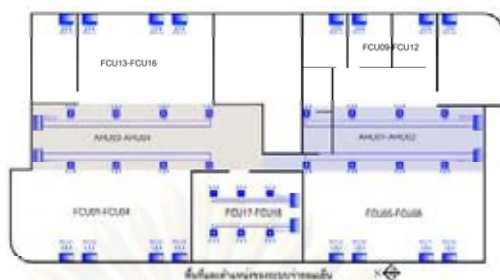


ภาพที่ 4-44 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 03-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

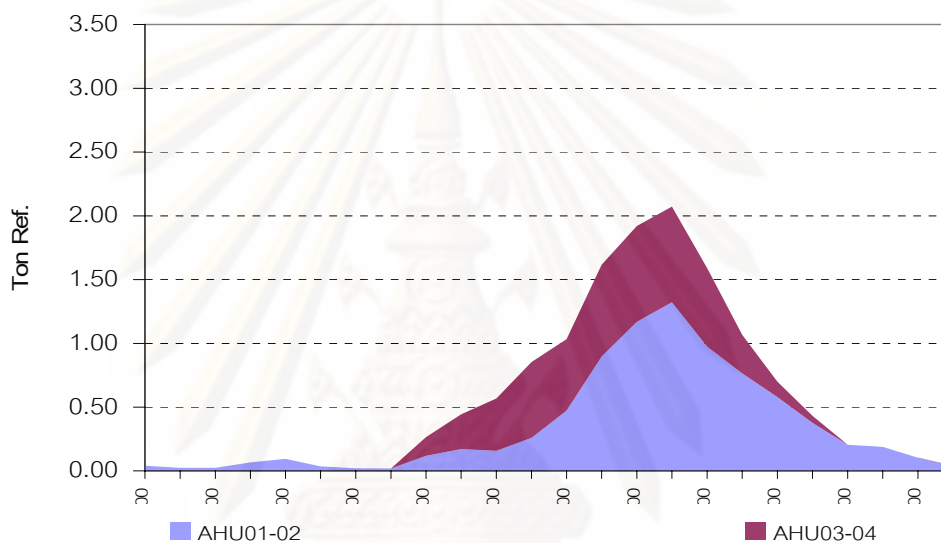


แผนภูมิที่ 4-49 แสดงพลังงานการทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 03-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

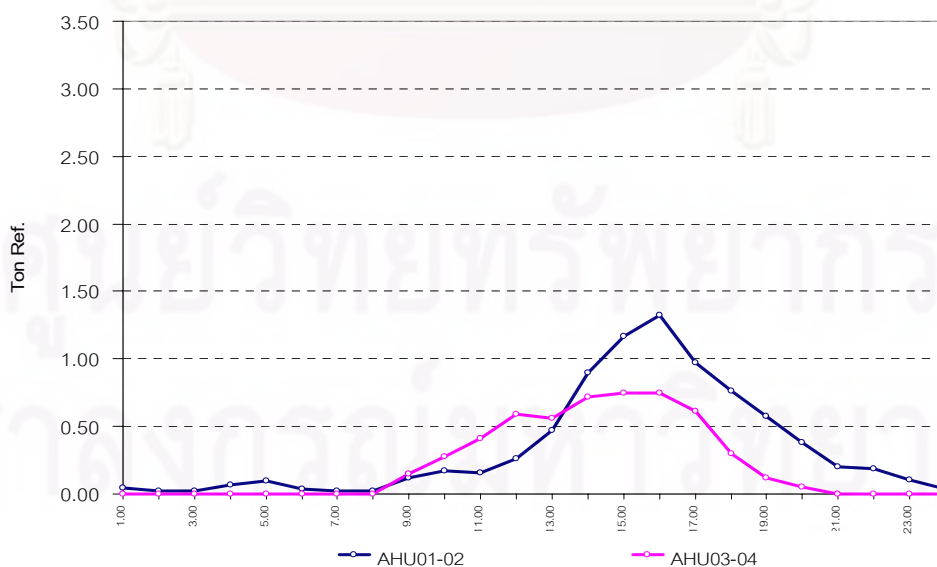
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



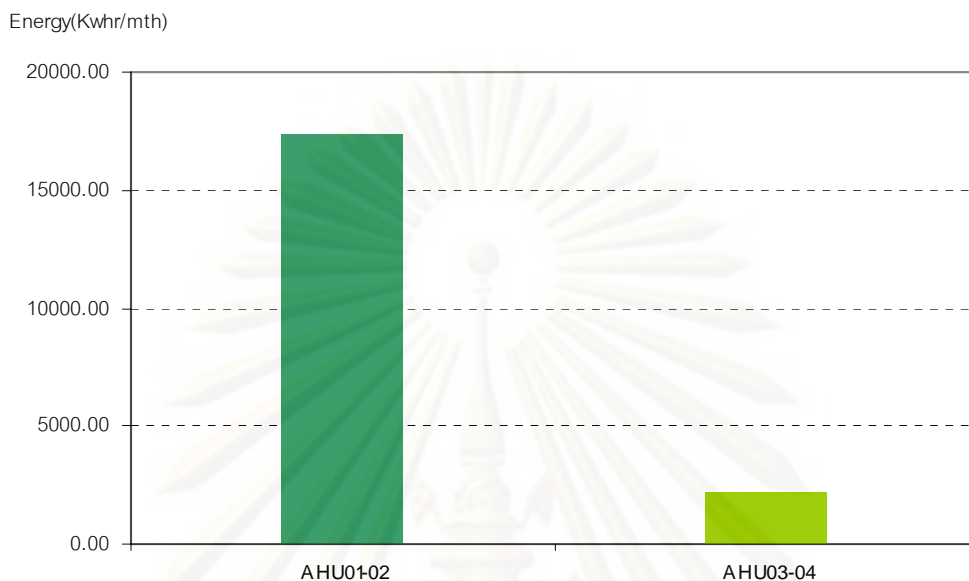
ภาพที่ 4-45 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



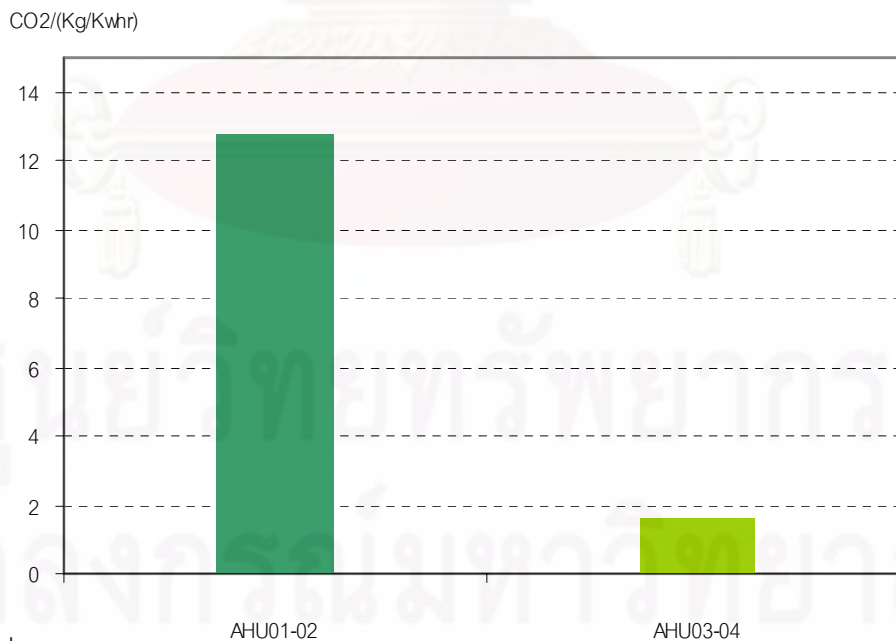
แผนภูมิที่ 4-50 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-51 แสดงพลังงานการทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 02 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

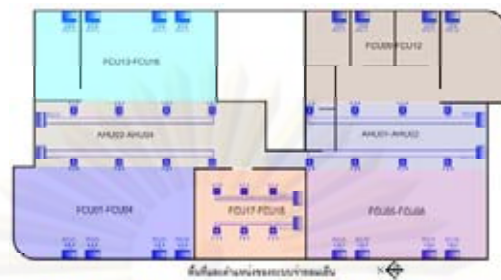


แผนภูมิที่ 4-52 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

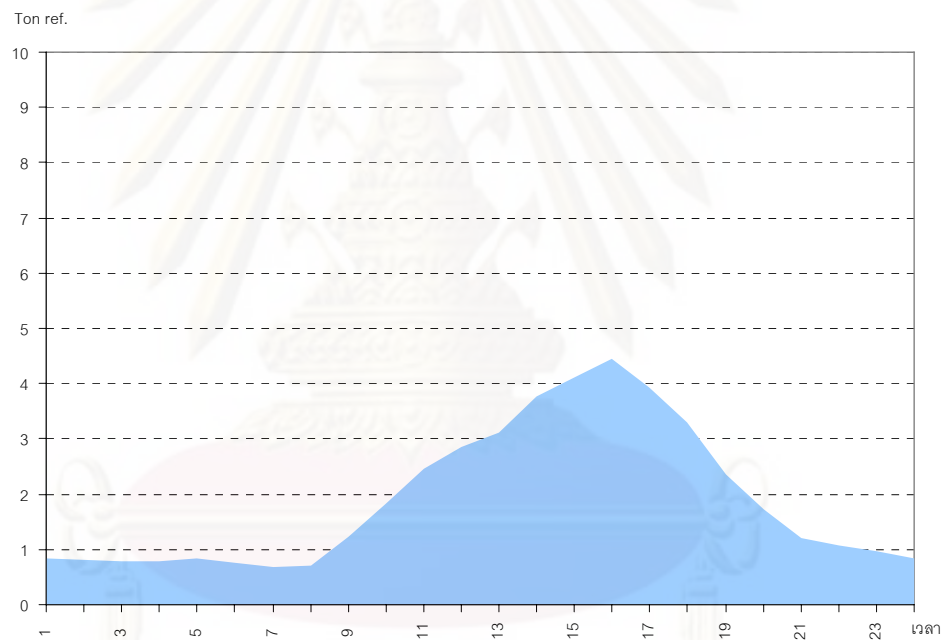


แผนภูมิที่ 4-53 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

3) ระบบจ่ายลมเย็นรวม 22 ชุด

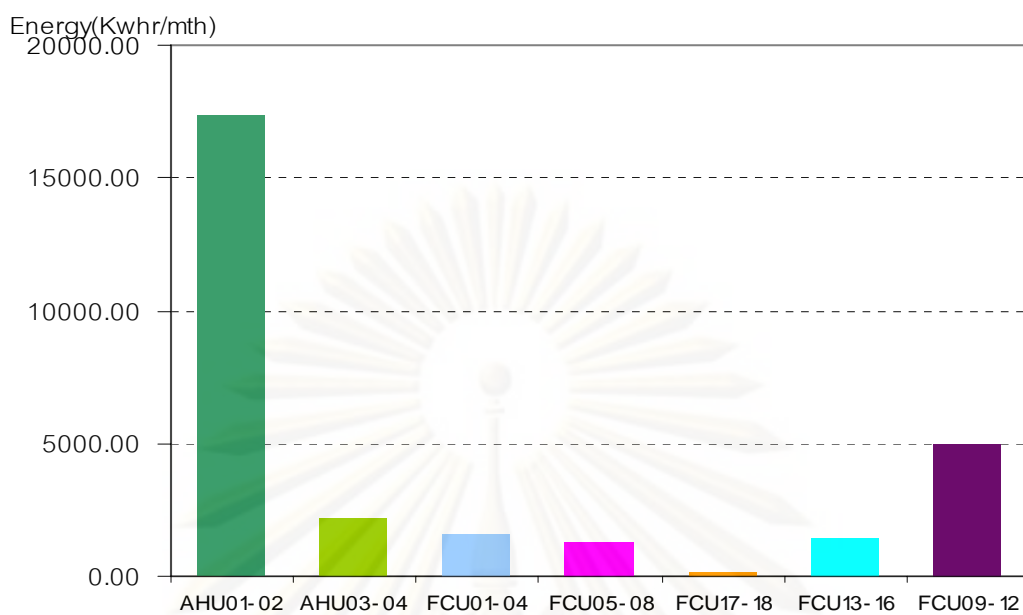


ภาพที่ 4-46 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU04 และ FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

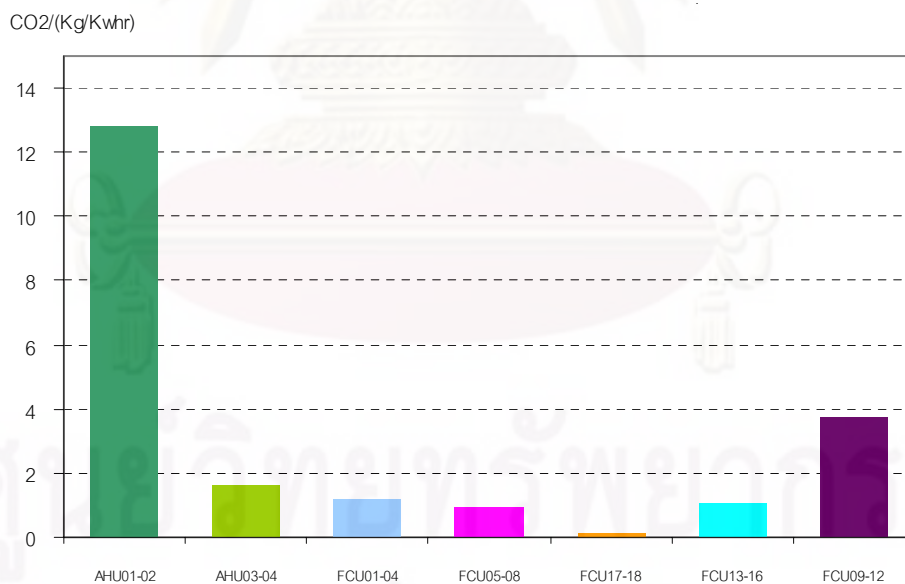


แผนภูมิที่ 4-54 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

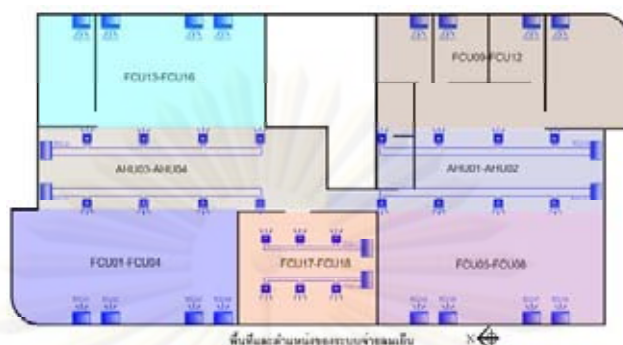


แผนภูมิที่ 4-55 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายเดือนระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)



แผนภูมิที่ 4-56 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายเดือนของระบบทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01-FCU 18 หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 1 (เดือนธันวาคม 2551)

4) สรุปผลการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1



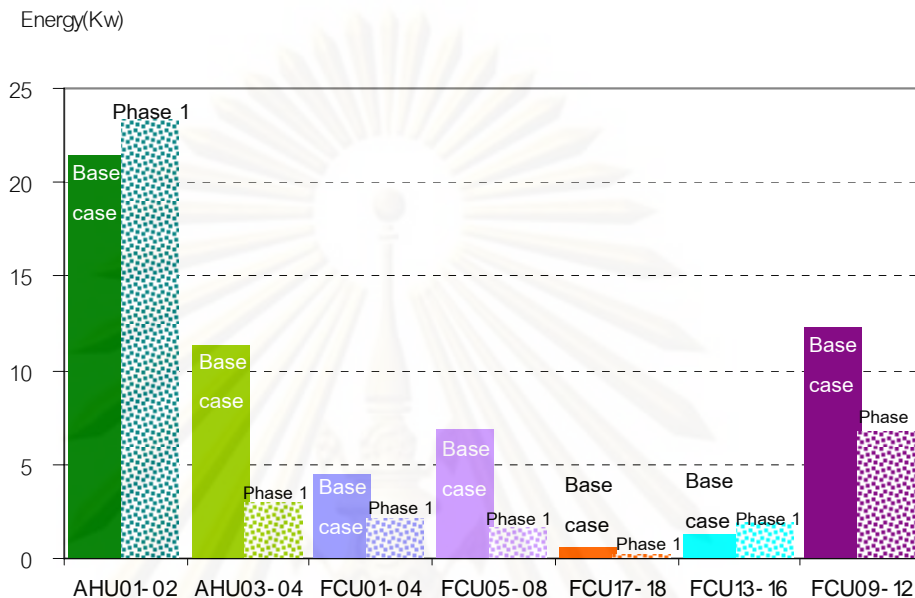
ภาพที่ 4-47 แสดงพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18

ตารางที่ 4-30 แสดงพลังงานทำความเย็นเปรียบเทียบตามพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารและหลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1

หัวจ่ายลมเย็น	พื้นที่ทำความเย็น	พลังงาน(kwhr/mth)		CO ₂ (kgCO ₂ /kwhr)		พลังงานลดลง %
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
FCU01-FCU04	ทิศตะวันตก/เหนือ	3341	1609	2.47	1.19	51.84
FCU05-FCU08	ทิศตะวันตก/ใต้	5099	1251	3.77	0.92	75.46
FCU17-FCU18	ทิศตะวันตก	424	153	0.31	0.11	63.91
FCU13-FCU16	ทิศตะวันออก	955	1448	0.70	1.07	-51.72
FCU09-FCU12	ทิศตะวันออก	9179	5012	6.78	3.70	45.40
AHU01-AHU02	ทิศใต้	15968	17330	11.80	12.81	-8.52
AHU03-AHU04	ทิศเหนือ	4250	2167	6.27	1.60	49.01
รวม		39216	28970	32.12	21.42	26.13

พลังงานไฟฟ้าระบบทำความเย็นเปรียบเทียบของ AHU 01-FCU04และ FCU01-18

ก่อนและหลังการปรับปรุงอาคาร



แผนภูมิที่ 4-57 แสดงพลังงานทำความเย็นเปรียบเทียบตามพื้นที่ทำความเย็นของหัวจ่ายลมเย็น AHU 01-AHU 04 และ FCU 01- FCU 18 ก่อนการปรับปรุงอาคารและหลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1

หลังการปรับปรุงอาคารพบว่า การใช้พลังงานในการทำความเย็นลดลงเฉลี่ย 26.13 % และอุณหภูมิผิวผนังด้านในอาคารมีค่าเฉลี่ย 26°C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยก่อนติดตั้งฉนวน EIFS ด้านนอกอาคารเดิมที่มีค่าเฉลี่ย 27.5°C เนื่องจากฉนวน EIFS มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันการนำความร้อนจากแหล่งพลังงานภายนอกอาคารที่สะสมในเนื้อวัสดุผนังอาคารได้น้อยลง เมื่อผนังอาคารมีการสะสมความร้อนมาก ก็จะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารโดยการแผ่รังสี (Mean Radiant Temperature - MRT) สู่อากาศในอาคาร เครื่องทำความเย็นจึงต้องใช้พลังงานสูงในการลดความร้อนลง แต่เมื่อการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุลดลง การแผ่รังสีจากผนังสู่ภายในอาคารจึงลดลงทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในอาคารไม่สูงมาก การใช้พลังงานในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศจึงลดลง

จากการตรวจสอบอุณหภูมิผิวผนังภายในอาคารด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก พบว่า อุณหภูมิผิวผนังภายในอาคารด้านทิศตะวันตกสูงกว่าด้านทิศตะวันออกประมาณ 2°C - 3°C ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศตะวันตกมีความเข้มมากกว่าการแผ่รังสีด้านทิศตะวันออก และมีการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุเปลือกอาคารสูงและทำให้เกิดการแผ่รังสีเข้าสู่ตัว

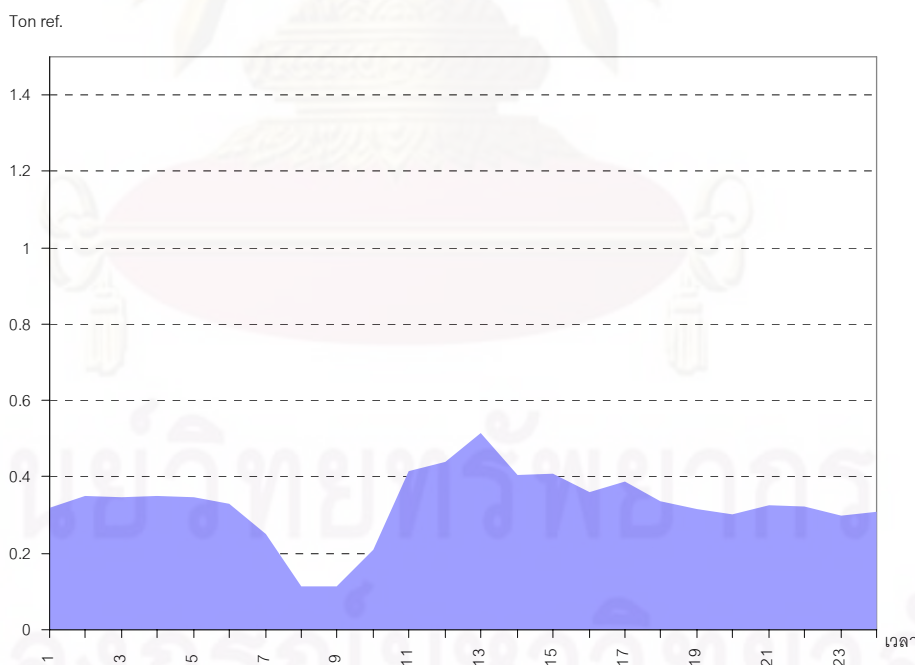
อาคารและผู้ใช้อาคาร พบว่าผู้ใช้อาคารที่ใช้พื้นที่บริเวณใกล้ผนังด้านทิศตะวันตกมักจะรู้สึกไม่สบาย แต่เมื่อปรับปรุงอาคารแล้ว ปริมาณการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุน้อยลง ทำให้การแผ่รังสีความร้อนสู่ภายในอาคารและผู้ใช้อาคารลดลง ผู้ใช้อาคารที่อยู่ใกล้ผนังด้านทิศตะวันตกจึงรู้สึกสบายขึ้น

4.4.3 ข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในระบบจ่ายน้ำเย็นหลังการปรับปรุงอาคาร กรณีศึกษา ระยะที่ 2

การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา ระยะที่ 2 เป็นการปรับปรุงอาคารด้วยการติดตั้งกระจก มู่ลี่กันแดดไฮโดรลิกด้านนอกหน้าต่างกระจกทิศตะวันออกและทิศตะวันตก พร้อมกับการติดตั้ง FCU และ Fresh air unit การตรวจวัดข้อมูลได้แบ่งเป็น 2 โครงข่ายการจ่ายน้ำเย็น ได้แก่ จุดจ่ายน้ำเย็นด้านทิศเหนือและจุดจ่ายน้ำเย็นด้านทิศใต้

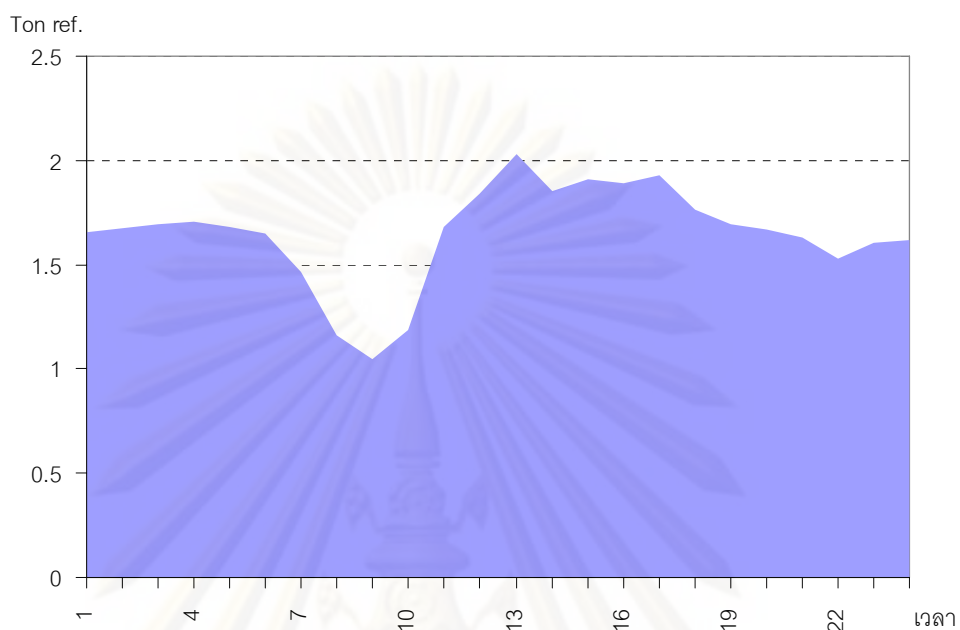
ผลการตรวจวัดข้อมูลได้เสนอแยกเป็นพื้นที่ดังนี้

1) ระบบจ่ายน้ำเย็นจากท่อจ่ายน้ำเย็นด้านทิศเหนือ



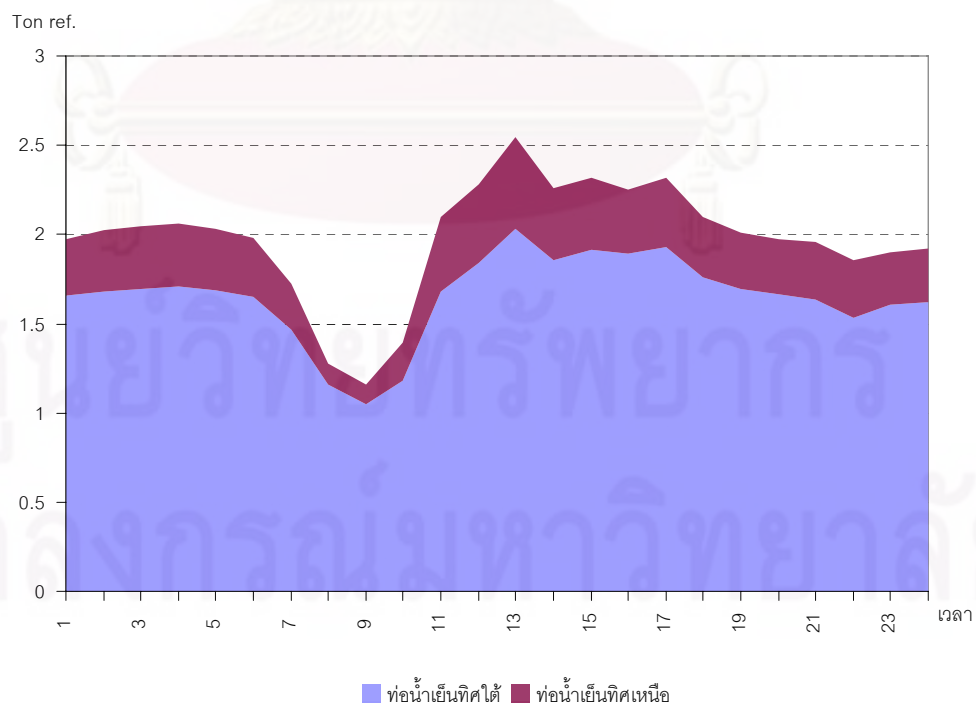
แผนภูมิที่ 4-58 แสดงพลังงานการทำงานทำความเย็นวัดจากท่อจ่ายน้ำเย็นทิศเหนือ หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 2 (เดือนมกราคม 2553)

2) ระบบจ่ายน้ำเย็นจากท่อน้ำเย็นด้านทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-59 แสดงพลังงานการทำความเย็นวัดจากท่อจ่ายน้ำเย็นทิศใต้หลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 2 (เดือนมกราคม 2553)

3) ระบบจ่ายน้ำเย็นรวม



แผนภูมิที่ 4-60 แสดงพลังงานการทำความเย็นรวมหลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา Option B ระยะที่ 2 (เดือนมกราคม 2553)

4.5 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดน้ำเย็นในก่อนปรับปรุงอาคาร และแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร

4.5.1 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็น

การใช้พลังงานในการทำความเย็นและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร สรุปได้ด้วยตารางเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 4-31 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็นระยะที่ 1 และระยะที่ 2

รายการ	Base case	ระยะที่1		ระยะที่2	
	ปริมาณ	ปริมาณ	%ของBase case	ปริมาณ	%ของBase case
พลังงานการทำความเย็น (kwhr/mth)	39,215.78	28,969.61	73.87	4,957.71	12.64
ปริมาณการปลดปล่อยCO ₂ (kgCO ₂)	21,568.68	15,933.28	73.87	2,726.74	12.64

การปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 ด้วยการติดตั้งฉนวนเปลือกอาคารส่วนที่บดแสง มีผลให้ลดการใช้พลังงานทำความเย็นลงจาก 39,215.78 kwhr ต่อเดือน ลงเหลือ 28,969.61 kwhr ต่อเดือน ลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก 21,568.68 kgCO₂ ลงเหลือ 15,933.28 kgCO₂ คิดเป็นร้อยละในการใช้พลังงานเป็น 73.87 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพลังงานการทำความเย็นก่อนการปรับปรุงอาคาร สามารถลดการใช้พลังงานการทำความเย็นลงได้ 26.13 เปอร์เซ็นต์

การปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 ด้วยการติดตั้งกระจก มู่ลี่กันแดดไฮโดรลิก พร้อมกับการติดตั้ง FCU และ Fresh air units มีผลให้ลดการใช้พลังงานทำความเย็นลงจาก 39,215.78 kwhr ต่อเดือน ลงเหลือ 4,957.71 kwhr ต่อเดือน ลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก 21,568.68 kgCO₂ ลงเหลือ 2,726.74 kgCO₂ คิดเป็นร้อยละในการใช้พลังงาน 12.64 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพลังงานการทำความเย็นก่อนการปรับปรุงอาคาร สามารถลดการใช้พลังงานการทำความเย็นลงได้ 87.36 เปอร์เซ็นต์

การปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 และระยะที่ 2 มีผลในการลดการใช้พลังงานการทำความเย็นต่างกัน โดยการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 สามารถลดการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นได้คิดเป็น 61.23 เปอร์เซ็นต์ของการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1

ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลอย่างมากต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นในอาคารระหว่างการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 และระยะที่ 2 คือ การรั่วซึมของอากาศ การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านช่องแสง และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

การรั่วซึมของอากาศ คือ ประเภทของช่องเปิดนั้นและทิศทางที่ติดตั้งช่องเปิด ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากความเร็วของลมภายนอกที่แปรตามทิศทางต่างๆ กล่าวคือ ช่องเปิดบานเกร็ดที่อยู่ ในทิศทางใต้โดยเฉลี่ยจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมสูงสุด มากกว่าช่องเปิดบานเกร็ดในทิศทางอื่นๆ ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบช่องเปิดแต่ละประเภทในทิศทางเดียวกันจะพบว่า ช่องเปิดที่เป็นบานเกร็ดจะส่งผลต่อการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด ด้วยเหตุผลเช่นนี้ จึงสามารถกล่าวได้ว่า นอกจากการเลือกช่องเปิดที่เหมาะสมแล้วทิศทางยังเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบ หากเป็นอาคารปรับอากาศการนำอากาศภายนอกที่ร้อนและชื้นเข้าสู่อาคารย่อมไม่เป็นการเหมาะสม จึงสมควรยิ่งที่จะออกแบบอาคารให้มีช่องเปิดที่เกิดการรั่วซึมน้อย เช่น บานติดตายและทิศทางที่เหมาะสม เช่น ทิศเหนือ นอกจากนี้โดยเฉลี่ยแล้วจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมน้อยที่สุด ยังสามารถนำแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงจากแสงกระจายทิศเหนือมาใช้ในอาคารได้อีกทางหนึ่งด้วย

ช่องเปิดที่มีความเหมาะสมกับอาคารที่มีการปรับอากาศมากที่สุด คือ ช่องเปิดแบบติดตาย เนื่องจากมีการรั่วซึมของอากาศต่ำที่สุด ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานต่ำที่สุดเช่นกัน ตรงตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ ทั้งนี้พิจารณาจากการรั่วซึมของอากาศเพียงอย่างเดียว หากคำนึงถึงการใช้งานแล้วช่องเปิดแบบบานเลื่อนจะมีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากสามารถเปิดออกสู่ภายนอกอาคารได้และมีอัตราการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมน้อยกว่าช่องเปิดติดตายเพียงเล็กน้อย

ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยหลักการแล้ว เครื่องปรับอากาศทั่วไปที่มีการบำรุงรักษาเป็นประจำ 1-2 ครั้งต่อปี สามารถมีอายุการใช้งานได้มากที่สุด 8 ปี เพราะประสิทธิภาพของเครื่องจะลดลงตามอายุการใช้งาน ทำให้ไม่คุ้มค่าที่จะใช้อุปกรณ์เหล่านั้นเพราะสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้า ดังนั้นถ้าไม่สามารถหาข้อมูลของฉลากแสดงประสิทธิภาพที่ระบุไว้กับเครื่องปรับอากาศ ให้ประมาณการจากอายุการใช้งานของเครื่องกลซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ผู้เชี่ยวชาญทางวิศวกรรมระบบปรับอากาศนำมาประเมินเพื่อให้ผลใกล้เคียงที่สุดมีความแตกต่างไม่ถึง 10% (เกชา ธีระโกเมน, 2550)

ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศของระบบปรับอากาศเดิมก่อนการปรับปรุงอาคาร มีค่า EER ในระดับเบอร์ 2 ซึ่งอนุมานได้จากอายุการใช้งานเกินกว่า 10 ปี ส่วนหลังการปรับปรุง

อาคารระยะที่ 2 ได้เปลี่ยนระบบปรับอากาศส่วนเครื่องทำความเย็นใหม่ ทั้งหมด 15 ชุด พร้อมเครื่อง Fresh air มีค่า EER ระดับเบอร์ 5 ซึ่งใช้พลังงานในการทำความเย็นน้อยกว่าเครื่องทำความเย็นระบบเดิมประมาณ 25.81 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-32 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องกลปรับอากาศ ตามอายุการใช้งาน

อายุการใช้งาน	ประสิทธิภาพ
0-2 ปี	5
2-5 ปี	4
5-8 ปี	3
8-15 ปี	2
15 ปีขึ้นไป	1

ตารางที่ 4-33 แสดงรายการระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

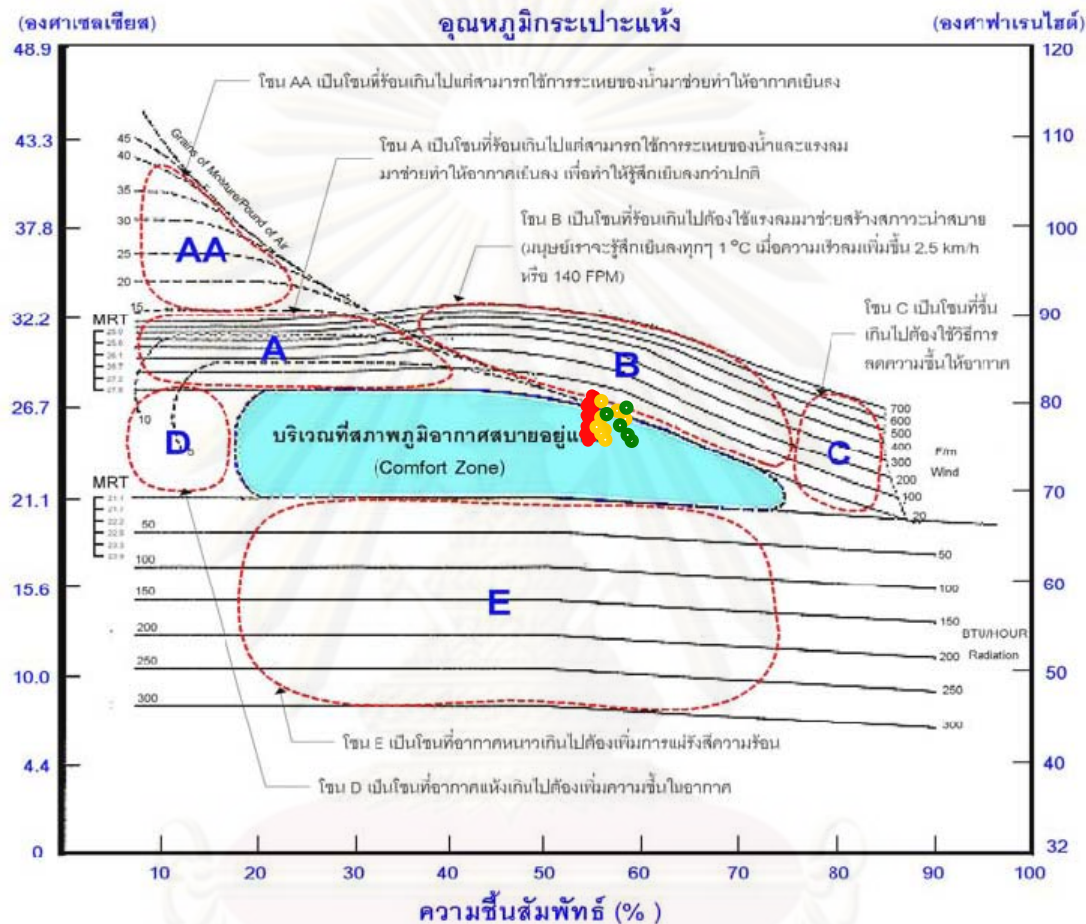
ระดับ(เบอร์)	ค่า EER (Btu*hr/ W)	COP
0	< 7.6	< 2.20
1	7.6 - 8.6	2.20 – 2.50
2	8.6 – 9.6	2.50 - 2.81
3	9.6 – 10.6	2.81 – 3.10
4	10.6 – 11.0	3.10 – 3.22
5	11.0 – 11.50	3.22 – 3.37
5 พรีเมียม	> 11.50	> 3.37

ที่มา: ทดสอบมาตรฐาน มอก. 1155-2536

4.5.2 เปรียบเทียบสภาวะสบายภายในพื้นที่อาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

การตรวจวัดสภาวะสบายในพื้นที่อาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ทำการตรวจวัด 3 ช่วงระยะเวลา คือก่อนการปรับปรุงอาคาร หลังการ

ปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 และหลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 โดยทำการวัดค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ได้ผลการตรวจวัดดังนี้



- สภาพอากาศภายในก่อนปรับปรุงอาคาร
- สภาพอากาศภายในหลังปรับปรุงอาคารระยะที่ 1
- สภาพอากาศภายในหลังปรับปรุงอาคารระยะที่ 2

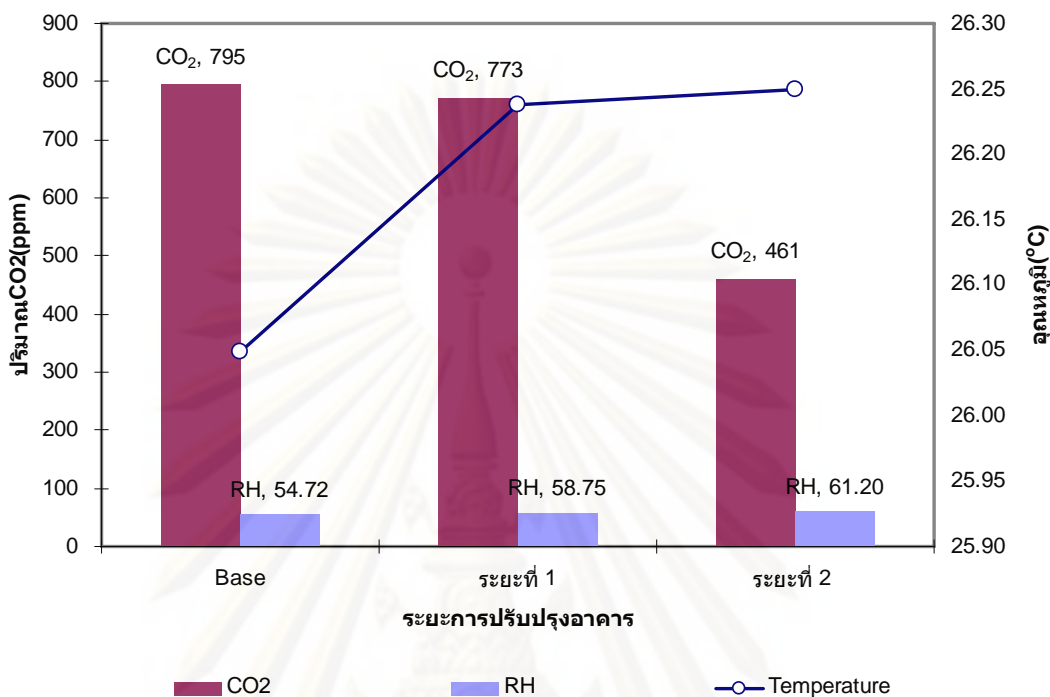
ภาพที่ 4-48 แสดงสภาพอากาศภายในแต่ละระยะการปรับปรุงอาคารในแผนภูมิขอบเขตภวะน่าสบายของมนุษย์ (Victor Olgyay, 1992)

ตารางที่ 4-34 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ
ภายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ
แต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร

ระยะการ ตรวจวัด	พื้นที่	ปริมาณ CO ₂ (ppm)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
Base	พื้นที่ด้านทิศใต้	768.27	54.50	25.63
	พื้นที่ด้านทิศเหนือ	813.91	54.86	26.33
	พื้นที่ทั้งหมด	795.41	54.72	26.05
ระยะที่ 1	พื้นที่ด้านทิศใต้	754.75	58.25	25.53
	พื้นที่ด้านทิศเหนือ	790.50	59.25	26.95
	พื้นที่ทั้งหมด	772.63	58.75	26.24
ระยะที่ 2	พื้นที่ด้านทิศใต้	433.80	62.90	25.40
	พื้นที่ด้านทิศเหนือ	487.30	59.50	27.10
	พื้นที่ทั้งหมด	460.55	61.20	26.25

ผลการตรวจวัดสภาพอากาศที่ได้ทั้ง 3 ระยะเวลา เมื่อนำมาพล็อตลงใน Bio-climatic Chart (ภาพที่ 4-13) โดยได้กำหนดไว้ที่ตัวเครื่องทำความเย็นโดยในระยะก่อนปรับปรุงอาคาร ได้กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 22 °C หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 และระยะที่ 2 กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 25 °C พบว่าทั้ง 3 ระยะเวลา มีสภาพอากาศอยู่ในเขตสบายที่ใกล้เคียงกันด้วยตัวแปรด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การกำหนดอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นที่เพิ่มขึ้นแล้วสามารถรักษาสภาพอากาศภายในให้อยู่ในเขตสบายได้นั้น สรุปได้ว่าผลจากการปรับปรุงอาคารมีผลด้านพลังงานการทำความเย็นที่ลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณCO2 ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ
ภายในอาคาร



แผนภูมิที่ 4-61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร

ส่วนผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าหลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 ไม่มีผลแตกต่างที่เป็นนัยยะสำคัญ แต่หลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 ซึ่งได้ทำการติดตั้งระบบ Fresh air แล้ว ทำให้สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ 42 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3 เปรียบเทียบผลการปรับปรุงอาคารกับการลงทุน

การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาได้ออกแบบตามแนวทางการแบ่งกลุ่มตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ตัวแปรด้านวัสดุเปลือกอาคาร ตัวแปรด้านอัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่ใช้งาน ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม และตัวแปรด้านประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น ส่วนที่สามารถทำการปรับปรุงได้คือตัวแปรด้านวัสดุเปลือกอาคารและประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น ซึ่งได้แบ่งการปรับปรุงอาคารเป็น 2 ระยะเวลา และได้ทำการเปรียบเทียบการลงทุนแต่ละระยะของการปรับปรุงอาคาร ดังนี้

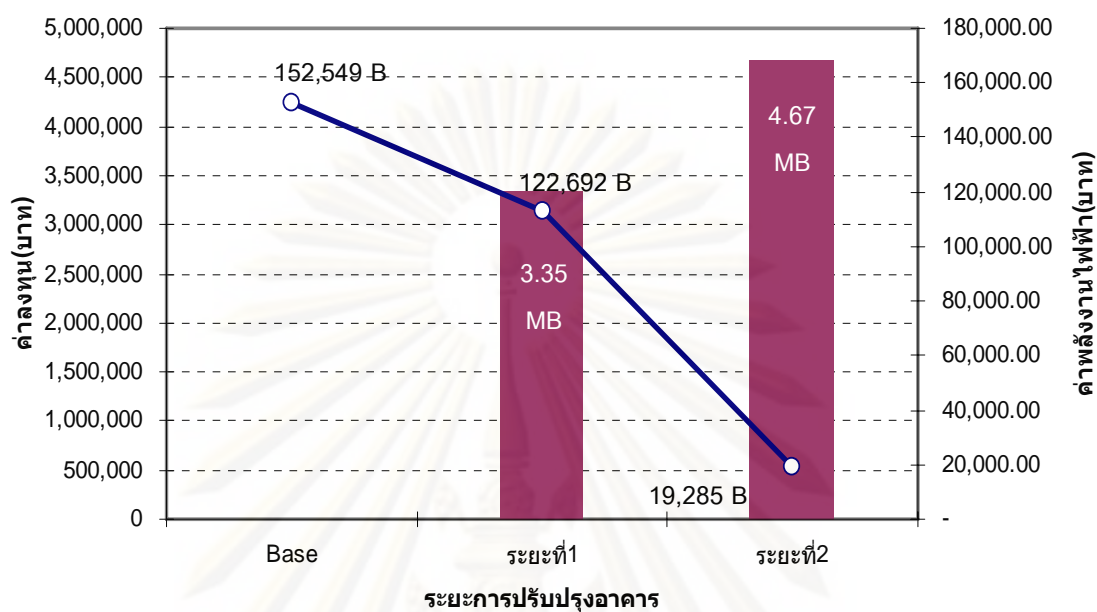
ตารางที่ 4-35 แสดงรายการค่าลงทุนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ
สิ่งแวดลอมแห่งสหประชาชาติ ระยะที่ 1

ลำดับ	รายการ	ชนิดวัสดุ	วิธีการ	ราคา(baht)
1	ปรับปรุงผนังอาคาร	ผนัง 4" EIFS	เตรียมผิวหน้าผนังอาคาร	1,345,410.00
			ติดตั้งแผ่นโฟม EPS	
			ทำผิวภายนอก	
2	ปรับปรุงฝ้าเพดาน	แผ่นไฟเบอร์กลาสหนา 9"	วางแผ่นไฟเบอร์กลาสบนฝ้าเพดาน	332,000.00
3	ปรับปรุงพื้นอาคาร	PU โฟมหนา 11/2"	แผ่นไม้อัดหนา 20 มม.	518,750.00
			พ่น PU โฟม	265,600.00
			กรุกระเบื้องยาง	332,000.00
รวม				2,793,760.00
10% ค่าดำเนินการ				279,376.00
7% VAT				195,563.20
3% TAX				83,812.80
รวมทั้งหมด				3,352,512.00

ตารางที่ 4-36 แสดงรายการค่าลงทุนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ
สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ระยะที่ 2

ลำดับ	รายการ	ชนิดวัสดุ	วิธีการ	ราคา(baht)
1	ปรับปรุงผนังอาคาร	ผนัง 4" EIFS	เตรียมผิวหน้าผนังอาคาร	1,354,410.00
			ติดตั้งแผ่นโฟม EPS	
			ทำผิวภายนอก	
2	ปรับปรุงฝ้าเพดาน	แผ่นไฟเบอร์กลาสหนา 9"	วางแผ่นไฟเบอร์กลาสบน ฝ้าเพดาน	332,000.00
3	ปรับปรุงพื้นอาคาร	PU โฟมหนา 1 1/2"	แผ่นไม้อัดหนา 20 มม.	518,750.00
			พ่น PU โฟม	265,600.00
			กรูกระเบื้องยาง	332,000.00
4	ปรับปรุงหน้าต่าง	กระจก 3 ชั้นและวงกบ U-PVC	ติดตั้งกระจก 3 ชั้น	480,000.00
			ติดตั้งมู่ลี่กันแดด	120,000.00
5	ปรับปรุงระบบปรับอากาศ	FCU & Fresh air units	ติดตั้ง FCU 15 Units	500,000.00
			ติดตั้ง Fresh air Units	
			ตัดต่อโครงข่ายท่อจ่ายน้ำ เย็นและระบบ Fresh air	
รวม				3,893,760.00
10% ค่าดำเนินการ				389,376.00
7% VAT				272,563.20
3% TAX				116,812.80
รวมทั้งหมด				4,672,512.00

เมื่อได้ทำการปรับปรุงอาคารและทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นแล้ว พบว่าการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 สามารถลดการใช้พลังงานการทำความเย็นลงได้ 26.13 % และการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 สามารถลดการใช้พลังงานการทำความเย็นลงได้ 87.36 % จากการลงทุนปรับปรุงอาคารแล้วสามารถลดพลังงานการทำความเย็นลงได้นี้ นำมาเปรียบเทียบกับ ค่าไฟฟ้าที่ลดลงได้แต่ละระยะการปรับปรุงอาคารได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลงทุนปรับปรุงอาคารและค่าพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ตารางที่ 4-37 แสดงการเปรียบเทียบการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ระยะที่ 1 และ ระยะที่ 2

รายการ	Base	ระยะที่1	ระยะที่2
พลังงานการทำความเย็น (whr/mth)	39,216	28,970	4,958
ปริมาณการปลดปล่อยCO ₂ (kgCO ₂)	21,569	15,933	2,727
ค่าพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็น (บาท/เดือน)	152,549	112,692	19,285
ค่าลงทุนปรับปรุงอาคาร(ล้านบาท)	0	3.35	4.67
ลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้(บาท/เดือน)	0	39,858	133,264
ระยะเวลาคุ้มทุน(ปี)	0	7	2.92

การปรับปรุงอาคารทั้ง 2 ระยะ เมื่อทำการเปรียบเทียบดังตารางที่ 4-35 แล้ว พบว่าการใช้พลังงานในการทำความเย็น ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าไฟฟ้า ลดลงเป็นลำดับทั้งในการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 และระยะที่ 2

การเปรียบเทียบผลการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาด้านการลงทุนและระยะเวลาคืนทุนนั้น จากตาราง 4-37 พบว่าการลงทุนปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 สามารถลดค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นลงได้ 26.13% โดยมีระยะเวลาคืนทุน 7 ปี ส่วนการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 สามารถลดค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นลงได้ 87.36% โดยมีระยะเวลาคืนทุน 3 ปี



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในหัวข้อการปรับปรุงอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการปรับปรุงเปลือกอาคารและระบบปรับอากาศ ที่ซึ่งแบ่งระยะการปรับปรุงอาคารเป็น 2 ระยะและตรวจวัดการใช้พลังงานในการทำความเย็นด้วยเครื่องมือตรวจวัดอัตราการไหลและอุณหภูมิน้ำเย็นในท่อ Chilled water ทำการบันทึกข้อมูลด้าน ทุก 15 นาทีด้วยโปรแกรม DMS (Demand Management System) และจัดเก็บข้อมูลเพื่อการ วิเคราะห์ในระยะเวลาก่อนปรับปรุงอาคาร (Base case) ในเดือนมกราคมปี พ.ศ.2551 จัดเก็บข้อมูล ผลการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 ในเดือนธันวาคม พ.ศ.2551 และจัดเก็บข้อมูลผลการปรับปรุง อาคารระยะที่ 2 ในเดือนมกราคม พ.ศ.2553

ส่วนการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร ได้ทำการตรวจวัดเป็น 3 ระยะเช่นกันด้วย เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และเครื่องมือวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การ ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารในระยะเวลาก่อนปรับปรุงอาคาร ได้ทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ.2550 ในขณะที่ปรับค่าอุณหภูมิที่เครื่องปรับอากาศไว้ที่ระดับ 22°C การเก็บข้อมูล ในระยะการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 ทำการจัดเก็บในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 ในขณะที่ปรับ ค่าอุณหภูมิที่เครื่องปรับอากาศไว้ที่ระดับ 25°C และเก็บข้อมูลในระยะการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 ในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2553 ในขณะที่ปรับค่าอุณหภูมิที่เครื่องปรับอากาศไว้ที่ระดับ 25°C

ผลการศึกษาวิจัยได้ชี้ให้เห็นในเบื้องต้นแล้วว่าสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความ เย็นลงได้ 87.36% เมื่อคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าในอาคารรวม สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 54% ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายของสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ที่ต้องการลดการใช้ พลังงานลงให้ได้ 50% ตามแนวคิด “คาร์บอนสมดุลย์” หรือ “Carbon Neutrality”

จากผลการศึกษาวิจัย จะได้นำเสนอเป็นข้อสรุปผลการวิจัยในรายละเอียดดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



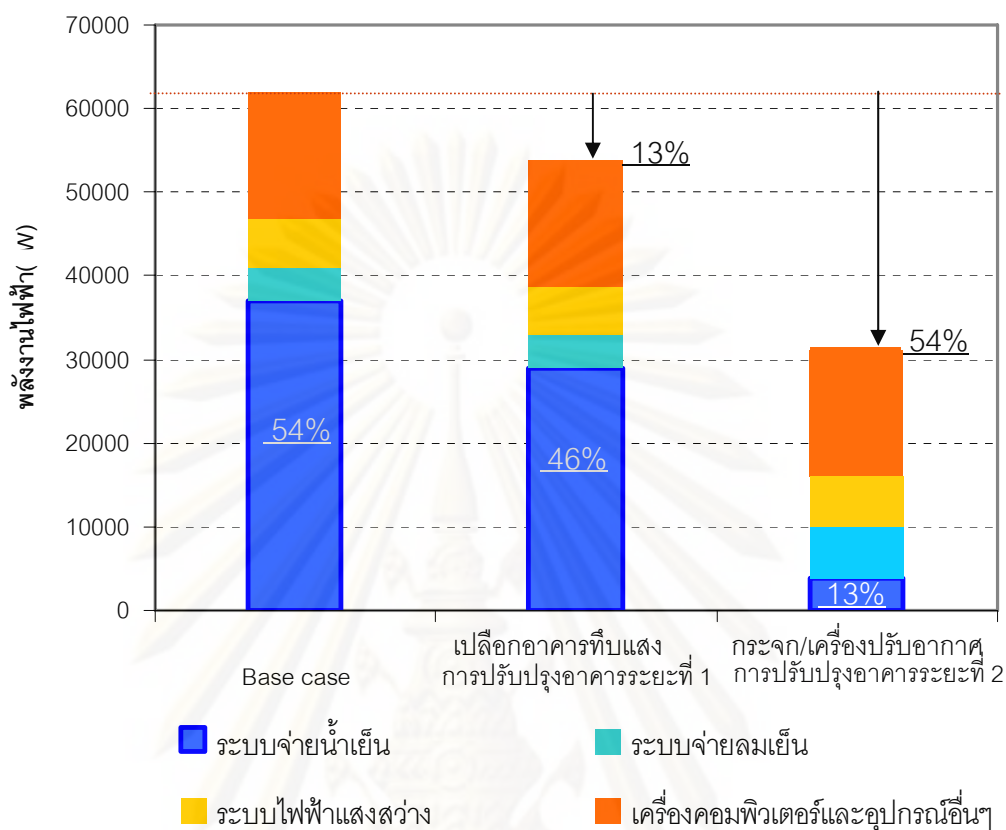
ภาพที่ 5-1 แสดงภาพด้านหน้าอาคารกรณีศึกษา Outreach building หลังการปรับปรุงอาคาร ส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)



ภาพที่ 5-2 แสดงภาพหลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการ สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ชั้น 3 ของอาคาร Outreach Building

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาตามวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และจำแนกตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษา และมีอิทธิพลให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากการ ใช้พลังงานของสภาพอาคารเดิมที่มีน้ำหนักมากที่สุด ได้แก่ พลังงานในการทำความเย็นในอาคาร ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงาน 60 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมด



แผนภูมิที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงาน โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ในแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร

จากการออกแบบและปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ พบว่าสัดส่วนพลังงานในการทำความเย็นลดลงเป็น 54% ในการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 และ 13% ในระยะการปรับปรุงอาคารที่ 2 สรุปได้ว่าวัสดุเปลือกอาคารและประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศมีอิทธิพลในการใช้พลังงานในการทำความเย็นในสัดส่วนที่มาก และลดการใช้พลังงานทั้งหมดลงได้ 13% ในการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 และ 54% ในระยะการปรับปรุงอาคารที่ 2 ตามลำดับดังตาราง 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงตารางการเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษาส่วน
สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ในแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร

การใช้พลังงานไฟฟ้า	Base case	การปรับปรุงอาคารระยะที่ 1		การปรับปรุงอาคารระยะที่ 2	
	(วัตต์)	พลังงาน ไฟฟ้า(วัตต์)	ลดลงจาก Base case (%)	พลังงาน ไฟฟ้า(วัตต์)	ลดลงจาก Base case (%)
ระบบจ่ายน้ำเย็น	37000	28970	78.29	3838.	10.37
ระบบจ่ายลมเย็น	4000	4000	100	6750	168.75
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	5800	5800	100	5800	100
เครื่องคอมพิวเตอร์และ อุปกรณ์อื่นๆ	15200	15200	100	15200	100
พลังงานไฟฟ้ารวม	62000	53970	87.05	28838	46.51

จากการปรับปรุงอาคารจริงทั้ง 2 ระยะ พบว่าการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 สามารถลดการใช้พลังงานการทำความเย็นลงได้ 26.13 เปอร์เซ็นต์ และการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 สามารถลดการใช้พลังงานการทำความเย็นลงได้ 87.36 เปอร์เซ็นต์

กระบวนการการออกแบบและปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาดังกล่าว สามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นลงได้ถึง 87.36 เปอร์เซ็นต์ ในการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 เมื่อนำมาวิเคราะห์แล้ว สามารถจำแนกออกเพื่อเปรียบเทียบหาต้นทุนของตัวแปรย่อย สรุปได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-2 แสดงตารางกระบวนการปรับปรุงอาคารและสัดส่วนของตัวแปรที่มีอิทธิพลในการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติในแต่ละระยะการปรับปรุงอาคาร

กระบวนการปรับปรุงอาคาร	สัดส่วนการใช้พลังงาน ทำความเข้าใจ เย็นลดลง	ตัวแปร	ร้อยละของพลังงานที่ลดลงได้	ร้อยละของการลงทุน
การปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 <ul style="list-style-type: none"> ■ ปรับปรุงเปลือกอาคาร ส่วนที่บดแสง โดยการติดตั้งฉนวนไฟเบอร์กลาสหนา 9 “ บนฝ้าเพดาน ติดตั้งฉนวน EIFS หนา 4” บนผนังด้านนอกอาคาร และติดตั้งฉนวน PU โฟมหนา 1 ½” บนพื้นภายในอาคาร 	26.13 %	เปลือกอาคารส่วนที่บดแสง	26.13 %	68.91 %
การปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 <ul style="list-style-type: none"> ■ ปรับปรุงอาคารส่วนโปร่งแสง โดยการติดตั้งกระจก Triple Glass pane with heat stop เพิ่มจากช่องกระจกเดิมและเว้นช่องอากาศนิ่งระหว่างกระจกเดิมและกระจกใหม่ ■ ติดตั้งระบบระบบอากาศใหม่ที่มีระบบ fresh air ร่วมด้วย 	61.17 %	เปลือกอาคารส่วนโปร่งแสง <ul style="list-style-type: none"> ■ สะพานความร้อนจากระเบียงที่เว้นไว้เพื่อติดตั้งกระจก ■ รั้งสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจก ■ การนำความร้อนผ่านกระจก ■ การรั่วซึมของอากาศ 	35.36 %	16.96 %
		ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ	25.81 %	14.13 %
รวม	87.3 %	รวม	87.3 %	100 %

การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาระยะที่ 1 พบว่าอิทธิพลจากเปลือกอาคารส่วนที่บดแสงมีน้ำหนักในการใช้พลังงานในการทำความเย็น 26.13 %

การปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 พบว่าอิทธิพลจากเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสงมีน้ำหนักในการใช้พลังงานในการทำความเย็น 35.36 % ซึ่งทั้งนี้รวมไปถึงตัวแปรย่อยอื่นๆรวมกัน ได้แก่ ตัวแปรด้านสะพานความร้อนจากเปลือกอาคารส่วนที่บริเวณระเบียงอาคารที่ได้เว้นเอาไว้ในระยะเวลาการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 ตัวแปรด้านการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังกระจกโดยตรง ตัวแปรด้านการรั่วซึมของอากาศจากบริเวณวงกบหน้าต่างและประตูเดิม และตัวแปรด้านการนำความร้อนผ่านผนังกระจก

การปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 ยังพบด้วยว่าอิทธิพลจากประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศมีน้ำหนักในการใช้พลังงานในการทำความเย็น 25.81 % จากการปรับปรุงระบบทำความเย็นด้วยการติดตั้งเครื่องเป่าลมเย็นและFresh air unit ใหม่

ในการออกแบบปรับปรุงอาคารเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานนั้น หากจะวิเคราะห์ตามกลุ่มตัวแปรของภาระการทำความเย็นในอาคาร ซึ่งจำแนกไว้ 4 กลุ่มตัวแปร ได้แก่ วัสดุเปลือกอาคาร อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้งาน สภาพแวดล้อมและประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ในการศึกษาวิจัยชิ้นนี้ ได้ทำการปรับปรุงอาคารจริงด้วย 2 กลุ่มตัวแปรหลัก คือ วัสดุเปลือกอาคาร และประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ จึงได้ทำการออกแบบปรับปรุงอาคารโดยการติดตั้งฉนวนเปลือกอาคารส่วนที่บแสงในระยะที่ 1 และเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสงพร้อมทั้งปรับปรุงระบบปรับอากาศในระยะที่ 2

สิ่งที่ได้จากการปรับปรุงอาคารในการศึกษาวิจัยนี้ มีประเด็นหลักที่สรุปได้ คือ ด้านพลังงานและการลงทุน และด้านความสบายของผู้ใช้อาคาร

5.1.1 ด้านพลังงานและการลงทุน

การประเมินสภาพอาคารที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของอาคารด้วย 4 กลุ่มตัวแปรโดยเทียบจากตารางการให้คะแนนค่าดัชนีเทียบกับค่าดัชนีมาตรฐาน (Index Scoring) ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-3 แสดงตารางการให้คะแนนค่าดัชนีเทียบกับค่าดัชนีมาตรฐาน (Index Scoring)

Score	Composite Index	Singular Index			
	E	1/COP	Σ U.S	Δ T	S/A
Excellent	< -10.24	<0.17	<0.92	<7.29	<0.32
Very Good	-10.24-13.04	0.17-0.27	0.92-1.78	7.29-10.05	0.32-1.54
Good	13.04-36.32	0.27-0.37	1.78-2.64	10.05-12.81	1.54-2.76
Fair	36.32-59.60	0.37-0.47	2.64-3.50	12.82-15.35	2.76-3.98
Poor	59.60-82.88	0.47-0.57	3.50-4.36	15.35-17.88	3.98-5.20
To be improved	>82.88	>0.57	>4.36	>17.88	>5.20

ที่มา: วรวิศ วิศวกรรม, 2550: 96 และ จิตทัต หอเรื่องวิวัฒน์, 2552

ตารางให้คะแนนนี้สำคัญมากสำหรับขั้นตอนการออกแบบอาคาร โดยสามารถนำดัชนีมาเป็นเครื่องมือ (Design Tool Guideline) ช่วยชี้แนะในการตรวจสอบศักยภาพอาคารเดิมและการออกแบบอาคารด้านประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน เพื่อนำมาปรับปรุงและเป็นข้อควรระวังในการทำงาน ซึ่งดัชนีนี้จะช่วยให้ทั้งสถาปนิกและวิศวกร มัณฑนากร ภูมิสถาปนิกรวมทั้งผู้ออกแบบด้านอื่น ๆ ได้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบที่มีต่อการประหยัดพลังงานตั้งแต่จุดเริ่มต้นของงานออกแบบ ทั้งในส่วนของการออกแบบพื้นที่ใช้สอยและการออกแบบรูปทรงอาคารให้ได้ทั้งความสวยงามและมีประสิทธิภาพ การเว้นที่ว่างรอบอาคารเพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้ดี ในขณะเดียวกันรวมทั้งการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีค่า u ต่ำหรือเป็นฉนวนอย่างเหมาะสม มีการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ร่วมกับแสงประดิษฐ์และเลือกประสิทธิภาพเครื่องกลปรับอากาศและเครื่องกลอื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพให้เหมาะสมที่สุด

ในการวิจัยนี้จึงนำมาเป็นแนวทางประเมินอาคารเพื่อการปรับปรุงอาคาร โดยประเมินระยะก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงอาคาร 2 ระยะ ดังนี้

1) ประสิทธิภาพการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงอาคาร

Mechanical Efficiency

COP.	=	No.2	
Mechanical Efficiency index; IC	=	0.397	(1)

Material

U-Value of wall	=	0.355	
Area	=	594.23 m ²	
U-Value of glass	=	0.543	
Area	=	65.77 m ²	
U-Value of Metal sheet roof	=	0.089	
Area	=	720 m ²	
U-Value of Conc. slab	=	0.37	
Area	=	216 m ²	
U-Value of floor	=	0.40	
Area	=	866 m ²	
Total u index ; $\sum U.S = \frac{((594.23*0.355)+(65.77*0.543)+(720*0.089)+(216*0.37)+(866*0.40))}{(594.23+65.77+720+216+866)}$	=	0.3	(2)

Site and Location

อุณหภูมิภายนอก	=	39 °c	
Site and Location index; ΔT	=	14	(3)

Building Form Ratio

Usable area per bldg.	=	866 m ²	
Surface area per bldg.	=	2169.19 m ²	
Surface area: usable area	=	2169.19: 866	
Building Form Ratio index; S/A	=	3	(4)
Total Building Performance Index ;E	=	(1) * (2) *(3) *(4)	
	=	0.397*0.3*14*3	
	=	5	

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอาคารกรณีศึกษา จะพบว่า $E = 5$ อยู่ในช่วงคะแนน Very good โดยมี $1/COP = 0.397$ อยู่ในช่วงคะแนน Fair, $\Sigma U.S = 0.3$ อยู่ในช่วงคะแนน Very Good, $\Delta T = 14$ อยู่ในช่วงคะแนน Fair และ $S/A = 3$ อยู่ในช่วงคะแนน Fair ซึ่งกรณีนี้ถ้าต้องการปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพให้ดีขึ้น จะต้องพิจารณาทั้งดัชนีเชิงเดียว โดยดัชนี $1/COP$ ถ้าใช้การปรับปรุงโดยเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นเบอร์ 5 ($1/COP = 0.29$) ปรับปรุงดัชนี $\Sigma U.S$ โดยการเพิ่มฉนวนเปลือกอาคาร ปรับปรุงดัชนี S/A โดยปรับปรุงเปลือกอาคารทั้งอาคาร และปรับปรุงดัชนี ΔT โดยปรับปรุงสภาพแวดล้อม จะทำให้อาคารจะมีค่า E ดีขึ้น แต่เมื่อมีข้อจำกัดหลายด้านทั้งด้านการลงทุนและนโยบายของเจ้าของพื้นที่ จึงทำให้การปรับปรุงอาคารทำได้เฉพาะดัชนี $\Sigma U.S$ และ $1/COP$ เท่านั้น

2) ประสิทธิภาพการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 1

Mechanical Efficiency

COP.	=	No.2	
Mechanical Efficiency index; $1/COP$	=	0.397	(1)

Material

U-Value of Wall	=	0.05	
Area	=	277.43 m ²	
U-Value of glass	=	0.54	
Area	=	65.77 m ²	
U-Value of metal sheet roof	=	0.03	
Area	=	720 m ²	
U-Value of Conc. roof	=	0.03	
Area	=	216 m ²	
U-Value of floor	=	0.12	
Area	=	866 m ²	
Total u index; $\Sigma U.S = \frac{((594.23 \cdot 0.05) + (65.77 \cdot 0.543) + (720 \cdot 0.03) + (216 \cdot 0.03) + (866 \cdot 0.12))}{(594.23 + 65.77 + 720 + 216 + 866)}$	=	0.08	(2)

Site and Location

อุณหภูมิภายนอก	=	39 °c
----------------	---	-------

$$\text{Site and Location index; } \Delta T = 14 \quad (3)$$

Building Form Ratio

$$\begin{aligned} \text{Usable area per bldg.} &= 866 \text{ m}^2 \\ \text{Surface area per bldg.} &= 2169.19 \text{ m}^2 \\ \text{Surface area: usable area} &= 2169.19: 866 \\ \text{Building Form Ratio index; S/A} &= 3 \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Building Performance Index; E} &= (1) * (2) * (3) * (4) \\ &= 0.397 * 0.08 * 14 * 3 \\ &= 1.33 \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพอาคารกรณีศึกษา การปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 ด้วยการปรับปรุงเปลือกอาคารส่วนที่บดแสง พบว่า $E = 1.33$ อยู่ในช่วงคะแนน Very good ที่มีค่าดีขึ้นจากระยะก่อนการปรับปรุงอาคารอยู่ 85.7 % โดยมี $1/COP = 0.397$ อยู่ในช่วงคะแนน Fair, $\sum U.S = 0.08$ ที่มีค่าดีขึ้นจากระยะก่อนการปรับปรุงอาคารอยู่ 85.7 % อยู่ในช่วงคะแนน Excellent, $\Delta T = 14$ อยู่ในช่วงคะแนน Fair และ $S/A = 3$ อยู่ในช่วงคะแนน Fair

3) ประสิทธิภาพการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2

Mechanical Efficiency

$$\begin{aligned} \text{COP.} &= \text{No.5} \\ \text{Mechanical Efficiency index; } 1/COP &= 0.29 \quad (1) \end{aligned}$$

Material

$$\begin{aligned} \text{U-Value of Wall} &= 0.05 \\ \text{Area} &= 277.43 \text{ m}^2 \\ \text{U-Value of glass} &= 0.19 \\ \text{Area} &= 65.77 \text{ m}^2 \\ \text{U-Value of metal sheet roof} &= 0.03 \\ \text{Area} &= 720 \text{ m}^2 \\ \text{U-Value of Conc. roof} &= 0.03 \\ \text{Area} &= 216 \text{ m}^2 \\ \text{U-Value of floor} &= 0.12 \end{aligned}$$

$$\text{Area} = 866 \text{ m}^2$$

$$\text{Total u index; } \Sigma U.S = \frac{((594.23 \cdot 0.05) + (65.77 \cdot 0.19) + (720 \cdot 0.03) + (216 \cdot 0.03) + (866 \cdot 0.12))}{(594.2 + 65.77 + 720 + 216 + 866)}$$

$$= 0.07 \quad (2)$$

Site and Location

$$\text{อุณหภูมิภายนอก} = 39 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Site and Location index; } \Delta T = 14 \quad (3)$$

Building Form Ratio

$$\text{Usable area per bldg.} = 866 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface area per bldg.} = 2169.19 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface area: usable area} = 2169.19 : 866$$

$$\text{Building Form Ratio index; } S/A = 3 \quad (4)$$

$$\text{Total Building Performance Index; } E = (1) \cdot (2) \cdot (3) \cdot (4)$$

$$= 0.29 \cdot 0.07 \cdot 14 \cdot 3$$

$$= 0.8526$$

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพอาคารกรณีศึกษา การปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 ด้วยการปรับปรุงเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสงและประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น พบว่า $E = 0.8526$ อยู่ในช่วงคะแนน Very good ที่มีค่าดีขึ้นจากระยะก่อนการปรับปรุงอาคารอยู่ 90.86 % โดยมี $1/\text{COP} = 0.29$ อยู่ในช่วงคะแนน Good, $\Sigma U.S = 0.07$ ที่มีค่าดีขึ้นจากระยะก่อนการปรับปรุงอาคารอยู่ 87.5 % อยู่ในช่วงคะแนน Excellent, $\Delta T = 14$ อยู่ในช่วงคะแนน Fair และ $S/A = 3$ อยู่ในช่วงคะแนน Fair

จากการประเมินแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารแต่ละระยะนั้น เมื่อได้ทำการปรับปรุงอาคารจริงแล้ว ผลที่ได้เปรียบเทียบกับประเมินอาคารดังตารางต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารและผลการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ระยะที่ 1

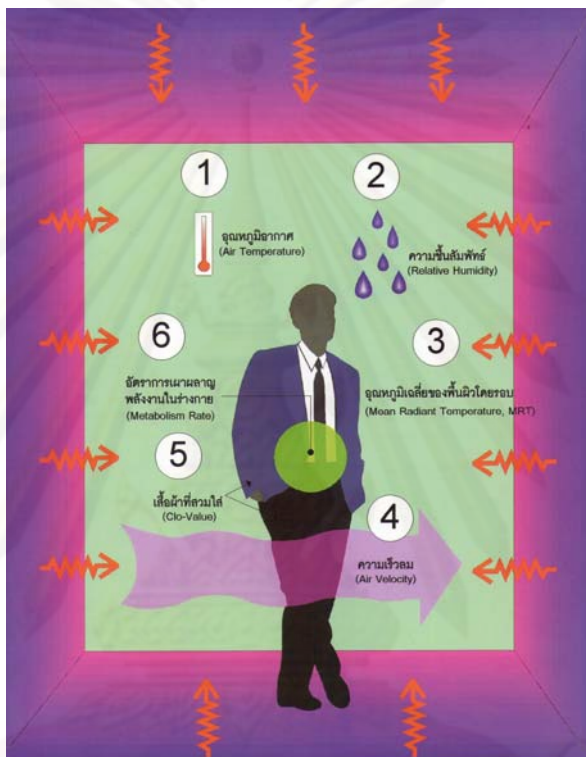
รายการ	Base	ระยะที่1		ระยะที่2	
	ปริมาณ	ปริมาณ	ลดลง(%)	ปริมาณ	ลดลง(%)
การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร (E)	5	1.33	85.71	0.85	90.86
	Very good	Excellent		Excellent	
พลังงานการทำความเย็น (kwhr/mth)	39,216	28,970	26.13	4,958	87.36
พลังงานการทำความเย็นต่อพื้นที่ (W/m ²)	60.87	44.96		7.69	
ปริมาณการปลดปล่อยCO ₂ (kgCO ₂ /mth)	21,569	15,933		2,727	
ปริมาณการปลดปล่อยCO ₂ (g.CO ₂ /m ²)	33.48	24.73		4.23	
ค่าพลังงานในการทำความเย็น(บาท/เดือน)	152549	112692		19285	
ค่าลงทุนปรับปรุงอาคาร(ล้านบาท)	0	3.35	-68.94	4.67	-31.06
ค่าลงทุนปรับปรุงอาคารต่อพื้นที่(บาท/m ²)	0	3871		5395	
ลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้(บาท/เดือน)	0	39858	26.13	133264	87.36
ระยะเวลาคุ้มทุน(ปี)	0	7		2.92	

การเปรียบเทียบผลการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาด้านการลงทุนและระยะเวลาคืนทุนนั้น พบว่าการลงทุนปรับปรุงอาคารระยะที่ 1 สามารถลดค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นลงได้ 26.13% โดยมีระยะเวลาคืนทุน 7 ปี ส่วนการปรับปรุงอาคารระยะที่ 2 สามารถลดค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นลงได้ 87.36% โดยมีระยะเวลาคืนทุน 3 ปี ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการปรับปรุงอาคารเพียง 2 กลุ่มตัวแปรเท่านั้น ดังนั้นการปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานให้ดีในทุกกลุ่มตัวแปร ประกอบกับแนวทางการออกแบบและลงทุนที่เหมาะสม ทำให้ระยะเวลาการคืนทุนสั้นลง

การออกแบบปรับปรุงอาคารเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมีอิทธิพลโดยตรงต่อการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซเรือนกระจกและเป็นสาเหตุหลักของสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน จากการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษานี้ ได้ผลในเชิงประจักษ์แล้วว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้จริงและคุ้มค่าในการลงทุนด้วยระยะเวลาคืนทุนอันสั้น การประยุกต์ใช้เพื่อการปรับปรุงอาคารในอนาคตจึงเป็นสิ่งที่เป็นไปได้

5.1.2 ด้านความสบายของผู้ใช้อาคาร

ความสบายของผู้ใช้อาคารเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกซึ่งมี 6 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม เครื่องนุ่งห่ม การเผาผลาญพลังงานของร่างกาย และการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยจากสิ่งแวดล้อม (Mean radiant temperature – MRT)



ภาพที่ 5-3 แสดงตัวแปรต่างๆ 6 ประการที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายในสภาวะปกติ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545: 114)

ปัจจัยทางด้านเครื่องนุ่งห่ม การเผาผลาญพลังงานของร่างกายได้ถูกกำหนดด้วยกิจกรรมของการทำงานในสำนักงานที่ค่อนข้างคงที่

ส่วนปัจจัยทางด้านอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมเป็นสิ่งที่กำหนดได้จากเครื่องปรับอากาศซึ่งเป็นผลจากสภาพของอาคาร ความสามารถและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ทำให้สภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในสภาวะสบาย ในอาคารกรณีศึกษานี้พบว่าเครื่องปรับอากาศสามารถทำให้อากาศภายในบริเวณกลางพื้นที่แต่ละบริเวณอาคารอยู่ในเขตสบายได้จากการใช้เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศ (Data logger) ภายในอาคารกรณีศึกษาที่ติดตั้งไว้ทุกบริเวณที่อยู่กลางแจ้ง แต่เมื่อใช้เครื่องมือตรวจวัดชนิดตรวจวัด

อุณหภูมิผิว (surface Temperature Meter) ที่เป็นการตรวจวัดแบบ spot check พบว่าอุณหภูมิผิวภายในของเปลือกอาคารก่อนทำการปรับปรุงมีค่าประมาณ 28°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่มีค่าเฉลี่ย 26.05°C อุณหภูมิต่ำสุด 24.9°C อุณหภูมิสูงสุด 27°C มีความแตกต่างทั้งระหว่างอุณหภูมิประมาณอากาศภายในและอุณหภูมิผิวอาคารอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่เมื่อทำการปรับปรุงเปลือกอาคารและระบบปรับอากาศแล้ว พบว่าอุณหภูมิผิวภายในมีค่าประมาณ 26.5°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่มีค่าเฉลี่ย 26.25°C อุณหภูมิต่ำสุด 25°C อุณหภูมิสูงสุด 26.5°C ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวได้ว่าก่อนการปรับปรุงเปลือกอาคารนั้น อิทธิพลจากการสะสมความร้อนจากภายนอกอาคารไว้ในวัสดุเปลือกอาคารแล้ว เกิดการแผ่รังสีความร้อน (MRT) เข้าสู่พื้นที่ภายในอาคาร และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเดิมนั้น ไม่สามารถหมุนเวียนอากาศได้ทั่วถึงทุกบริเวณของพื้นที่ภายในอาคาร

การแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยจากสิ่งแวดล้อม คิดเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ของการแผ่รังสีจากแหล่งต่าง ๆ ในสภาวะแวดล้อม สำหรับงานวิจัยนี้ MRT เป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับสภาพอาคารโดยตรงที่แปรผันกับการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร ด้วยกลุ่มตัวแปร $\sum U.S$ ที่แผ่รังสีความร้อนจากวัสดุอาคารสู่ผู้ใช้อาคาร

การปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารโดยการติดตั้งฉนวนเปลือกอาคาร ทำให้การสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุลดลง การแผ่รังสีความร้อนจากเนื้อวัสดุเข้าสู่ตัวอาคารจึงลดลงด้วย พร้อมกันนั้นการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นจึงไม่สิ้นเปลืองในการลดความร้อนที่สะสมในเนื้อวัสดุเปลือกอาคาร และมีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารบริเวณใกล้ผนังและกลางพื้นที่อาคารลดลง เป็นข้อสังเกตในด้าน MRT ในอาคารกรณีศึกษาอย่างชัดเจน

ดังนั้นในการปรับปรุงอาคารเพื่อให้เพิ่มประสิทธิภาพของอาคารนั้น ความสบายของผู้ใช้อาคารเป็นประเด็นที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าประเด็นด้านพลังงาน ความสบายของผู้ใช้อาคารส่งผลให้สุขภาพของผู้ใช้อาคารดีขึ้น และยังไปกว่านั้นคือประสิทธิภาพของการทำงานที่เกิดจากผู้ใช้อาคารก็เพิ่มขึ้นไปด้วย ในส่วนนี้อาจไม่สามารถเทียบเป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้โดยตรง แต่หากเทียบเป็นการลงทุนแล้วถือได้ว่าคุ้มค่าอย่างแน่นอน

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยข้างต้นที่เป็นผลจากการปรับปรุงอาคารส่วนเปลือกอาคารและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ สรุปได้ในเชิงประจักษ์ว่าสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ และ

เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในอนาคต ตามข้อเสนอในบทที่ 3 ซึ่งได้นำเสนอไว้ว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทั้งอาคาร (Outreach Building) จะทำให้อาคารมีประสิทธิภาพในด้านพลังงานมากขึ้น ด้วยตัวแปรด้านรูปทรงอาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้งานลดลง การลงทุนและระยะเวลาคืนทุนที่ดีขึ้น นอกจากนี้หากมีโอกาสในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมอาคาร จะทำให้ตัวแปรด้านนี้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารน้อยลง ส่งผลให้มีค่าดัชนีของประสิทธิภาพอาคารดีขึ้น ซึ่งจะได้กล่าวถึงกลุ่มตัวแปรหลักต่างๆ ในรายละเอียดต่อไป

5.2.1 อิทธิพลการลดการใช้พลังงานจากกลุ่มตัวแปรหลัก

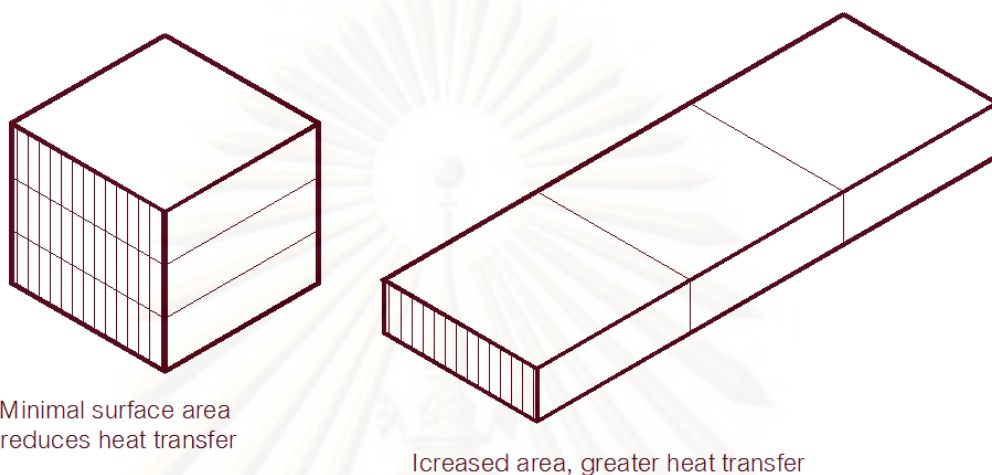
1) ตัวแปรด้านวัสดุเปลือกอาคาร

วัสดุเปลือกอาคารหมายถึงเปลือกอาคารส่วนที่บดแสงและโปร่งแสง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานการทำความเย็นในอาคารในสัดส่วน 61.5% จากผลการวิจัยในอาคารกรณีศึกษา การเลือกใช้วัสดุฉนวนเปลือกอาคารที่เหมาะสมทั้งในด้านพลังงาน คือมีค่าการนำความร้อนต่ำ มีการแผ่รังสีความร้อน (MRT) ที่เกิดจากการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุต่ำ และด้านการลงทุน คือเป็นวัสดุที่หาได้ในท้องตลาด วิธีการติดตั้งง่ายและราคาพอเหมาะ จะมีส่วนช่วยลดปริมาณความร้อนที่สะสมในเนื้อวัสดุและผ่านเข้าสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างมาก จากตารางที่ 4-22 ซึ่งแสดงคุณสมบัติทั่วไปของฉนวนกันความร้อนประเภทที่นำมาใช้กับอาคาร ที่อ้างอิงจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมนั้น เป็นรายการวัสดุฉนวนที่หาได้ทั่วไปในประเทศไทย ประเภทของฉนวนที่ได้เลือกนำมาใช้ในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษานี้ ได้พิจารณาเลือกด้วยหลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นและมีราคาฉนวนเปลือกอาคารส่วนที่บดแสงเฉลี่ยประมาณ 2,265 บาทต่อตารางเมตร ค่าติดตั้งประมาณ 1,000 บาทต่อตารางเมตร และราคาฉนวนเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสงเฉลี่ยประมาณ 8,000 บาทต่อตารางเมตรรวมค่าติดตั้ง ซึ่งเป็นราคาที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับปรุงอาคารในกลุ่มตัวแปรอื่น แต่สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง

2) ตัวแปรด้านรูปทรงอาคาร (Building form)

เป็นปัจจัยที่ผู้ออกแบบปรับปรุงอาคารควรคำนึงถึง เพราะรูปทรงของอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการประหยัดพลังงานการออกแบบอาคารโดยที่ใช้นโยบายการคิดที่เน้นถึงการลดอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยปรับอากาศ (S/A) จะมีส่วนช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างมากเช่น การออกแบบปรับอาคารให้มีสัดส่วน S/A ให้มีค่าน้อย

ที่สุดรวมถึงการเลือกปรับรูปร่างของอาคารทั้งในด้านผนังและรูปตัด องค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งความร้อนเหล่านี้จะกลายเป็นภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 5-4 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยที่เท่ากัน

รูปทรงอาคารเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นโดยมีผลร่วมโดยตรงกับตัวแปรเปลือกอาคาร เมื่อคิดสัดส่วนระหว่างพื้นที่เปลือกอาคารและพื้นที่ใช้สอยของอาคารเฉพาะส่วนปรับอากาศ (Surface Area to Usable Area Ratio, S/A) โดยตั้งสมมุติฐานว่าพื้นที่เปลือกของอาคารเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปกับการทำความเย็นให้เปลือกอาคารกลายเป็นภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ อาคารที่มีพื้นที่ใช้งานส่วนปรับอากาศ 1 ตารางหน่วย ถ้าอาคารนั้นมีพื้นที่เปลือกอาคารส่วนที่ยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้เกิดภาระการทำความเย็นมากยิ่งขึ้น การคำนวณสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและพื้นที่ใช้สอยของอาคารในที่นี่คิดเฉพาะพื้นที่ผิวของอาคารที่มีการควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนด โดยเฉพาะอาคารที่มีขนาดเล็กจะมีสัดส่วน S/A มากกว่าอาคารขนาดใหญ่

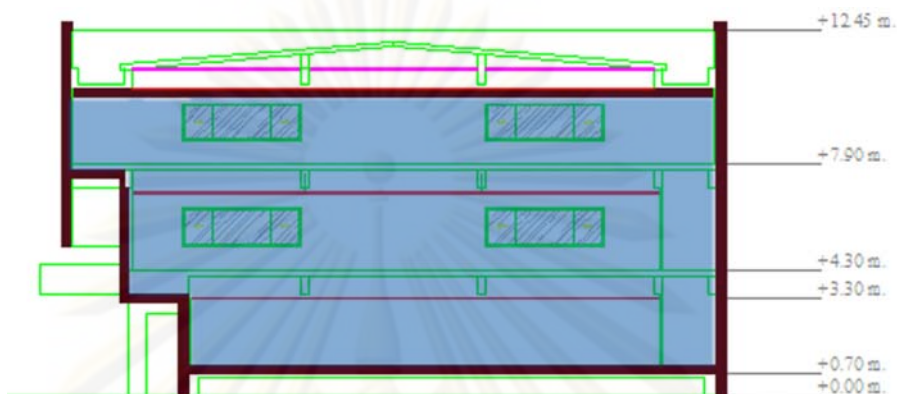
ในงานวิจัยชิ้นนี้ก็เช่นกันที่ได้เสนอไว้ในขั้นตอนการออกแบบปรับปรุงอาคารไว้ 2 กรณีเพื่อเป็นตัวอย่างการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของสัดส่วน S/A ดังนี้

กรณีที่ 1 (Option A) ปรับปรุงทั้งอาคาร Outreach Building มีสัดส่วน S/A เท่ากับ 2.11

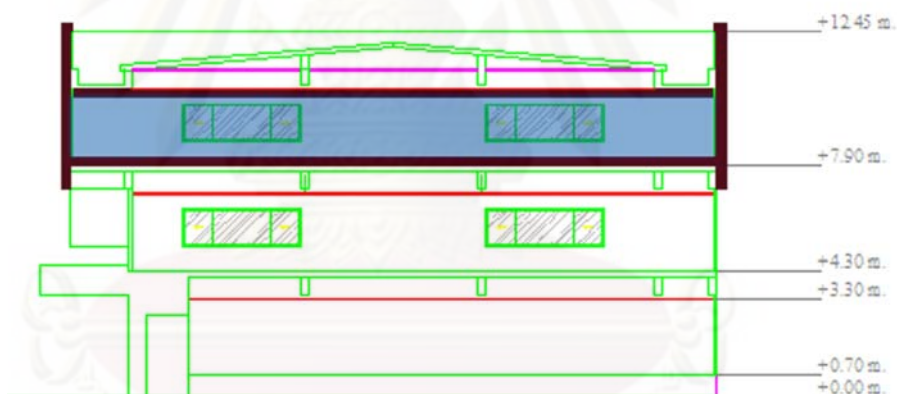
กรณีที่ 2 (Option B) ปรับปรุงอาคารเฉพาะส่วนสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่ง

สหประชาชาติ มีสัดส่วน S/A เท่ากับ 3

ซึ่งได้แจกแจงให้เห็นพื้นที่ใช้สอยและพื้นที่เปลือกอาคารที่ออกแบบและทำการปรับปรุงดัง
ภาพและตารางต่อไปนี้



กรณีที่ 1 (Option A) ดัชนี S/A = 2.11



กรณีที่ 2 (Option B) ดัชนี S/A = 3

ภาพที่ 5-5 แสดงพื้นที่การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี เปรียบเทียบสัดส่วน S/A

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-5 แสดงสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารและพื้นที่ใช้งานปรับอากาศในการออกแบบ
ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี

พื้นที่เปลือกอาคารกรณีศึกษาเปรียบเทียบ 2 กรณี							
ส่วน เปลือก อาคาร	รายละเอียด	กรณีที่ 1 (Option A)			กรณีที่ 2 (Option B)		
		อาคาร Outreach Building (ชั้น 1-3)			UNEP (ชั้น 3)		
		พื้นที่ (sq.m.)	อัตราส่วน ต่อพื้นที่ ปรับอากาศ %	อัตราส่วนต่อ พื้นที่เปลือก อาคาร %	พื้นที่ (sq.m.)	อัตราส่วนต่อ พื้นที่ปรับ อากาศ %	อัตราส่วน ต่อพื้นที่ เปลือก อาคาร %
ผนัง (ทั้งหมด)	ทิศใต้	253	11.01		110	12.7	
	ทิศตะวันออก	535	23.28		220	25.4	
	ทิศเหนือ	253	11.01		110	12.7	
	ทิศตะวันตก	535	23.28		220	25.4	
	รวม	1576	68.58	32.44	660	76.21	26.55
หลังคา	เหล็กรีด	720	31.33		720	83.14	
	คอนกรีต	216	9.40		216	24.94	
	รวม	936	40.73	19.27	936	108.08	37.65
พื้น	ภายใน	2298	100.00		866	100.00	
	ภายนอก	48	2.09		24	2.77	
	รวม	2346	102.09	48.29	890	102.77	35.80
ผนัง กระจก	ทิศใต้	41	1.78		17.31	2.00	
	ทิศตะวันออก	96.28	4.19		10.2	1.18	
	ทิศเหนือ	41	1.78		17.31	2.00	
	ทิศตะวันตก	112.24	4.88		20.96	2.42	
	รวม	290.52	12.64	5.98	65.77	7.59	2.65
ผนังทึบ	ทิศใต้	212.00	9.23		92.69	10.7	
	ทิศตะวันออก	438.72	19.09		209.80	24.23	
	ทิศเหนือ	212.00	9.23		92.69	10.7	
	ทิศตะวันตก	422.76	18.40		199.05	22.98	
	รวม	1,285.48	55.94	26.46	594.23	68.62	23.90
	รวมเปลือกอาคาร	4858	211.4	100	2486	287.07	100
	สัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคาร ต่อพื้นที่ปรับอากาศ		2.11			3	

จากตารางเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารของการออกแบบปรับปรุงอาคาร 2 กรณี จะเห็นว่า ค่า S/A ที่ได้ของกรณีที่ 1 น้อยกว่ากรณีที่ 2 ซึ่งส่งผลในการลงทุนปรับปรุงอาคาร เทียบกับระยะเวลาคืนทุนที่สั้นกว่ากรณีที่ 2 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5-6 แสดงรายละเอียดราคาการลงทุนออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี

ลำดับ	รายการ	ชนิดวัสดุ	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
			Outreach	UNEP
			ราคา(baht)	ราคา(baht)
1	ปรับปรุงผนังอาคาร	ผนัง 4" EIFS	2,570,960.00	1,345,410.00
2	ปรับปรุงฝ้าเพดาน	แผ่นไฟเบอร์กลาสหนา 9"	332,000.00	332,000.00
3	ปรับปรุงพื้นอาคาร	PU โฟมหนา 1 1/2"	412,500.00	518,750.00
			211,200.00	265,600.00
			264,000.00	332,000.00
4	ปรับปรุงหน้าต่าง	กระจก 3 ชั้นและวงกบU-PVC	2,324,160.00	480,000.00
			360,000.00	120,000.00
5	ปรับปรุงระบบปรับอากาศ	FCU & Fresh air units	1,500,000.00	500,000.00
รวม			7,974,820.00	3,893,760.00
10% ค่าดำเนินการ			797,482.00	389,376.00
7% VAT			558,237.40	272,563.20
3% TAX			239,244.60	116,812.80
รวมทั้งหมด			9,569,784.00	4,672,512.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-7 แสดงการเปรียบเทียบการลงทุนและระยะเวลาคืนทุนในการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 2 กรณี

รายการ	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	Base case	Improved	Base case	Improved
พลังงานการทำความเย็น (kwhr/mth)	117,647.34	14,873.13	39,215.78	4,957.71
ปริมาณการปลดปล่อยCO ₂ (kgCO ₂)	64,706.04	8,180.22	21,568.68	2,726.74
ค่าพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็น (บาท)	457,648.14	57856.4757	152,549.38	19285.4919
การลงทุนปรับปรุงอาคาร(ล้านบาท)	0	9.57	0	4.67
ลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้(บาท)	0	399,791.66	0	133,263.89
ระยะเวลาคู่มือทุน(ปี)	0	2	0	3

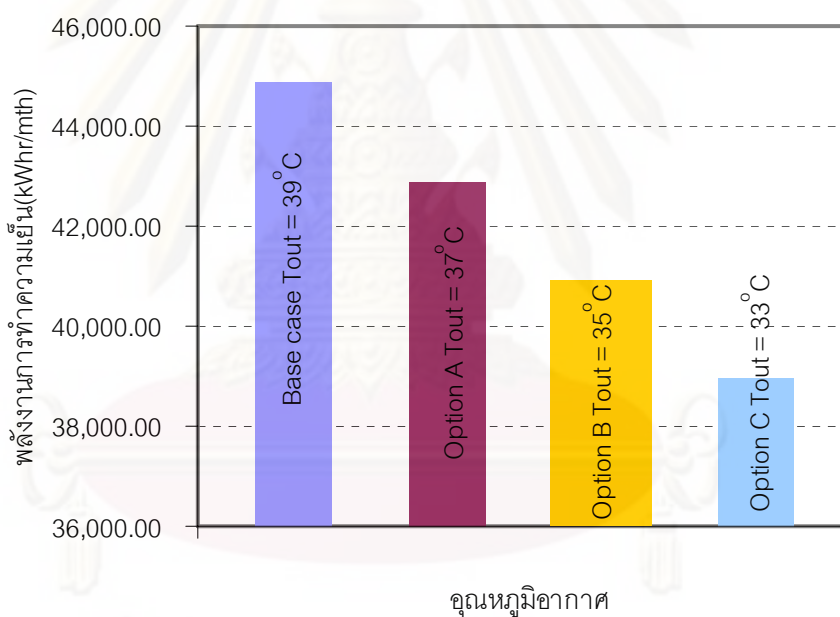
จากตารางเปรียบเทียบการลงทุน 2 กรณีดังกล่าว จะเห็นว่าทางเลือกการปรับปรุงอาคารตามกรณีที่ 1 มีการลงทุนต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งานน้อยกว่ากรณีที่ 2 และมีระยะการคืนทุนที่สั้นกว่ากรณีที่ 2 เช่นกัน ทั้งนี้จะเห็นว่าการลงทุนปรับปรุงอาคารส่วนใหญ่ เป็นการลงทุนส่วนเปลือกอาคารทั้งส่วนที่บดและโปร่งแสงรวมกัน สรุปได้ว่าอาคารที่มีอัตราส่วน S/A ต่ำ ซึ่งหมายถึงอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารสูง จะมีความคุ้มค่าในการลงทุนปรับปรุงอาคารมาก

3) ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมของอาคาร

สภาพแวดล้อมของอาคารมีอิทธิพลในการใช้พลังงานในการทำความเย็นในอาคาร การปรับปรุงสภาพแวดล้อมอาคาร มีส่วนช่วยให้ภาระการทำความเย็นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร เมื่อปรับปรุงสภาพภายนอกอาคารให้มีอุณหภูมิอากาศลดลงส่งผลให้พลังงานสิ้นเปลืองไปกับการทำความเย็นของอาคารลดลงด้วย ดังตารางที่ 5-8 ที่ได้คำนวณเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็นใน 4 กรณี เมื่อมีการปรับสภาพแวดล้อมให้มีอุณหภูมิภายนอกอาคารลดลงเป็น Option A มีอุณหภูมิภายนอกอาคาร 37°C Option B มีอุณหภูมิภายนอกอาคาร 35°C และ Option C มีอุณหภูมิภายนอกอาคาร 33°C

ตารางที่ 5-8 แสดงการเปรียบเทียบการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในด้านสภาพแวดล้อม

รายการ	Base case	Option A	Option B	Option C
	$T_{out} = 39^{\circ}\text{C}$	$T_{out} = 37^{\circ}\text{C}$	$T_{out} = 35^{\circ}\text{C}$	$T_{out} = 33^{\circ}\text{C}$
พลังงานการทำความเย็น(W/m^2)	69.63	66.58	63.53	60.48
พลังงานการทำความเย็นทั้งอาคาร (kWhr/mth)	44,864.96	42,899.59	40,934.22	38,968.85
ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท)	174,524.70	166,879.40	159,234.11	151,588.82
พลังงานในการทำความเย็นลดลง(%)	-	4.38	8.76	13.14



แผนภูมิที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในด้านสภาพแวดล้อม

ในด้านการลงทุนปรับปรุงสภาพแวดล้อมอาคารนั้น มีปัจจัยที่กว้างมาก สามารถปรับปรุงสภาพแวดล้อมได้ตั้งแต่วิธีที่ง่ายที่สุดด้วยงบประมาณน้อย ไปจนถึงการตกแต่งในราคาลงทุนที่มีราคาแพง จึงระบุในเชิงสัดส่วนทางคณิตศาสตร์ได้ยาก เช่น สถานที่ตั้งของอาคารที่จะทำการปรับปรุง สัดส่วนพื้นที่โดยรอบอาคารและพื้นที่ของตัวอาคาร ความสูงของอาคาร การบังเงาจากอาคารข้างเคียงหรือต้นไม้ เป็นต้น ในการปรับปรุงอาคาร ทำได้ทั้งวิธีที่ลงทุนน้อยถึงลงทุนมาก เช่น

ปลูกต้นไม้ ลดพื้นที่ตาดแข็งเป็นสนามหญ้า ชุดสระน้ำ เป็นต้น ตัวแปรนี้จึงขึ้นอยู่กับการจัดการงบประมาณของผู้ลงทุน

4) ตัวแปรด้านและสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นในอาคารอีกตัวแปรหนึ่ง หากเครื่องปรับอากาศพื้นสภาพการใช้งานและไม่ได้รับการบำรุงรักษาแล้ว จะทำให้พลังงานที่ใช้สิ้นเปลืองไป ตารางต่อไปนี้จะให้เห็นความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ หากมีการปรับปรุงระบบปรับอากาศในแต่ละระดับของสภาพเครื่องปรับอากาศเดิม

ตารางที่ 5-9 แสดงการเปรียบเทียบระดับการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและการประหยัดพลังงานทำความเย็น

ระดับการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ			ร้อยละที่ประหยัดพลังงานได้ (%)	
เบอร์ 0	เป็น	เบอร์ 5	33.91 %	ขึ้นไป
เบอร์ 1	เป็น	เบอร์ 5	25.22 %	ถึง 33.91 %
เบอร์ 2	เป็น	เบอร์ 5	16.52 %	ถึง 25.22 %
เบอร์ 3	เป็น	เบอร์ 5	7.83 %	ถึง 16.52 %
เบอร์ 4	เป็น	เบอร์ 5	น้อยกว่า	4.35 %

ส่วนการลงทุนปรับปรุงเครื่องปรับอากาศนั้น ไม่ว่าจะสภาพเครื่องปรับอากาศเดิมจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ระดับใด มูลค่าการลงทุนปรับปรุงหรือเปลี่ยนระบบเครื่องใหม่จะมีค่าเท่ากัน แต่อัตราส่วนที่แตกต่างกันมากคือ ผลการประหยัดพลังงานที่ได้จากการปรับปรุงระบบ ดังตาราง 5-9

5.2.2 แนวทางการประเมินและออกแบบปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน

ขั้นตอนการปรับปรุงอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้น เริ่มต้นด้วยการประเมินสภาพอาคารเดิมว่าอยู่ในระดับใดในตารางค่าดัชนีมาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร (Index Scoring) แล้วหาแนวทางการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสมและคุ้มค่าการลงทุน โดยสามารถใช้แบบฟอร์มอย่างง่ายต่อไปนี้เพื่อประยุกต์ใช้ในการประกอบการตัดสินใจแก่ผู้ต้องการปรับปรุงอาคารทั่วไป

แบบประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารและแนวทางการปรับปรุงอาคาร

ชื่ออาคาร:.....

ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเดิม

1	พื้นที่ปรับอากาศในอาคาร		a	ตร.ม.
2	พื้นที่เปลือกอาคารส่วนที่บแสง	รวม	b	ตร.ม.
	หลังคา		b1	ตร.ม.
	ผนังที่บ		b2	ตร.ม.
	พื้น		b3	ตร.ม.
3	พื้นที่เปลือกอาคารส่วนโปร่งแสง(กระจก)		c	ตร.ม.

$$S/A = (b+c)/a$$

ดัชนีประสิทธิภาพเชิงเดียวอยู่ในระดับ

4 ค่าการนำความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร

u ของหลังคา

u ของผนังที่บ

u ของพื้น

u ของกระจก

u1

u2

u3

u4

$$\sum U.S = (u1*b1)+(u2*b2)+(u3*b3)+(u4*c)$$

ดัชนีประสิทธิภาพเชิงเดียวอยู่ในระดับ

5 ขนาดเครื่องปรับอากาศ

—

btu

6 ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

เบอร์

—

$$1/COP = *$$

ดัชนีประสิทธิภาพเชิงเดียวอยู่ในระดับ

7 สภาพแวดล้อมอาคาร

อัตราส่วนพื้นที่ปลูกต้นไม้ใหญ่โดยรอบต่อพื้นที่ดินทั้งหมด

—

%

$$\Delta T = ** \text{ } ^\circ\text{C}$$

ดัชนีประสิทธิภาพเชิงเดียวอยู่ในระดับ

ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

$$E = S/A * \sum U.S * 1/COP * \Delta T$$

ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารอยู่ในระดับ

แนวทางประเมินความเป็นไปได้ในการปรับปรุงอาคารด้านการลงทุน

1	งบประมาณในการปรับปรุงอาคาร		d	บาท
2	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อเดือน		e	บาท
3	ค่าปรับปรุงอาคารส่วนที่บดแสง			
		พื้นที่อาคารส่วนที่บดแสง	f	ตร.ม.
		ราคาต่อหน่วย	g	บาท/ตร.ม.
		ราคารวม	F= f*g	บาท
4	ค่าปรับปรุงอาคารส่วนโปร่งแสง			
		พื้นที่อาคารส่วนโปร่งแสง	h	ตร.ม.
		ราคาต่อหน่วย	i	บาท/ตร.ม.
		ราคารวม	G= h*i	บาท
5	ค่าปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ			
		ขนาดเครื่องปรับอากาศ	j	btu.
		ราคาต่อหน่วย	k	บาท/12,000btu
		ราคารวม	H= (j*k)/12,000	บาท
6	ค่าปรับปรุงสภาพแวดล้อม			
		ราคาต่อหน่วย	l	ตร.ม.
		ราคาต่อหน่วย	m	บาท/ตร.ม.
		ราคารวม	I= l*m	บาท
		รวมราคาประเมินในการลงทุนปรับปรุงอาคาร	J= F+G+H+I	บาท
		ระยะเวลาคืนทุน	K= J/(e*12)	ปี
		เปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการลงทุนกับงบประมาณ	L= d-J	บาท

จากแบบประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารและแนวทางการปรับปรุงอาคารเบื้องต้น เมื่อเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการลงทุนแล้ว พบว่างบประมาณอาจไม่เพียงพอในการปรับปรุงอาคารทั้งหมดในครั้งเดียว จึงมีดัชนีเพื่อประกอบการตัดสินใจในลำดับความสำคัญของการปรับปรุงอาคารแต่ละระยะดังนี้

ลำดับที่ 1 สัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ปรับอากาศ

ลำดับที่ 2 วัสดุเปลือกอาคาร

ลำดับที่ 3 ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

ลำดับที่ 4 สภาพแวดล้อม

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ระบบเปลือกอาคาร

เป็นกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมากที่สุดเป็นอันดับแรก ดังนั้นจึงมีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น และกลายเป็นภาระในการรักษาความเย็นของระบบปรับอากาศโดยตรง การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุในระบบเปลือกอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นคุณสมบัติด้านความร้อน (Thermal Properties) ของวัสดุหรือองค์ประกอบกันเป็นเปลือกอาคาร จะมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ระบบปรับอากาศต้องนำไปปรับสภาพให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ถ้าเปลือกอาคารมีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกได้มาก ก็จะทำให้สามารถลดภาระการทำความเย็นลงได้มากด้วย

จากตารางเปรียบเทียบพื้นที่เปลือกอาคารและการลงทุนของการปรับปรุงอาคารกรณี 1 และกรณีที่ 2 นั้น เห็นได้ชัดเจนว่า แนวทางการปรับปรุงอาคารที่ได้เสนอสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นได้จริง และหากนำไปประยุกต์ในการปรับปรุงอาคารในกรณีที่ 1 ที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้งานมากกว่ากรณีที่ 2 ก็จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ และมีระยะเวลาการคืนทุนสั้นลง

5.3.2 ขั้นตอนการปรับปรุงอาคาร

การปรับปรุงอาคารเพื่อการวิจัยโดยแบ่งระยะการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสม ควรแบ่งเป็นทีละขั้นตอนเพื่อเก็บข้อมูลตัวแปรที่ระบุได้ชัดเจน เห็นผลกระทบของตัวแปรที่เกิดขึ้นได้แม่นยำขึ้นคือ

ระยะที่ 1 ปรับปรุงฉนวนเปลือกอาคารส่วนที่บดแสง

ระยะที่ 2 ปรับปรุงฉนวนเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสง

ระยะที่ 3 ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

แต่สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยไม่สามารถกำหนดระยะเวลาของขั้นตอนการทำงานได้อย่างเป็นอิสระ เนื่องจากเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย ในส่วนการปรับปรุงอาคารแต่ละระยะนี้ ในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ได้ทิ้งช่วงการปรับปรุงอาคารเป็นระยะเวลานานมาก และเร่งการทำงานในระยะที่ 2 ที่รวมงานปรับปรุงฉนวนเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสงและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศไว้พร้อมกัน

5.3.3 การปรับปรุงสภาพแวดล้อมอาคาร

สภาพแวดล้อมอาคารเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในการทำความเย็น สภาพแวดล้อมนั้นมีการใช้วัสดุดูดซับความร้อนแล้วแผ่รังสีออกมา เช่น ลานคอนกรีต หรือมีการสะท้อนแสงจากกระจกสะท้อนแสง (Reflective Glass) อาคารข้างเคียง ไม่มีบริเวณบังเงา (Shading) ให้กับสภาพแวดล้อมรอบตัวอาคารเลย ซึ่งการแก้ไขปรับปรุงนั้นต้องพิจารณาข้อจำกัดว่าสามารถทำได้ในขอบเขตเพียงใด สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ ไม่สามารถทำการปรับปรุงสภาพแวดล้อมได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านขอบเขตความรับผิดชอบของสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติและความร่วมมือระหว่างหน่วยงานกับสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย แต่หากในอนาคตทางสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียจะริเริ่มโครงการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ก็จะส่งผลให้ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากสภาพแวดล้อมตัวอาคารลดลง

5.3.4 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของอาคารกรณีศึกษา

ค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาได้ทำการเรียกเก็บจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย โดยแยกการคำนวณพลังงานไฟฟ้าเป็น 2 ส่วนคือ พลังงานไฟฟ้าส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบ

ทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้าส่วนระบบทำความเย็น เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นของอาคารกรณีศึกษาได้ถูกแยกเป็นภาระของระบบ Central Chiller Plant

1) พลังงานไฟฟ้าส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็น ได้ถูกบันทึกและคำนวณเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจากมิเตอร์ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา โดยมีอัตราการจัดเก็บค่าพลังงานต่อหน่วยเท่ากับค่าเฉลี่ยรายเดือนของพลังงานไฟฟ้ารวมของทั้งสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ที่ใช้อัตราการจัดเก็บโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคครั้งเดียว แบบ TOD (Time of Day Rate)

2) พลังงานไฟฟ้าส่วนระบบทำความเย็น ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าเป็นภาระโดยตรงของ Central Chiller Plant และไม่มีมิเตอร์ตรวจวัดพลังงานการทำความเย็นเฉพาะส่วนของอาคารมาก่อน ทางผู้จัดเก็บค่าไฟฟ้าจึงได้ประมาณค่าพลังงานในส่วนทำความเย็นจากขนาดเครื่องเป่าลมเย็น (Fan coil units)

แต่เมื่อได้ทำการวิจัยชิ้นนี้ ได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นโดยตรงที่ท่อจ่ายน้ำเย็นส่วนอาคารกรณีศึกษา พบว่าการจัดเก็บค่าพลังงานโดยการคำนวณจากขนาดเครื่องทำความเย็นนั้นคลาดเคลื่อนไปมาก เนื่องจากประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นต่ำ และพันสภาพอายุการใช้งาน

ตารางที่ 5-10 แสดงการคำนวณระยะเวลาคืนทุนในกรณีอ้างอิงการจัดเก็บค่าไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงอาคารโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

วิธีคำนวณค่าไฟฟ้าโดย AIT	Base case	หลังการปรับปรุงอาคาร
ค่าไฟฟ้าระบบปรับอากาศต่อเดือน(บาท/เดือน)	52,000	19,285
ลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้(บาท/เดือน)		32,715
ระยะเวลาคืนทุน(ปี)		10.8

ดังนั้นในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษานี้จึงคลาดเคลื่อนถ้าคำนวณค่าพลังงานจากข้อมูลค่าไฟฟ้าที่จัดเก็บโดยผู้จัดเก็บเดิม ผู้วิจัยจึงคำนวณค่าพลังงาน

ไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงอาคารโดยการคำนวณจากพลังงานการทำความเย็นจริงคูณกับค่าไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนของสถาบันเทคโนโลยี

และเนื่องจากอาคารกรณีศึกษาได้ทำการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพลังงานการทำความเย็นไว้แล้ว จึงขอเสนอให้ผู้จัดเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าได้ทำการจัดเก็บจากอุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งนี้แทนการคำนวณขนาดเครื่องทำความเย็นเดิม

5.3.5 การใช้มาตรฐานชี้วัดคุณภาพอาคาร

เนื่องจากการศึกษาวิจัยชิ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการนำร่องของสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ในแนวคิดคาร์บอนสมดุลที่มี 6 หลักการดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น โดยในหลักการสุดท้ายที่เป็นผลจาก 5 หลักการแรก ได้แก่ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การหมุนเวียนพลังงานเพื่อกลับมาใช้ใหม่ การอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ การอนุรักษ์ทรัพยากรกระดาษ และการปรับปรุงสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ เพื่อได้รับการรับรองจากมาตรฐานอาคารสีเขียว (The Leadership in Energy and Environmental Design: LEED) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เป็นดัชนีชี้วัดอาคารในสภาพแวดล้อมระดับภูมิภาคประเทศที่อยู่ในเขตร้อนแห่งนี้ จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการชี้วัดคุณภาพอาคารในเขตร้อนชื้นเช่นประเทศไทยได้

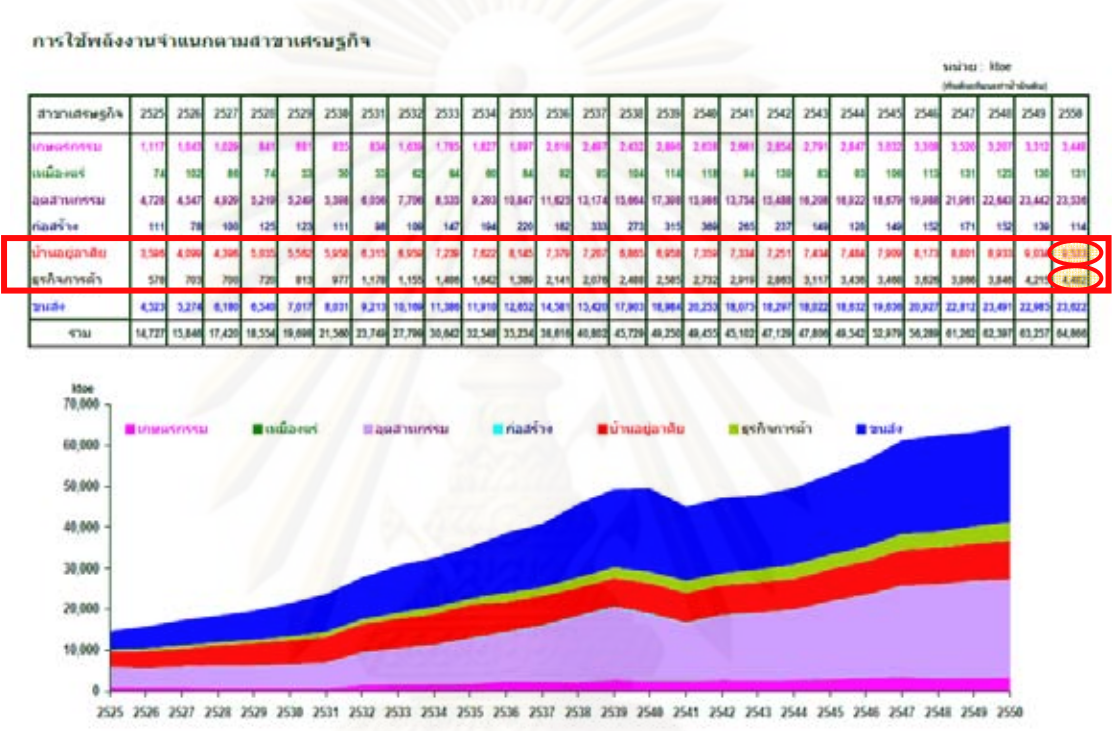
มาตรฐานอื่นที่สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพอาคารในเขตร้อนชื้นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสภาพภูมิประเทศในเขตร้อนที่ ได้แก่ CASBEE BREEAM GREEN MARK และ GREEN STAR เป็นต้น

5.3.6 การประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงอาคารทั่วไปเพื่อการขยายผล

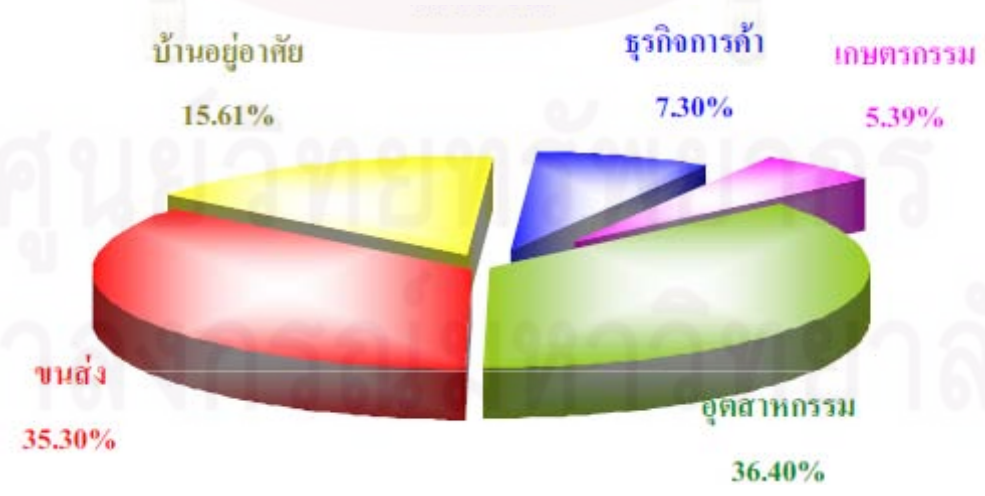
งานวิจัยชิ้นนี้ได้ผลในเชิงประจักษ์แล้วว่า การปรับปรุงอาคารตามแนวทางที่ได้นำเสนอสามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่า 50 % ดังนั้นจึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และลดการบริโภคพลังงาน ซึ่งเป็นผลโดยทางอ้อมในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของก๊าซเรือนกระจก และมีผลกระทบทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน

จากสถานการณ์การบริโภคพลังงานที่มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ดังแผนภูมิที่ 5-6 หากแนวทางการปรับปรุงอาคารที่ได้ทำการวิจัยนี้ได้มีการขยายผลในเชิงนโยบายจากภาครัฐจนกระทั่งถึงการปฏิบัติจริงโดยเริ่มในส่วนอาคารภาคธุรกิจจะสามารถลดการใช้พลังงานและการปลดปล่อย

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของทั้งประเทศไทยลงได้ไม่น้อยแม้จะเป็นสัดส่วนเพียง 7.3 % (ประมาณ 19 GWh/ปี) ของการใช้พลังงานจากทุกภาคส่วนของประเทศก็ตาม และหากมีการสนับสนุนอย่างจริงจังก็อาจขยายไปยังส่วนบ้านและที่อยู่อาศัย ซึ่งเป็นสัดส่วนถึง 15.61% ของการใช้พลังงานทั้งประเทศแล้ว คาดว่าจะสามารถลดภาระการนำเข้าพลังงานและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของประเทศไทยต่อชั้นบรรยากาศโลกได้ในอนาคต



แผนภูมิที่ 5-3 แสดงรายงานสถิติการใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ โดยกระทรวงพลังงาน



แผนภูมิที่ 5-4 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ (ที่มา: สถานการณ์พลังงานกุมภาพันธ์ 2552, กระทรวงพลังงาน)

ตารางที่ 5-11 แสดงการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงได้จากการขยายผล

การใช้พลังงานปี 2551	135,449	$\times 10^6$	kWh
(ที่มา:รายงานไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2551,กระทรวงพลังงาน)			
การใช้พลังงานภาคธุรกิจการค้า 7.3%	9,888	$\times 10^6$	kWh
ลดการใช้พลังงานลงได้ 50%	4,944	$\times 10^6$	kWh
การใช้พลังงานภาคที่อยู่อาศัย 15.6%	21,130	$\times 10^6$	kWh
ลดการใช้พลังงานลงได้ 50%	10,565	$\times 10^6$	kWh
รวมปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้จากการปรับปรุงอาคารภาคธุรกิจการค้าและที่อยู่อาศัยได้	15,508	$\times 10^6$	kWh
สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้	8,530	$\times 10^6$	KgCO ₂ /yr
คาร์บอนเครดิต (1ton/credit)	8,530,000		Credit/yr

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดการผลิตลงได้ สามารถทำการซื้อขายในตลาดคาร์บอน (Carbon market) ซึ่งเมื่อทำการขยายผลไปสู่การปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในภาคธุรกิจการค้าและที่อยู่อาศัยแล้ว ประเทศไทยสามารถขายคาร์บอนเครดิตได้ 8,530,000 เครดิตต่อปี

ผลประโยชน์เชิงคุณภาพในด้านอื่นที่ตามมาคือ คุณภาพชีวิตในด้านสุขภาพของประชากรในประเทศก็จะดีขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ดี ลดภาระการแก้ปัญหาประชากรในด้านสาธารณสุขเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้นผลผลิตในเชิงปริมาณและคุณภาพการผลิตในภาคต่างๆ ก็จะได้เพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัมปนาท กระภูซัย. แนวทางการสร้างแบบประเมินอาคารปรับอากาศเพื่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

จิตพัฒน์ ดอเรืองวิวัฒน์. การสร้างแบบประเมินบ้านรักษานิเวศสำหรับภูมิประเทศร้อนชื้น.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

ดลยา ศิริปัฐ. แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน: กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาล จ.นครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ตระการ ก้าวกลีกรรม. คู่มือฉนวนความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: นำอักษรกราฟิกพิมพ์, 2537.

รวิช ควรประเสริฐ. การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในภูมิอากาศร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กองอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536.

ศักดิ์ดา เทียนันทวงศ์. การออกแบบบ้านแถวเพื่อใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

สุนทร บุญญาธิการ, ศ.ดร. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเอส พับลิชชิ่งเฮ้าส์, 2545.

อัครเดช สีนุกฤต. การปรับอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ, 2543.

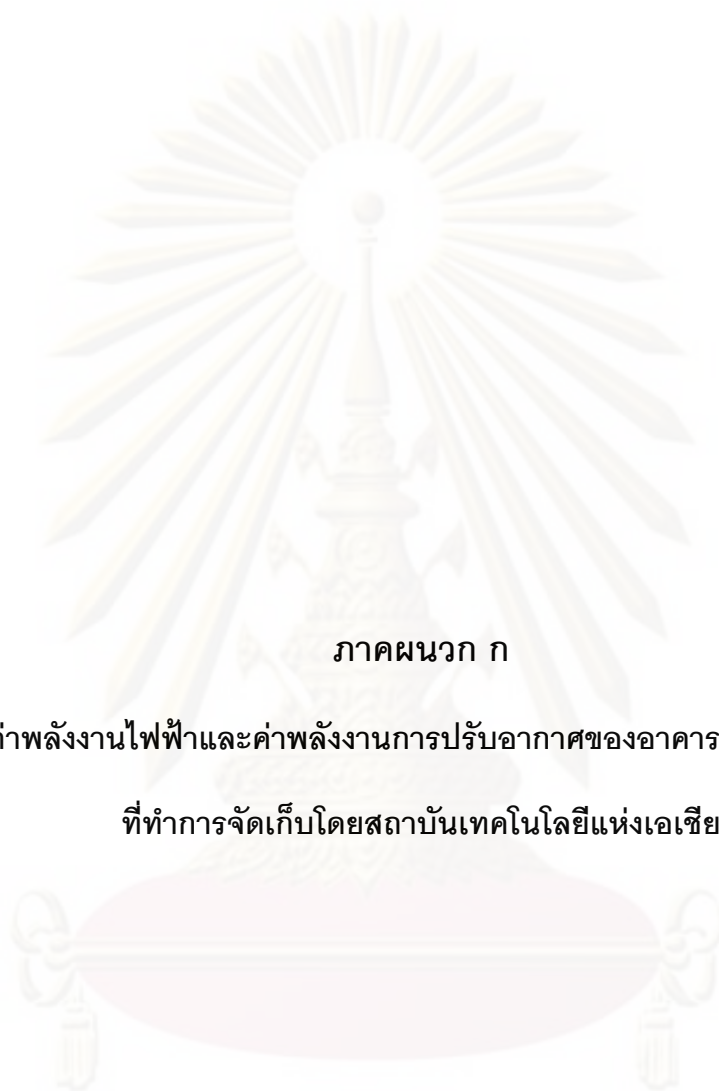
ภาษาอังกฤษ

- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 1997
ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS SIXTH EDITION. Georgia, Atlanta:
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
Inc., 1997.
- Benjamin Stein, John S. Reynolds and William J. McGuinness. Mechanical and Electrical
Equipment for Buildings. Seventh Edition VOL 1. The Republic of Singapore:
John Wiley & Sons, 1986.
- Egan, M. David, Concepts in thermal comfort. Eaglewood Cliffs, New Jersey: Prentice-
Hall Inc., 1975.
- Hua Xun. Thermal Performance of the Building Envelope. Master' Thesis, Department of
Engineering School of Civil Engineer Asian Institute of Technology, 1995.
- Phanu Kritoporn. Final Report, Study on Electricity Sector Baselines in Thailand, pp.10-
14.: ERM-Siam, 2005.6t
- William H. Severn and Julian R. Fellows. Air Conditioning and Refrigeration. John Wiley
and Sons Inc., 1958.
- Woranuch Jangsawang. Thermal Performance of Opaque Wall and Cost/Benefit
Analysis. Master's Thesis, Department of Energy Program Asian Institute of
Technology, 1995.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานการปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษา

ที่ทำการจัดเก็บโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ELECTRICITY&AIR-CONDITIONING CONSUMPTION OF OUTREACH BUILDING 2005

Month	Office	ELECTRICITY CONSUMTION		AIR-CONDITIONING CONSUMPTION				Grand Total
		Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	
Jan'05	WWF (L)	49.98	1,722.93	256	170640	14.22	9,847.36	731040
	WWF (R)	261.00	8,997.12	256	188600	15.72	10,886.12	
	Wintory	41.00	1,413.34	40	18000	1.5	1,038.75	
	ADPC	427.00	14,719.42	721	545000	45.42	31,453.40	
	UNEP	334.00	11,513.55	487	731000	60.92	42,187.16	
	TOTAL	1112.98	38,366.36	1760	1653240	137.78	95,412.79	133,779.15
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Feb'05	WWF (L)	49.98	1,688.52	256	170640	14.22	8,023.66	115,342.77
	WWF (R)	261.00	8,817.44	256	188600	15.72	8,870.04	
	Wintory	41.00	1,385.11	40	18000	1.5	846.38	
	ADPC	427.00	14,425.46	721	545000	45.42	25,628.32	
	UNEP	334.00	11,283.62	487	731000	60.92	34,374.22	
	TOTAL	1112.98	37,600.15	1760	1653240	137.78	77,742.62	115,342.77
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
March'05	WWF (L)	49.98	1,722.93	256	170640	14.22	9,858.04	133,882.61
	WWF (R)	563.00	8,997.12	256	188600	15.72	10,897.92	
	Wintory	56.00	1,413.34	40	18000	1.5	1,039.88	
	ADPC	983.00	14,719.42	721	545000	45.42	31,487.50	
	UNEP	788.00	11,513.55	487	731000	60.92	42,232.91	
	TOTAL	2439.98	38,366.36	1760	1653240	137.78	95,516.25	133,882.61
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
April'05	WWF (L)	49.98	1,722.93	256	170640	14.22	7,425.27	71,874.66
	WWF (R)	258.00	8,997.12	256	188600	15.72	8,208.53	
	Wintory	26.00	1,413.34	40	18000	1.5	783.26	
	UNEP	464.00	11,513.55	487	731000	60.92	31,810.66	
		TOTAL	797.98	23,646.94	1039	1108240	92.36	
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
May'05	WWF (L)	0.00	-	256	170640	14.22	7,288.68	111,344.42
	WWF (R)	279.00	9,374.40	256	188600	15.72	8,057.52	
	Wintory	18.00	604.80	40	18000	1.5	768.85	
	ADPC	500.00	16,800.00	721	545000	45.42	23,280.71	
	UNEP	415.00	13,944.00	487	731000	60.92	31,225.46	
	TOTAL	1212.00	40,723.20	1760	1653240	137.78	70,621.22	111,344.42
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
June'05	WWF (L)	0.00	-	256	170640	14.22	7,228.81	124,532.68
	WWF (R)	275.00	9,273.00	256	188600	15.72	7,991.34	
	Wintory	36.00	1,213.92	40	18000	1.5	762.53	
	ADPC	828.00	27,920.16	721	545000	45.42	23,089.49	
	UNEP	477.00	16,084.44	487	731000	60.92	30,968.99	
	TOTAL	1616.00	54,491.52	1760	1653240	137.78	70,041.16	124,532.68

Month	Office	ELECTRICITY CONSUMTION		AIR-CONDITIONING CONSUMTION				Grand Total
		Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	
		July'05	WWF (L)	0.00	-	256	170640	
	WWF (R)	265.00	8,999.40	256	188600	15.72	8,220.23	
	Wintory	27.00	916.92	40	18000	1.5	8,220.23	
	ADPC	1003.00	34,061.88	721	545000	45.42	23,750.82	
	UNEP	414.00	14,059.44	487	731000	60.92	31,856.01	
	TOTAL	1709.00	58,037.64	1760	1653240	139.28	72,047.29	130,084.93
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
August'05	WWF (L)	32.00	1,082.88	256	170640	15.72	8,707.79	
	WWF (R)	312.00	10,558.08	256	188600	15.72	8,707.79	
	Wintory	0.00	-	0	0	0	-	
	ADPC	319.00	10,794.96	721	545000	45.42	25,159.53	
	UNEP	505.00	17,089.20	487	731000	60.92	33,745.46	
	TOTAL	1168.00	39,525.12	1720	1635240	137.78	76,320.57	115,845.69
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Sept'05	WWF (L)	22.00	747.12	256	188640	15.72	9,115.03	
	WWF (R)	255.00	8,659.80	256	188600	15.72	9,115.03	
	Wintory	0.00	-	0	0	0	-	
	ADPC	515.00	17,489.40	721	545000	45.42	26,336.18	
	UNEP	819.00	27,813.24	487	731000	60.92	35,323.65	
	TOTAL	1611.00	54,709.56	1720	1653240	137.78	79,889.89	134,599.45
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Oct'05	WWF (L)	25.00	882.00	256	188640	14.22	9,432.97	
	WWF (R)	258.00	9,102.24	256	188600	15.72	9,432.97	
	Wintory	0.00	-	0	0	0	-	
	ADPC	415.00	14,641.20	721	545000	45.42	27,254.79	
	UNEP	394.00	13,900.32	487	731000	60.92	36,555.75	
	TOTAL	1092.00	38,525.76	1720	1653240	136.28	82,676.48	121,202.24
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Nov'05	WWF (L)	24.00	852.48	256	188640	14.22	10,009.39	
	WWF (R)	289.00	10,265.00	256	188600	15.72	10,009.39	
	Wintory	0.00	-	0	0	0	-	
	ADPC	393.00	13,959.36	721	545000	45.42	28,920.26	
	UNEP	449.00	15,948.48	487	731000	60.92	38,789.57	
	TOTAL	1155.00	41,025.32	1720	1653240	136.28	87,728.61	128,753.93
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Dec'05	WWF (L)	17.00	624.24	256	188640	14.22	10,748.28	
	WWF (R)	260.00	9,547.20	256	188600	15.72	10,748.28	
	Wintory	0.00	-	0	0	0	-	
	ADPC	482.00	17,699.04	721	545000	45.42	31,055.15	
	UNEP	330.00	12,117.60	487	731000	60.92	41,653.01	
	TOTAL	1089.00	39,988.08	1720	1653240	136.28	94,204.72	134,192.80

ELECTRICITY&AIR-CONDITIONING CONSUMPTION OF OUTREACH BUILDING 2006

Month	Office	ELECTRICITY CONSUMPTION		AIR-CONDITIONING CONSUMPTION				Grand Total
		Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	
Jan'06	WWF (L)	22.00	786.72	256	188640	15.72	9,408.50	
	WWF (R)	238.00	8,510.88	256	188600	15.72	9,408.50	
	ADPC	455.00	16,270.80	721	545000	45.42	27,184.11	
	UNEP	367.00	13,123.92	487	731000	60.92	36,460.94	
	TOTAL	1082.00	38,692.32	1720	1653240	137.78	82,462.05	121,154.37
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Feb'06	WWF (L)	27.00	1,040.04	256	188640	15.72	8,937.62	
	WWF (R)	261.00	10,053.72	256	188600	15.72	8,937.62	
	ADPC	463.00	17,834.76	721	545000	45.42	25,823.58	
	UNEP	397.00	15,292.44	487	731000	60.92	34,636.12	
	TOTAL	1148.00	44,220.96	1720	1653240	137.78	78,334.94	122,555.90
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
March'06	WWF (L)	24.00	901.44	256	188640	15.72	10,963.47	
	WWF (R)	281.00	10,554.36	256	188600	15.72	10,963.47	
	ADPC	416.00	15,624.96	721	545000	45.42	31,676.89	
	UNEP	367.00	13,784.52	487	731000	60.92	42,486.92	
	TOTAL	1088.00	40,865.28	1720	1653240	137.78	96,090.75	136,956.03
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
April'06	WWF (L)	21.00	796.32	256	188640	15.72	8,222.33	
	WWF (R)	242.00	9,176.64	256	188600	15.72	8,222.33	
	ADPC	463.00	17,556.96	721	545000	45.42	23,756.89	
	UNEP	401.00	15,205.92	487	731000	60.92	31,864.16	
	TOTAL	1127.00	42,735.84	1720	1653240	137.78	72,065.71	114,801.55
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
May'06	WWF (L)	24.00	912.96	256	188640	14.22	8,117.92	
	WWF (R)	278.00	10,575.12	256	188600	15.72	8,117.92	
	ADPC	481.00	18,297.24	721	545000	45.42	23,455.21	
	UNEP	499.00	18,981.96	487	731000	60.92	31,459.53	
	TOTAL	1282.00	48,767.28	1720	1653240	136.28	71,150.58	119,917.86
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
June'06	WWF (L)	24.00	936.00	256	188640	15.72	8,378.64	
	WWF (R)	292.00	11,388.00	256	188600	15.72	8,378.64	
	ADPC	453.00	17,667.00	721	545000	45.42	24,208.51	
	UNEP	504.00	19,656.00	487	731000	60.92	32,469.89	
	TOTAL	1273.00	49,647.00	1720	1653240	137.78	73,435.68	123,082.68
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
July'06	WWF (L)	23.00	891.48	256	188640	15.72	10,329.99	
	WWF (R)	264.00	10,232.64	256	188600	15.72	10,329.99	
	ADPC	1003.00	15,814.08	721	545000	45.42	29,846.58	
	UNEP	414.00	17,325.72	487	731000	60.92	40,032.00	
	TOTAL	1704.00	44,263.92	1720	1653240	137.78	90,538.56	134,802.48

Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Aug'06	WWF (L)	28.00	1,085.28	256	188640	15.72	11,998.12	
	WWF (R)	300.00	11,628.00	256	188600	15.72	11,998.12	
	ADPC	862.00	33,411.12	721	545000	45.42	34,666.53	
	UNEP	451.00	17,480.76	487	731000	60.92	46,496.53	
	TOTAL	1641.00	63,605.16	1720	1653240	137.78	105,159.30	168,764.46
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Sep'06	WWF (L)	28.00	1,102.08	256	188640	15.72	11,512.47	
	WWF (R)	316.00	12,437.76	256	188600	15.72	11,512.47	
	ADPC	475.00	18,696.00	721	545000	45.42	33,263.12	
	UNEP	401.00	15,783.36	487	731000	60.92	44,614.47	
	TOTAL	1220.00	48,019.20	1720	1653240	137.78	100,902.53	148,921.73
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Oct'06	WWF (L)	23.00	874.92	256	18640	15.72	10,398.16	
	WWF (R)	261.00	9,928.44	256	188600	15.72	10,389.16	
	ADPC	453.00	17,232.12	721	545000	45.42	30,043.54	
	UNEP	357.00	13,580.28	487	731000	60.92	40,296.18	
	TOTAL	1094.00	41,615.76	1720	1483240	137.78	91,127.04	132,742.80
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Nov'06	WWF (L)	26.00	998.40	256	188640	15.72	12,956.65	
	WWF (R)	1263.00	48,499.20	256	188600	15.72	12,956.65	
	ADPC	469.00	18,009.60	721	545000	45.42	37,435.82	
	UNEP	350.00	13,440.00	487	731000	60.92	50,211.14	
	TOTAL	2108.00	80,947.20	1720	1653240	137.78	113,560.26	194,507.46
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Dec'06	WWF (L)	20.00	796.80	256	188640	15.72	11,675.11	
	WWF (R)	266.00	10,597.44	256	188600	15.72	11,675.15	
	ADPC	404.00	16,095.36	721	545000	45.42	33,733.17	
	UNEP	318.00	12,669.12	487	731000	60.92	45,244.93	
	TOTAL	1008.00	40,158.72	1720	1653240	137.78	102,328.36	142,487.08

ที่มา: แผนก Physical Plant, สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ELECTRICITY&AIR-CONDITIONING CONSUMPTION OF OUTREACH BUILDING 2007

Month	Office	ELECTRICITY CONSUMTION		AIR-CONDITIONING CONSUMPTION				Grand Total
		Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	
Jan'07	WWF (L)	22.00	942.48	256	188640	15.72	13,774.06	
	WWF (R)	260.00	11,138.40	256	188600	15.72	13,774.06	
	ADPC	402.00	17,221.68	721	545000	45.42	39,797.58	
	UNEP	310.00	13,280.40	487	731000	60.92	53,378.87	
	TOTAL	994.00	42,582.96	1720	1653240	137.78	120,724.57	163,307.53
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Feb'07	WWF (L)	22.00	942.48	256	188640	15.72	10,468.96	
	WWF (R)	271.00	11,609.64	256	188600	15.72	10,468.96	
	ADPC	539.00	23,090.76	721	545000	45.42	30,248.10	
	UNEP	468.00	20,049.12	487	731000	60.92	40,570.55	
	TOTAL	1300.00	55,692.00	1720	1653240	137.78	91,756.57	147,448.57
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
March'07	WWF (L)	27.00	1,156.68	256	188640	15.72	12,008.75	
	WWF (R)	0.00	-	256	188600	15.72	12,008.75	
	ADPC	401.00	17,178.84	721	545000	45.42	34,697.04	
	UNEP	570.00	24,418.80	487	731000	60.92	46,537.73	
	TOTAL	998.00	42,754.32	1720	1653240	137.78	105,252.27	148,006.59
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
April'07	WWF (L)	19.00	813.96	256	188640	15.72	11,340.47	
	WWF (R)	130.00	5,569.20	256	188600	15.72	11,340.47	
	ADPC	494.00	21,162.96	721	545000	45.42	32,766.16	
	UNEP	604.00	25,875.36	487	731000	60.92	43,947.91	
	TOTAL	1247.00	53,421.48	1720	1653240	137.78	99,395.01	152,816.49
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
May'07	WWF (L)	26.00	1,045.20	256	188640	15.72	9,584.26	
	WWF (R)	327.00	13,145.40	256	188600	15.72	9,584.26	
	ADPC	604.00	24,280.80	721	545000	45.42	27,691.94	
	UNEP	526.00	21,145.20	487	731000	60.92	37,142.07	
	TOTAL	1483.00	59,616.60	1720	1653240	137.78	84,002.53	143,619.13
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
June'07	WWF (L)	27.00	1,156.68	112	188640	15.72	12,986.36	
	WWF (R)	207.00	8,867.88	256	188600	15.72	12,986.36	
	ADPC 1	21.00	899.64	112	188640	15.72	12,986.36	
	ADPC 2	397.00	17,007.48	721	545000	45.42	37,521.67	
	UNEP	535.00	22,919.40	487	731000	60.92	50,326.29	
	TOTAL	1187.00	50,851.08	1688	1841880	153.5	126,807.04	177,658.12

Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
July'07	WWF (L)	22.00	1,017.36	112	188640	15.72	12,847.97	
	WWF (R)	260.00	7,799.76	256	188600	15.72	12,847.97	
	ADPC 1	20.00	2,512.00	112	188640	15.72	12,847.97	
	ADPC 2	552.00	20,799.36	721	545000	45.42	33,921.82	
	UNEP	310.00	20,158.80	487	731000	60.92	49,789.98	
	TOTAL	1164.00	52,287.28	1688	1841880	153.5	122,255.71	174,542.99
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
August'07	WWF (L)	19.00	713.00	112	188640	15.72	11,417.29	
	WWF (R)	243.00	9,127.08	256	188600	15.72	11,417.29	
	ADPC 1	233.00	29,171.60	112	188640	15.72	11,417.29	
	ADPC 2	556.00	20,883.36	721	545000	45.42	32,828.36	
	UNEP	535.00	20,094.60	487	731000	60.92	20,094.60	
	TOTAL	1586.00	79,989.64	1688	1841880	153.5	87,174.83	167,164.47
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
September'07	WWF (L)	11.00	450.12	112	188640	15.72	11,417.29	
	WWF (R)	200.00	8,184.00	256	188600	15.72	11,417.29	
	ADPC 1	378.00	51,559.20	112	188640	15.72	11,417.29	
	ADPC 2	477.00	19,518.84	721	545000	45.42	33,921.82	
	UNEP	803.00	32,885.93	487	731000	60.92	45,497.96	
	TOTAL	1869.00	112,598.09	1688	1841880	153.5	113,671.65	226,269.74
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
October'07	WWF (L)	6.00	228.96	144	188640	15.72	12,460.80	
	WWF (R)	236.00	9,005.76	256	188600	15.72	12,460.80	
	ADPC 1	993.00	78,228.00	112	188640	15.72	12,460.80	
	ADPC 2	572.00	21,827.52	721	545000	45.42	36,003.15	
	UNEP	535.00	18,583.92	487	731000	60.92	48,289.56	
	TOTAL	2342.00	127,874.16	1720	1841880	153.5	121,675.11	249,549.27
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
November'07	WWF (L)	2.00	74.40	144	188640	15.72	13,338.94	
	WWF (R)	217.00	8,072.40	256	188600	15.72	13,338.94	
	ADPC 1	651.00	80,724.00	112	188640	15.72	13,338.94	
	ADPC 2	548.00	20,385.60	721	545000	45.42	38,540.38	
	UNEP	517.00	19,232.40	487	731000	60.92	51,692.64	
	TOTAL	1935.00	128,488.80	1720	1841880	153.5	130,249.84	258,738.64
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
December'07	WWF (L)	2.00	79.92	144	188640	15.72	-	
	WWF (R)	203.00	8,111.88	256	188600	15.72	12,110.69	
	ADPC 1	619.00	82,450.80	112	188640	15.72	5,300.35	
	ADPC 2	429.00	17,142.84	721	545000	45.42	27,029.44	
	UNEP	238.00	9,510.48	487	731000	60.92	57,337.68	
	TOTAL	1491.00	117,295.92	1720	1841880	153.5	101,778.16	219,074.08

ที่มา: แผนก Physical Plant, สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ELECTRICITY & AIR-CONDITIONING CONSUMPTION OF OUTREACH BUILDING 2008

Month	Office	ELECTRICITY CONSUMPTION		AIR-CONDITIONING CONSUMPTION				Grand Total
		Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	
Jan'08	WWF (L)	7.00	272.16	144	188640	15.72	-	
	WWF (R)	218.00	8,476.84	256	188600	15.72	14,801.95	
	ADPC 1	394.00	51,062.40	112	188640	6.88	6,478.21	
	ADPC 2	537.00	20,878.56	721	545000	45.42	40,978.70	
	UNEP	623.00	24,222.24	487	731000	60.92	54,963.07	
	TOTAL	1779.00	104,912.20	1720	1841880	144.66	117,221.93	222,134.13
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Feb'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)	232.00	9,075.84	256	188600	15.72	14,129.14	
	ADPC 1	530.00	69,112.00	112	188640	6.88	6,183.74	
	ADPC 2	523.00	20,459.78	721	545000	45.42	32,818.19	
	UNEP	463.00	18,112.56	487	731000	60.92	44,017.69	
	TOTAL	1748.00	116,760.18	1720	1841880	144.66	97,148.76	213,908.94
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Mar'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)	220.00	9,662.40	256	188600	15.72	14,129.14	
	ADPC 1	501.00	73,346.40	112	188640	6.88	6,183.74	
	ADPC 2	483.00	21,213.36	721	545000	45.42	37,799.74	
	UNEP	456.00	20,027.52	487	731000	60.92	50,699.25	
	TOTAL	1660.00	124,249.68	1720	1841880	144.66	108,811.87	233,061.55
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
April'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)	241.00	9,630.36	256	188600	15.72	12,783.50	
	ADPC 1	473.00	63,003.60	112	188640	6.88	5,594.82	
	ADPC 2	476.00	19,020.96	721	545000	45.42	32,383.66	
	UNEP	521.00	20,819.16	487	731000	60.92	43,434.87	
	TOTAL	1711.00	112,474.08	1720	1841880	144.66	94,196.85	206,670.93
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
May'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)	224.00	8,762.88	256	188600	15.72	12,783.50	
	ADPC 1	569.00	74,197.60	112	188640	6.88	5,594.82	
	ADPC 2	388.00	15,178.56	721	545000	45.42	30,019.67	
	UNEP	625.00	24,450.00	487	731000	60.92	42,756.09	
	TOTAL	1806.00	122,589.04	1720	1841880	144.66	91,154.08	213,743.12
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
June'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)	219.00	9,092.88	256	188600	15.72	12,430.98	
	ADPC 1	458.00	63,387.20	112	188640	6.88	5,440.53	
	ADPC 2	11.00	456.72	721	545000	45.42	-	
	UNEP	473.00	19,638.96	487	731000	60.92	48,174.01	
	TOTAL	1161.00	92,575.76	1720	1841880	144.66	66,045.52	158,621.28

Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
July'08	WWF (L)	0.00	-	144	188640	15.72	-	
	WWF (R)	244.00	9,925.92	256	188600	15.72	12,498.37	
	ADPC 1	663.00	89,902.80	112	188640	6.88	5,470.02	
	ADPC 2	10.00	406.80	721	545000	45.42	-	
	UNEP	624.00	25,384.32	487	731000	60.92	48,435.16	
	TOTAL	1541.00	125,619.84	1720	1841880	144.66	66,403.55	192,023.39
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Aug'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)	258.00	10,557.36	256	188600	15.72	11,990.72	
	ADPC 1	682.00	93,024.80	112	188640	6.88	5,247.85	
	ADPC 2	5.00	204.60	721	545000	45.42	-	
	UNEP	636.00	26,025.12	487	731000	60.92	44,017.69	
	TOTAL	1581.00	129,811.88	1720	1841880	144.66	61,256.26	191,068.14
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Sep'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)	255.00	10,281.60	256	188600	15.72	13,691.46	
	ADPC 1	665.00	89,376.00	112	188640	6.88	5,992.19	
	ADPC 2	3.00	120.96	721	545000	45.42	-	
	UNEP	493.00	19,877.76	487	731000	60.92	48,235.25	
	TOTAL	1416.00	119,656.32	1720	1841880	144.66	67,918.90	187,575.22
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Oct'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)	292.00	11,773.44	256	188600	15.72	12,627.42	
	ADPC 1	638.00	85,747.20	112	188640	6.88	5,526.50	
	ADPC 2	0.00	-	721	545000	45.42	-	
	UNEP	661.00	26,651.52	487	731000	60.92	44,486.61	
	TOTAL	1591.00	124,172.16	1720	1841880	144.66	62,640.53	186,812.69
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Nov'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)			256	188600	15.72		
	ADPC 1			112	188640	6.88		
	ADPC 2			721	545000	45.42		
	UNEP			487	731000	60.92		
	TOTAL	0.00	-	1720	1841880	144.66	-	-
Month	Office	Usage	Baht Cost	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total	Grand Total
Dec'08	WWF (L)			144	188640	15.72		
	WWF (R)			256	188600	15.72		
	ADPC 1			112	188640	6.88		
	ADPC 2			721	545000	45.42		
	UNEP			487	731000	60.92		
	TOTAL	0.00	-	1720	1841880	144.66	-	-

ที่มา: แผนก Physical Plant, สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

Air-Conditioning Charge for Outreach Building - Tonnage Per Hour in January 2010

						A	B	C	D	E
	Office	wing area sqm	occupied a/c area	wing a/c capacity	*tonnage used	*cost/ton per hour	*hours of operation	*days per month	total charge	
1	Formula (E = A* B* C* D) = average air-conditioning charge per month									
<i>1st Floor</i>										
2	ADPC	31	31	1.05	5.48	4.42	10	0	-	
3	ADPC	135	135	6.88	6.88	4.42	10	20	6,081.92	
4	Right Wing	WWF (R)	256	256	15.72	15.72	4.38	10	0	-
5		ADPC sub 2	112	112	6.88	6.88	4.38	10	20	6,029.95
6	Lobby									
<i>2nd Floor</i>										
7	Right Wing	ADPC (R)	311	311	17.55	17.55	4.38	10	0	-
8	Left Wing	Life way	299	299	17.55	17.55	4.38	10	20	15,381.64
9	Lobby	ADPC (LB)	99	99	10.32	10.32	4.38	10	0	-
<i>3rd Floor</i>										
10	Right Wing	UNEP (R)	375	375	27.72	27.72	4.38	10	20	24,295.10
11	Left Wing	UNEP (L)	375	48	27.72	5.48	4.38	10	20	4,802.93
12	Left Wing	UNEP (L)	375	199	27.72	9.68	4.38	10	20	8,484.00
13	Left Wing	UNEP (L)	375	128	27.72	12.56	4.38	10	20	11,008.17
14	Lobby	UNEP (LB)	64	64	5.48	5.48	4.38	10	20	4,802.93
									80,886.65	
Type and Capacity of Air-conditioning System in Outreach Building										
			Btu/Unit	Ton/Unit	Btu	IUCN	WWF	ADPC	UNEP	COGEN
15	FCU	A Type	12,700	1.06	203200		8	8	6	
16	FCU	B Type	18,200	1.52	145600			8		
17	FCU	C Type	25,100	2.09	200800				8	
18	FCU	D Type	32,900	2.74	394800			2	10	
19	AHU	F Type	12,575	1.05	201200				16	
20	AHU	G Type	10,875	0.91	261000		8	16	6	
21	FCU	H Type	58,000	4.83	58000			1		
22		1 Ton = Btu	12,000	122.05	1464600	0.00	15.72	45.42	60.92	-

Average is based from November, 2009 Chiller Operation

A	Cost of Electricity from Internal Charge (Baht/kwhrs)	3.89
B	Chiller Energy Usage Per Month (kW/hr)	283,669.00
C	Chiller Maintenance Cost per Month (Baht)	200,000.00
D	Chiller Operational Cost Per Month (Baht)	165,000.00
	Total Cost	648,669.00
E	1% Labor Cost from Total Cost	6,486.69
F	Chiller Cooling Load Per Month (Ton/Hr)	336,577.00
G	Baht/Tonnage/Hour (variable)	4.38
	(G = A * B+ C+ D+ E/ F)	

	A	B	C	D
12,000	4.42	10	20	Average
Formula = (D = A * B * C) Total Air-con charge of the month November				
Office	Occupied	Capacity	Tonnage	Bht Total
	Area Sq.m.	Btu	12,000	10 hrs/day
ADPC A	31		5.48	-
ADPC B	135		6.88	6,081.92
Life way	299		17.55	15,381.64
TSF	112			743.04
ADPC sub 2	833	545000	45.42	21,411.59
UNEP	487	731000	60.92	53,393.14
TOTAL	1897	1276000	136.25	97,011.33

* Calculation is according to the capacity of the air-conditioning system in the area occupied (12,000 Btu = 1 Ton).

* Air-conditioning cost is based on the maintenance, operation, and energy cost of chiller operation divided by the total cooling load in ton/hr.

* **na = not applicable / area is not occupied**

Air-Conditioning Charge for Outreach Building - Tonnage Per Hour in February 2010

	Office	wing area sqm	occupied a/c area	wing a/c capacity	*tonnage used	*cost/ton per hour	*hours of operation	*days per month	total charge	
1	Formula (E = A* B* C* D) = average air-conditioning charge per month									
<i>1st Floor</i>										
2	ADPC	31	31	1.05	5.48	4.42	10	0	-	
3	ADPC	135	135	6.88	6.88	4.42	10	20	6,081.92	
4	Right Wing WWF(R)	256	256	15.72	15.72	4.18	10	0	-	
5	ADPC sub 2	112	112	6.88	6.88	4.18	10	20	5,752.51	
6	Lobby									
<i>2nd Floor</i>										
7	Right Wing ADPC (R)	311	311	17.55	17.55	4.18	10	0	-	
8	Left Wing Life way	299	299	17.55	17.55	4.18	10	20	14,673.91	
9	Lobby ADPC (LB)	99	99	10.32	10.32	4.18	10	0	-	
<i>3rd Floor</i>										
10	Right Wing UNEP (R)	375	375	27.72	27.72	4.18	10	20	23,177.25	
11	Left Wing UNEP (L)	375	48	27.72	5.48	4.18	10	20	4,581.94	
12	Left Wing UNEP (L)	375	199	27.72	9.68	4.18	10	20	8,093.64	
13	Left Wing UNEP (L)	375	128	27.72	12.56	4.18	10	20	10,501.67	
14	Lobby UNEP (LB)	64	64	5.48	5.48	4.18	10	20	4,581.94	
									77,444.79	
Type and Capacity of Air-conditioning System in Outreach Building										
			Btu/Unit	Ton/Unit	Btu	IUCN	WWF	ADPC	UNEP	COGEN
15	FCU	A Type	12,700	1.06	203200		8	8	6	
16	FCU	B Type	18,200	1.52	145600			8		
17	FCU	C Type	25,100	2.09	200800				8	
18	FCU	D Type	32,900	2.74	394800			2	10	
19	AHU	F Type	12,575	1.05	201200				16	
20	AHU	G Type	10,875	0.91	261000		8	16	6	
21	FCU	H Type	58,000	4.83	58000			1		
22		1 Ton = Btu	12,000	122.05	1464600	0.00	15.72	45.42	60.92	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Average is based from February 2010 Chiller Operation

A	Cost of Electricity from Internal Charge (Baht/kwhrs)	3.89
B	Chiller Energy Usage Per Month (kW/hr)	341,033.00
C	Chiller Maintenance Cost per Month (Baht)	200,000.00
D	Chiller Operational Cost Per Month (Baht)	165,000.00
	Total Cost	706,033.00
E	1% Labor Cost from Total Cost	7,060.33
F	Chiller Cooling Load Per Month (Ton/Hr)	406,324.00
G	Baht/Tonnage/Hour (variable)	4.18
	(G = A* B+ C+ D+ E/ F)	

	A	B	C	D
12,000	4.42	10	20	Average
Formula = (D = A* B* C) Total Air-con charge of the month November				
Office	Occupied Area Sq.m.	Capacity Btu	Tonnage 12,000	Bht Total 10 hrs/day
ADPC A	31		5.48	-
ADPC B	135		6.88	6,081.92
Life way	299		17.55	14,673.91
TSF	112			1,417.28
ADPC sub 2	833	545000	45.42	20,426.42
UNEP	487	731000	60.92	50,936.45
TOTAL	1897	1276000	136.25	93,535.98

* Calculation is according to the capacity of the air-conditioning system in the area occupied (12,000 Btu = 1 Ton).

* Air-conditioning cost is based on the maintenance, operation, and energy cost of chiller operation divided by the total cooling load in ton/hr.

* **na = not applicable / area is not occupied**



ภาคผนวก ข

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเครื่อง Central Chillers ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

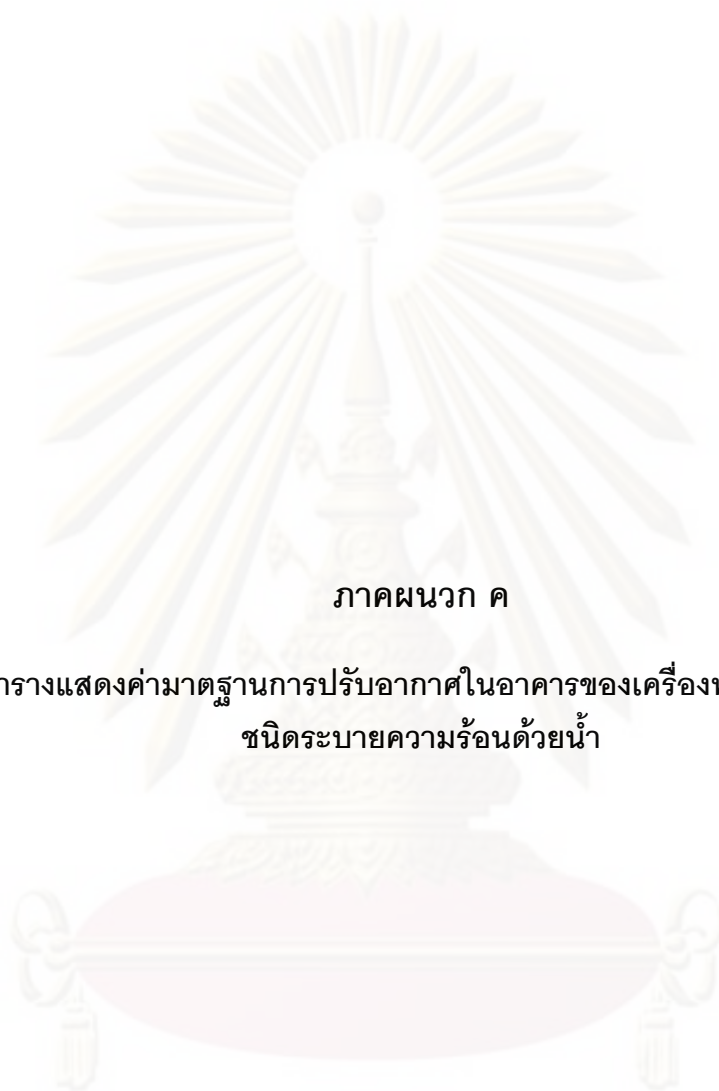
ปี พ.ศ.2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเครื่อง Central Chillers ของสถาบันเทคโนโลยีแห่ง
เอเชีย ปี พ.ศ.2551

Months	Electricity/unit	Cost of Electricity	Chiller Efficiency
	(Bht/Kw)	(baht)	(Kw/Tons)
Jan-08	3.24	778,766.40	0.86
Feb-08	3.26	544,276.56	0.63
Mar-08	3.66	1,107,281.76	0.81
Apr-08	3.33	1,077,501.42	0.84
May-08	3.26	1,046,525.20	0.79
Jun-08	3.46	1,022,118.60	0.80
Jul-08	3.39	962,054.88	0.79
Aug-08	3.41	1,034,600.82	0.81
Sep-08	3.36	1,049,032.32	0.85
Oct-08	3.36	1,081,946.88	0.79
Nov-08	4.00	995,928.00	0.85
Dec-08	3.42	638,486.64	0.74
Average	3.43	944,876.62	0.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

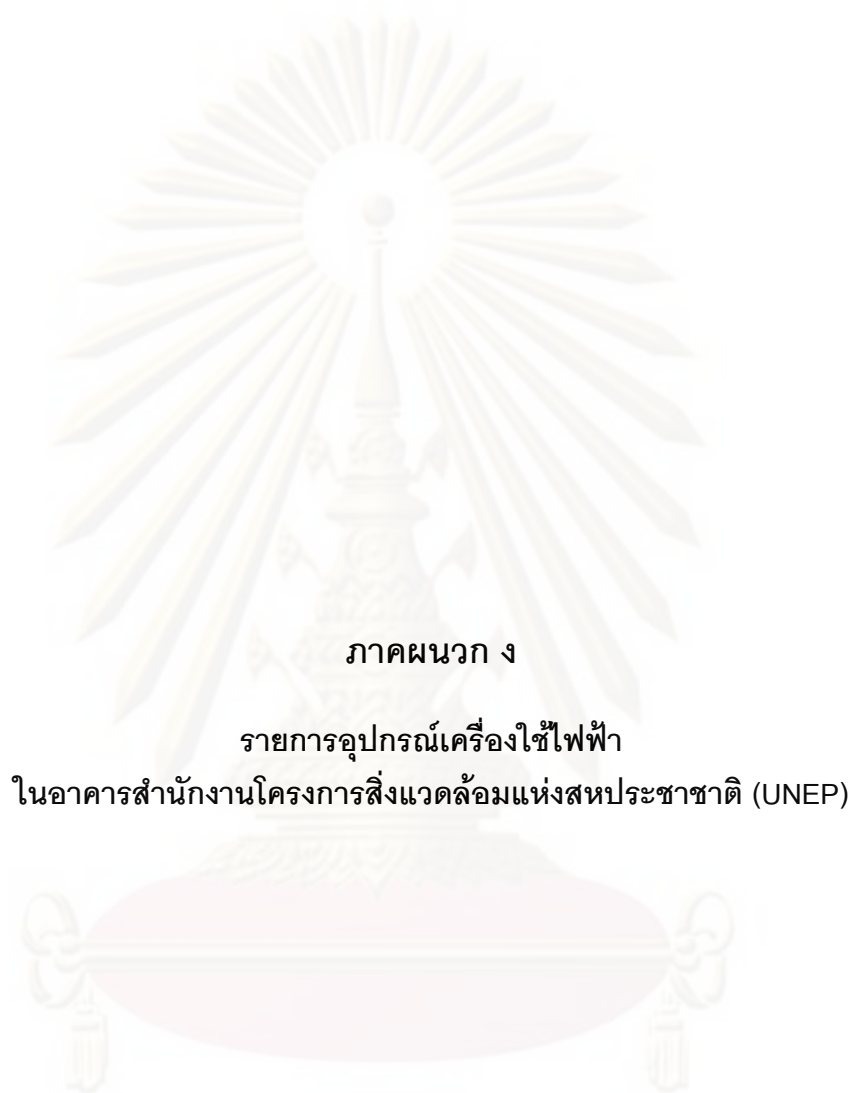
ตารางแสดงค่ามาตรฐานการปรับอากาศในอาคารของเครื่องทำความเย็น
ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงค่ามาตรฐานการปรับอากาศในอาคารของเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ชนิดส่วนทำความเย็น/เครื่องทำความเย็น	อาคารใหม่ (kW/TR)	อาคารเก่า (kW/TR)
ก. ส่วนทำความเย็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal Chiller)		
ขนาดไม่เกิน 250 ตันความเย็น	0.75	0.9
ขนาดเกินกว่า 250 ตันความเย็นถึง 500 ตัน ความเย็น	0.75	0.84
ขนาดเกินกว่า 500 ตันความเย็น	0.75	0.8
ข. ส่วนทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Chiller)		
ขนาดไม่เกิน 35 ตันความเย็น	0.98	1.18
ขนาดเกินกว่า 35 ตันความเย็น	0.91	1.1
ค. เครื่องทำความเย็นแบบเป็นชุด (Package Unit)	0.88	1.06
ง. ส่วนทำน้ำเย็นแบบสกรู (Screw Chiller)	0.7	0.84

ที่มา: พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535



ภาคผนวก ง

รายการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

ในอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารสำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ
(UNEP)

S/N	Computers	Monitor	Power Supply
	Computers/servers/ and other electronic equipments		
1	Compaq Proliant DL 380 G2	-	UPS APC Smart-UPS 3000 VA
2	SunFire V240 R	-	
3	SunFire 280 R	Dell Monitor	
4	Compaq Proliant DL 380 G2	-	
5	Compaq Proliant DL 380 G2	-	
6	Compaq Proliant DL 380 G2	-	
7	Netra X1 (Solaris) (rrcap02)	-	UPS Syndrom SD-300 (3000 VA) I
8	Netra X1 (Solaris) (rrcap03)	-	
9	Tandberg Tape Backup DLT	-	
10	Compaq Proliant ML 370	-	
11	Compaq workstation AP 550	-	
12	Hayes Century Modem Pool	-	
13	Compaq Proliant DL 380 G2	-	UPS Syndrom SD-300 (3000 VA) II
14	Compaq Proliant DL 380 G4	-	
15	D-Link Gigabit Switch		
16	LongShine LCS-883RT		
17	Cisco 2600 router		
18	Cisco 2500 router		
19	Firewall PIX 515		
20	HP Procurve Switch		
21	HP Workstation xw4100	Compaq LCD 1720 + 1720	UPS Syndrom SD-300 (3000 VA) III
22	HP Workstation xw4100	Compaq V1000	
23	HP Workstation xw4100	Compaq LCD 1720	

24	HP Workstation xw4100	HP LCD 1502	
25	Compaq workstation AP 550	Compaq 171FS	UPS Leonix Acura model 1000 VA
26	Sanyo Video Recorder	Sanyo BW Video Monitor	
27	HP Workstation xw4100	Dell Monitor	UPS Leonix Acura model 500 VA
28	Wireless Access Point I		UPS APC Smart-UPS 500 VA
29	Wireless Access Point II		UPS APC Smart-UPS 500 VA
30	Video Server	-	Main Supply 200 W
31	HP Workstation xw4100	Monitor Compaq S710	Main Supply 280 W+ 80 W
32	HP Workstation xw4100	Monitor Compaq S710	Main Supply 280 W+ 80 W
33	Compaq Proliant	Monitor Compaq S710	Main Supply 280 W+ 80 W
34	Dell Optiplex workstation GX1	Philips -15B Monitor	Main Supply 280 W+ 80 W
35	Compaq workstation AP 550	Compaq S 710 Monitor	Main Supply 280 W+ 80 W
36	HP Compaq dc7100 1	HP 7540	Main Supply 280 W+ 80 W
37	HP Compaq dc 7100 2	HP 7540	Main Supply 280 W+ 80 W
38	HP Workstation xw4100	Compaq LCD 1720	Main Supply 280 W+ 50 W
39	Brother MFC 7200 Fax Machine		Main Supply 50 W
40	ISDN VC		Main Suuply, 50 W
41	PLASMA TV		250 W
42	PLASMA TV		250 W
43	Sound System		Main Supply, 800 W
44	Video projector, Impression 970		main Supply, 150 W
45	VCR		main Supply, 30 W
46	DVD player		main Supply, 30 W
	Paper Processing Equipment		
47	Photocopy		Main Supply

48	Print Server		Main Supply 50 W
49	Print Server		Main Supply 50 W
50	HP LaserJet 4050		Main Supply, 880 W busy, 18 W Idle, 17 W standby
51	HP LaserJet 4 Plus		Main Supply, 880 W busy, 18 W Idle, 17 W standby
52	HP LaserJet 1320 Printer		
53	HP Color Inkjet 1700 Printer		
54	HP ScanJet 5590		
	Others		
55	Refrigerator		main Supply, 150 W



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล จุติมา โอฟ้าริกบุตร
วัน เดือน ปีเกิด 9 สิงหาคม พ.ศ. 2515

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 – 2553 นิสิตปริญญาโทคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2533 – 2538 นิสิตปริญญาตรีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2527 – 2532 นักเรียนระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสภาราชนี จังหวัดตรัง

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2549 – 2551 ผู้จัดการแผนกวิศวกรรมอาคารและงานระบบ และสถาปนิก
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
พ.ศ. 2540 – 2549 สถาปนิก สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
พ.ศ. 2538 – 2540 สถาปนิก บริษัท โฮมเอสเตท จำกัด

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย