

แนวทางวิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ  
กรณีศึกษา : อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์,  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ANALYTICAL STUDY FOR ENERGY EFFICIENT  
IN AIR-CONDITIONING AREA  
CASE STUDY : MAHAMAKUT BUILDING  
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY

โอม ปนาทกุล  
OHM PANATKOOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1069-1

แนวทางวิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ  
กรณีศึกษา : อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ ,  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ANALYTICAL STUDY FOR ENERGY EFFICIENT  
IN AIR-CONDITIONING AREA  
CASE STUDY : MAHAMAKUT BUILDING  
FACULTY OF SCIENCE , CHULALONGKORN UNIVERSITY

โอม ปนาทกุล  
OHM PANATKOOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2547

ISBN 974-15-1069-1

AN ANALYTICAL STUDY FOR ENERGY EFFICIENT  
IN AIR-CONDITIONING AREA  
CASE STUDY : MAHAMAKUT BUILDING  
FACULTY OF SCIENCE , CHULALONGKORN UNIVERSITY

OHM PANATKOOL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-15-1069-1

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางวิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการ ปรับอากาศกรณีศึกษา : อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นักศึกษา	นายโอม ปนาทกุล
รหัสประจำตัว	42063101
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.สุภาวดี รัตนมาศ

### บทคัดย่อ

ในการศึกษางานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อสำรวจและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานในการปรับอากาศของอาคาร โดยอาคารที่นำมาใช้เป็นอาคารกรณีศึกษา ได้แก่ อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอาคารที่มีความสูง 20 ชั้นและพื้นที่ภายในแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือส่วนห้องเรียนรวม , ส่วนห้องปฏิบัติการและส่วนสำนักงาน-ห้องพักอาจารย์

จากการสำรวจ และวิเคราะห์ตัวอาคารพบว่า ส่วนที่มีปัญหาด้านการปรับอากาศมากที่สุดคือส่วนที่เป็นห้องสำนักงาน-ห้องพักอาจารย์ ปัญหาที่เกิดขึ้น คือในส่วนห้องสำนักงานนี้ตั้งอยู่ในทิศใต้ของอาคารซึ่งจะต้องรับแสงแดดตลอดวัน โดยไม่มีแผงบังแดด , วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนสูง ได้แก่ผนังอลูมิเนียมและกระจก การแก้ไขปัญหในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์โด เวอร์ชัน 2.1 (DOE 2.1) เพื่อใช้ในการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศในปัจจุบัน และปรับปรุงโดยการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและปัจจัยที่มีผลในการปรับอากาศ จากผลการจำลองสภาพการใช้พลังงานปัจจุบัน ผลจากการจำลองสภาพพลังงานพบว่า ความร้อนที่เข้ามาสู่ตัวอาคารนั้นมาจากทางผนังและกระจกมากที่สุดคือ ร้อยละ 69 และร้อยละ 27 ตามลำดับ และค่าการใช้พลังงานในส่วนที่ทำการวิจัยนี้ 302.441 MWH./ ปี เพราะฉะนั้นการแก้ไขคือ การลดความร้อนจากผนังและกระจก

การปรับปรุงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. การปรับแบบที่ไม่ต้องลงทุน คือ การลดจำนวนการเปิดเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับความร้อนสูงสุดที่เข้ามาในพื้นที่วิจัย ผลจากการศึกษา พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 1.68

2. การปรับปรุงแบบที่ต้องมีการลงทุน คือ การปรับปรุงอุปกรณ์และวัสดุเพื่อลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร ได้แก่ การใส่แผงบังแดด , การใส่แผงบังแดดและใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนัง , การเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนัง และการเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกฉนวนความร้อนและใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนัง จากการทดสอบในโปรแกรมโดและการคิดคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมที่สุด คือ การเปลี่ยนกระจกจากกระจกสีชาเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและใส่ฉนวนกันความร้อน หน้า 1 นิ้ว /16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ผนัง จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 6.20 และระยะคืนทุน 11 ปี

Thesis Title	An Analytical Study For Energy Efficient In Air-Conditioning Area Case Study : Mahamakut Building Faculty of Science, Chulalongkorn University
Student	Mr.Ohm Panatkool
Student ID.	42063101
Degree	Master of Architecture
Programme	Tropical Architecture
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.prof. Suphawadee Ratanamart

## ABSTRACT

The objective of this research is to find out Methodology of analyzing and improving the energy utilized in air conditioning in highrise public buildings, in specific: Mahamakut Building, Faculty of Sciences, Chulalongkorn University. The building height is altogether 20 floors and the Internal Area can be divided into 3 main functions ; Common Classrooms, Office Area and Laboratories.

Researching and Collecting data revealed that the area with the strongest problem in energy utilization for air conditioning is the office and the professor's resting area, which is oriented to the south, the wall on this side is constituted of aluminum and clear glasses, without any sun protection. The research in energy usage in this part of the building has been made through the use of a computer software "DOE" version 2.1 to simulate the air conditioning used at present. Air conditioning system and external factors resulting the needs of air conditioning can be improved. The air conditionings used at present are more than what the simulation retains necessary. The heat in the structure is derived from the wall and the glasses on the southern window side in the range of 69% and 27% respectively. Energy used on the areas of this research is 302.441 MWH/year. The Solutions to this problem are to reduce heat from aluminum walls and glasses.

Improvements can be in 2 methods :

1. Cost saving method; reduce the use of air conditioners where there is peak load properly in the research area. Energy saves up to 1.68%.

2. Cost consuming method; install effective sun screening system, reflective glass and insulator on the walls. Energy saves up 6.20%. Cost consumption returns within 11 years.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์สุภาวดี รัตนมาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และ ผศ.ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ที่ให้ความกรุณาในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย

นอกจากนี้ ขอขอบคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยชิ้นนี้ในด้านอื่นๆอีก ได้แก่

- คุณคมสันต์ วรรณพัฒน์ ผู้ให้คำปรึกษาและสอนโปรแกรม DOE ให้โดยละเอียด
- คุณพงศ์พัฒน์ มั่งคั่ง ผู้ให้คำชี้แนะและให้ข้อมูลเกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน
- คุณปภาวรินทร์ เคหะวัน ผู้ที่สนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ดำเนินไปได้

ด้วยดี

- บิดา,มารดาและน้องชาย"เอก" ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

โอม ปนาทกุล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.1.1 ปัญหาด้านพลังงานในประเทศไทย.....	1
1.1.2 ปัญหาพลังงานกับสถาปัตยกรรม.....	3
1.1.3 ปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าในอาคารสถานศึกษา.....	4
1.1.4 ปัญหาด้านพลังงานของอาคารที่ทำการศึกษา.....	4
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	6
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	6
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	7
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	7
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน.....	10
2.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับความร้อน.....	13
2.2.1 กลไกของการถ่ายเทความร้อน.....	13
2.2.2 ธรรมชาติของความร้อน.....	13
2.2.3 อุณหภูมิตามสมบรูณ์.....	13
2.2.4 ความแตกต่างระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ.....	14
2.2.5 หน่วยวัดความร้อนและอัตราการไหลของความร้อน.....	14
2.2.6 วิธีของการถ่ายเทความร้อน.....	15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.7 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร.....	15
2.2.8 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน.....	16
2.2.9 คุณสมบัติเชิงคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง.....	17
2.2.10 อิทธิพลของความชื้นหรืออุณหภูมิที่มีผลต่อสภาพการนำความร้อน ของวัสดุ.....	19
2.2.11 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน.....	20
2.2.12 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิววัตถุ.....	21
2.2.13 พฤติกรรมถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างอากาศ.....	23
2.2.14 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีความร้อน.....	24
2.2.15 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก.....	29
2.3 ระบบปรับอากาศ.....	36
2.3.1 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....	36
2.3.2 ชนิดของเครื่องปรับอากาศ.....	38
2.3.3 การคำนวณภาระปรับอากาศ.....	39
2.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....	42
2.4.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง.....	42
2.4.2 ทฤษฎีแสงธรรมชาติ.....	42
2.4.3 ความรู้พื้นฐานทางด้านแสงสว่าง.....	43
2.5 การวิเคราะห์พลังงาน.....	57
2.5.1 กระบวนการใช้พลังงานในอาคาร.....	57
2.5.2 การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน.....	58
2.6 การปรับปรุงอาคารเพื่อลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร.....	59
2.6.1 การวางแผนงานในการปรับปรุงอาคาร.....	59
2.6.2 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	60
2.6.3 การวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานและการวางแผนปรับปรุงแก้ไข.....	60
2.6.4 เป้าหมายในการจัดการพลังงาน.....	60
2.6.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ.....	61

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การศึกษาและเก็บข้อมูลในอาคารกรณีศึกษา.....	62
3.1 ข้อมูลทางสถาปัตยกรรม.....	62
3.1.1 ข้อมูลและรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมทั่วไป.....	62
3.1.2 รายละเอียดผนังและพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร.....	63
3.1.3 รายละเอียดกรอบอาคาร.....	67
3.2 ข้อมูลทางระบบอาคารที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร.....	73
3.2.1 ช่วงเวลาการใช้งานภายในอาคาร.....	73
3.2.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....	73
3.2.3 ระบบไฟฟ้าปรับอากาศ.....	74
3.2.4 รูปแบบหน้าต่างและระบบแผงกันแดด.....	77
3.3 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้นในอาคาร.....	78
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและการจำลองสภาพอาคาร.....	80
4.1 โปรแกรมโด(DOE).....	80
4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองสภาพอาคารในโปรแกรมโด.....	80
4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณหาภาระการทำความเย็น.....	82
4.4 ผลจากการคำนวณพลังงานที่ได้จากการจำลองสภาพอาคาร.....	82
4.5 ผลการคำนวณพลังงานที่ได้จากการจำลองสภาพอาคาร.....	83
บทที่ 5 แนวทางการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....	89
5.1 การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าปรับอากาศโดยไม่ต้องลงทุน.....	89
5.2 การลดพลังงานไฟฟ้าปรับอากาศโดยต้องมีการลงทุน.....	91
5.2.1 การพิจารณาตัวเลือกที่ใช้ในการปรับปรุง.....	92
5.2.2 แนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ.....	93
5.3 จุดคุ้มทุนในการปรับปรุงอาคาร.....	104
5.4 สรุปผลการวิเคราะห์.....	105

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	107
6.1 สรุปผลการใช้โปรแกรมโต เวอร์ชัน 2.1 กับงานวิจัย.....	107
6.2 สรุปผลการวิจัย.....	107
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	111
บรรณานุกรม.....	111
ประวัติผู้เขียน.....	114

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ.2535 – 2544.....	1
1.2 แสดงลักษณะการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภท .....	3
1.3 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารตามระบบต่าง.....	4
2.1 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคาร (แยกประเภท).....	11
2.2 ค่าภาระกำหนดการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	12
2.3 แสดงค่ากำหนดภาระการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อน ด้วยอากาศ.....	12
2.4 คุณสมบัติทางอุณหภาพของวัสดุก่อสร้างและฉนวนความร้อน .....	19
2.5 ค่าการต้านความร้อนของชั้นอากาศ ภายใต้อิทธิพลการพา และการแผ่รังสี.....	22
2.6 ค่าการต้านความร้อนของชั้นอากาศที่ผิวภายใต้สภาพอากาศหยุดนิ่ง.....	22
2.7 ตัวอย่างการคำนวณหาพลังงานความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาครึ่งอิฐฉาบปูนเรียบ ทั้ง 2 ด้าน.....	23
2.8 ค่าการต้านความร้อนทางช่องอากาศ.....	26
2.9 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังที่ประกอบกัน หลายชั้น.....	27
2.10 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังที่ประกอบกัน หลายชั้น.....	27
2.11 ค่าการต้านทานความร้อนของช่องอากาศใต้หลังคา.....	28
2.12 Solar-Optical Properties of Glass with various treatments.....	31
2.13 รายละเอียดผลิตภัณฑ์กระจกไทยอาชาสี.....	33
2.14 ระดับการป้องกันฝุ่นผงและความชื้น.....	50
2.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่าง "โรงงาน" ตามมาตรฐาน CIE , IES และ BS.....	56
2.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างใน "อาคาร" ตามมาตรฐาน CIE , IES และ BS .....	56
3.1 แสดงประเภทห้องปฏิบัติการในแต่ละชั้น พร้อมทั้งแสดงชั้นที่มีการปรับอากาศ.....	64
3.2 แสดงช่วงเวลาและจำนวนเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ทำการศึกษ (ส่วนห้องปฏิบัติการ และห้องพักอาจารย์).....	75
3.3 แสดงสัดส่วนเครื่องปรับอากาศและพื้นที่ปรับอากาศ.....	76

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1 โหลดพลังงานความร้อนสูงสุด/พื้นที่ทำการการศึกษา 1 ชั้น แยกตามส่วนประกอบ (SPACE PEAK LOAD COMPONENT).....	83
4.2 โหลดพลังงานความร้อนรวม 16 ชั้น ในพื้นที่ทำการการศึกษาแยกตามส่วนประกอบ (BUILDING PEAK LOAD COMPONENT).....	84
4.3 แสดงค่าประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแยกเป็นรายเดือน.....	86
4.4 แสดงค่าประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร.....	88
5.1 แสดงภาวะการปรับอากาศของห้องสำนักงาน.....	89
5.2 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารหลังมีการลดการเปิดเครื่องปรับอากาศลง.....	91
5.3 แสดงสัดส่วนความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ทำการการศึกษาและวิธีการแก้ไข.....	92
5.4 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนหลังการใส่แผงกันแดด.....	94
5.5 แสดงระบอบนวนใยแก้วที่นำมาติดตั้ง.....	95
5.6 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนหลังการใส่แผงกันแดด.....	96
5.7 แสดงเปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานที่เปลี่ยนแปลงและจำนวนเงินที่ลดลงของการปรับปรุงโดยการใส่แผงบังแดดและนวนกันความร้อนกรุยป้ซั้มที่ผนังด้านล่าง.....	97
5.8 แสดงพลังงานไฟฟ้าหลังการเปลี่ยนกระจกเป็นชนิดสะท้อนความร้อนและใส่นวนกันความร้อนที่ผนังทั้งหมด.....	98
5.9 แสดงเปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานที่เปลี่ยนแปลงและจำนวนเงินที่ลดลงของการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและนวนกันความร้อนกรุยป้ซั้มที่ผนังด้านล่าง.....	99
5.10 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนหลังการเปลี่ยนกระจกเป็นชนิดนวนความร้อนโลว์-อี และใส่นวนใยแก้วกันความร้อนที่ผนังทึบ.....	100
5.11 แสดงเปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานที่เปลี่ยนแปลงและจำนวนเงินที่ลดลงของการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและนวนกันความร้อนกรุยป้ซั้มที่ผนังด้านล่าง.....	102
5.12 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศหลังมีการปรับปรุง.....	102
5.13 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศหลังมีการปรับปรุง.....	105

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.1 แสดงเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายเดือนระหว่างพื้นที่ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	109
6.2 แสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนหลังจกมีการปรับปรุงอาคารแบบผสม....	110

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงอาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	5
1.2 แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย.....	9
2.1 แสดง SOLAR HEAT GAIN FACTOR ที่เกิดจากกระจกมาตรฐาน (กระจกใสหนา 3 มม.).....	30
2.2 แสดง Curve แสดงค่า Surface Resistance ( $R_i$ ) ที่เปลี่ยนตาม Vertical Surface Reflectivity.....	34
2.3 แสดงการแบ่งประเภทของหลอดไฟฟ้า.....	47
2.4 แสดงขั้นตอนการทำงานในการปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร.....	60
3.1 แสดงที่ตั้งอาคารมหามกุฏ และอาคารโดยรอบ.....	62
3.2 แสดงผังชั้น 2-3 ที่เป็นผังในชั้นห้องบรรยายรวม.....	63
3.3 แสดงขนาดและพื้นที่ใช้สอยห้องเรียนรวม.....	64
3.4 แสดงแบบจำลองอาคารและพื้นที่ปรับอากาศ.....	65
3.5 แสดงผังชั้น 2-3 ที่เป็นผังในชั้นที่เป็นทาวเวอร์.....	65
3.6 แสดงตำแหน่งห้องปฏิบัติการและห้องสำนักงาน.....	66
3.7 แสดงบรรยากาศห้องพักอาจารย์.....	66
3.8 แสดงภาพถ่ายด้านทิศตะวันตก.....	67
3.9 แสดงแผงบังแดด ,ราวกันตกและการใช้ประโยชน์บริเวณระเบียง.....	68
3.10 แสดงท่อระบายสารเคมีที่บริเวณระเบียง.....	68
3.11 แสดงรูปด้านทิศตะวันออก.....	69
3.12 แสดงรูปแบบผนังอาคารด้านทิศตะวันตก.....	69
3.13 แสดงรูปด้านทิศเหนือ.....	70
3.14 แสดงรูปแบบผนังอาคารด้านทิศใต้.....	71
3.15 แสดงรูปแบบผนังทางด้านทิศเหนือ.....	72
3.16 แสดงรูปแบบผนังทางด้านทิศใต้.....	72
3.17 แสดงบรรยากาศหน้าต่างเดินห้องปฏิบัติการ.....	73
3.18 แสดงรูปแบบคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในอาคาร.....	75

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 แสดงสัดส่วนการปรับอากาศในอาคารมหามกุฏ.....	76
3.20 แสดงรูปแบบการบังแดดในทิศตะวันตก.....	77
3.21 แสดงรูปแบบการบังแดดในทิศตะวันออก.....	77
3.22 แสดงพื้นที่ชั้นห้องเรียนรวม.....	78
4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโด ( DOE ).....	81
4.2 แสดงแผนภูมิรูปวงกลมแสดงสัดส่วนของปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร.....	84
4.3 แสดงระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดรายเดือน.....	85
4.4 แสดงการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของพื้นที่ศึกษา.....	86
4.5 แสดงการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของพื้นที่ศึกษา (PEAK).....	87
5.1 แสดงตำแหน่งเครื่องปรับอากาศภายในพื้นที่วิจัย.....	90
5.2 แสดงรูปแบบของแผงกันแดดอลูมิเนียมอบสีสำเร็จรูป.....	93
5.3 แสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการใส่แผงบังแดด.....	94
5.4 แสดงแผงกันแดดและฉนวนกันความร้อนที่บริเวณด้านล่าง.....	95
5.5 แสดงการติดฉนวนกันความร้อนที่บริเวณด้านล่าง.....	96
5.6 แสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการใส่แผงบังแดดและใส่ฉนวนใยแก้ว.....	97
5.7 แสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนกระจกเป็นแบบ Reflective และใส่ฉนวนใยแก้ว.....	99
5.8 แสดงรูปตัดของกระจก LOW-E.....	100
5.9 แสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนกระจกเป็นแบบ Low-E และใส่ฉนวนใยแก้ว.....	101
5.10 แสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบเป็นรายเดือน.....	103
5.11 แสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ใน 1 ปี.....	103

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.12 แสดงรูปแบบผนังและหน้าต่าง พื้นที่ที่ทำการศึกษา.....	104
5.13 แสดงรูปแบบผนังอาคาร 1 ชั้น.....	104
6.1 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของพื้นที่วิจัยที่ยังไม่มีการปรับปรุง และที่มีการปรับปรุง.....	110
6.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการใช้พลังงานในอาคารเดิมกับการใช้พลังงาน หลังการปรับปรุงแล้ว.....	111

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

#### 1.1.1 ปัญหาด้านพลังงานในประเทศไทย

1.1.1.1 ปัญหาพลังงานในปัจจุบัน : ปัจจุบันปัญหาพลังงานในนั้นประเทศไทย เป็นปัญหาอย่างหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อสภาพทางการเงินประเทศ เพราะกิจกรรมหรือการประกอบกิจการทุกอย่างจำเป็นต้องใช้พลังงานมาเกี่ยวข้องทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม โดยปริมาณการใช้นั้นมีแนวโน้มการใช้มากขึ้นทุกขณะ (ดูตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 แสดงความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ.2535 – 2544<sup>1</sup>

พ.ศ.	ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (เมกะวัตต์)
2535	8,904
2536	9,839
2537	11,064
2538	12,268
2539	13,311
2540	14,506
2541	14,180
2542	13,712
2543	14,918
2544 (ม.ค. – พ.ย.)	16,126

<sup>1</sup>ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (National Energy Policy Office)

จากตารางจะเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ไฟฟ้าอย่างชัดเจน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2535 ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 8,904 เมกะวัตต์ กระทั่งปี พ.ศ.2544 ที่ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเป็น 16,126 เมกะวัตต์ ขณะที่ความต้องการด้านพลังงานสูงขึ้น แต่ด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นกลับสวนทางกัน

1.1.1.2 มาตรการด้านการประหยัดพลังงาน : เมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2544 คณะรัฐมนตรี ได้รับทราบผลการดำเนินงาน เรื่องการอนุรักษ์พลังงาน ตามที่สำนักคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพข.) ได้รายงานให้ทราบ และคณะรัฐมนตรีมีความเห็นว่า ในปัจจุบันประเทศไทย มีการใช้ไฟฟ้าสาธารณะ โดยไม่มีการประหยัด และไม่มีการดูแลรับผิดชอบอย่างจริงจัง จึงมีมติมอบหมายให้ สพข.ดำเนินการตรวจสอบและประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินการแก้ไข โครงสร้างเรื่องดังกล่าวในภาพรวมทั้งระบบ ซึ่ง สพข. และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ร่วมหารือเกี่ยวกับแนวทางการแก้ไข หรือกำหนดมาตรการต่าง ๆ ที่สามารถดำเนินการได้ในปัจจุบัน การพิจารณาป้องกันผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง หากมีการกำหนดมาตรการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไฟฟ้า หรือพลังงานอื่น หรือดำเนินกิจการที่ต้องใช้เชื้อเพลิงหรือพลังงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1. เร่งการดำเนินงานตามแผนอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (พพ.) มีหน้าที่จะต้องส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมซึ่งมีประมาณ 4,140 แห่ง จำเป็นที่จะต้องให้เกิดการลงทุนปรับปรุงการใช้พลังงานให้เร็วที่สุด ส่วน สพข. ซึ่งมีหน้าที่ให้การสนับสนุนการใช้พลังงาน หมุนเวียนที่มีอยู่ภายในประเทศ และได้รับมอบหมายให้การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในสาขาขนส่ง การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน การนำของเสียกลับมาใช้เป็นพลังงาน (Recycle และพลังงานขยะ) และ การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก จะต้องเร่งดำเนินการให้เกิดผลโดยเร่งด่วนต่อไป

2. มาตรการรณรงค์ โดยเร่งรณรงค์ให้ประชาชนประหยัดน้ำมันและไฟฟ้า

3. มาตรการบังคับ

1) เร่งรัดการดำเนินงานตามกฎหมายที่มีอยู่แล้ว

2) จำกัดความเร็วรถยนต์สูงสุด ได้แก่ บนทางธรรมดา จำกัดความเร็วที่ 90 กม./ชม. โดยให้มีการปฏิบัติตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด หรือบนทางด่วน ลดความเร็วสูงสุด จาก 110 เหลือ 90 กม./ชม. หรือบนมอเตอร์เวย์ ลดความเร็วสูงสุด จาก 120 กม./ชม. เหลือ 100 กม./ชม.

3) ใช้พระราชกำหนดแก้ไขและป้องกัน “มาตรการสำหรับส่วนราชการ” เร่งดำเนินการตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2543 ที่ให้หน่วยราชการระดับกรม จัดตั้งคณะทำงานที่มีหัวหน้าส่วนราชการเป็นประธาน เพื่อรับผิดชอบในคณะทำงาน การกำหนดแผนงานนโยบาย และเป้าหมายในการลดพลังงานให้ได้อย่างน้อย 5 เปอร์เซ็นต์

4) มาตรการอื่น เร่งมาตรการปิดถนน เช่น ปิดถนนชั่วคราวและถนนบริเวณ บางลำภู สีลม และเรือทยอยปิดถนนที่สามารถปิดได้โดยไม่มีผลกระทบต่อด้านการจราจรมากนัก

### 1.1.2 ปัญหาพลังงานกับสถาปัตยกรรม

จากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นแสดงให้เห็นว่า ประเทศไทยนั้น กำลังประสบปัญหาด้านพลังงานอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา และมีการขยายตัวของเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง โดยที่พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สำคัญมากที่สุดในกิจกรรมทุกประเภท ซึ่งทาง สพช. ได้เรียงลำดับประเภทของอาคารที่มีการใช้พลังงานสูงสุด 3 ประเภท ได้แก่

1. อาคารประเภทอุตสาหกรรม
2. อาคารประเภทพาณิชยกรรม
3. อาคารประเภทที่พักอาศัย

อีกทั้งประเภทของอาคารขนาดใหญ่ที่มีการใช้พลังงานสูง ได้แก่

1. โรงแรม
2. สำนักงาน
3. ศูนย์การค้า
4. โรงพยาบาล
5. สถานศึกษา

ตารางที่ 1.2 แสดงลักษณะการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	พลังงานไฟฟ้า (%)	พลังงานความร้อน (%)
โรงแรม	70-75	25-30
สำนักงาน	100	-
ศูนย์การค้า	100	-
โรงพยาบาล	80-85	15-20
สถานศึกษา	100	-

\*หมายเหตุ : พลังงานความร้อน คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น น้ำมันเตา ถ่าน

จากตารางที่ 1.2 เมื่อแยกการใช้พลังงานในอาคาร พอที่จะแยกประเภทของพลังงานที่ใช้ อยู่ในอาคารออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. พลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานไฟฟ้าหลักและจำเป็นต้องใช้ในทุกอาคาร ยกตัวอย่างเช่น ระบบปรับอากาศ , ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง , ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องกล , เครื่องมือต่างๆ ในอาคาร
2. พลังงานความร้อน จะมีใช้ในบางอาคารเท่านั้น เช่น พลังงานเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ เป็นต้น

ตารางที่ 1.3 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารตามระบบต่าง ๆ

ประเภทของอาคาร	การปรับอากาศ (%)	แสงสว่าง (%)	อื่น ๆ (%)
โรงแรม	60-70	15-20	10-25
สำนักงาน	50-60	20-30	10-20
ศูนย์การค้า	60-65	20-25	10-20
โรงพยาบาล	50-60	20-30	10-30
สถานศึกษา	30-45	30-50	5-40

จากข้อมูลในตาราง 1.3 นี้ การพิจารณามาตรการในการประหยัดพลังงาน จึงมุ่งเน้นที่ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นสำคัญ

### 1.1.3 ปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าในอาคารสถานศึกษา

อาคารสถานศึกษาเป็นอาคารทางราชการประเภทหนึ่ง ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อตอบสนองและใช้งานทางการศึกษา โดยงบประมาณการใช้จ่ายในอาคารเป็นงบประมาณที่ทางมาจากทางรัฐ เป็นรูปของเงินแผ่นดิน ในปีหนึ่ง ๆ รัฐต้องเสียรายได้ไปกับค่าใช้จ่ายด้านบำรุงรักษาอาคารและจ่ายค่าพลังงาน (ไฟฟ้า) ในปริมาณที่สูง นั้นหมายถึงค่าเงินของประชาชนที่ต้องเสียด้วย การประหยัดพลังงานในอาคารราชการจึงมีความจำเป็น แต่เดิมในอดีตอาคารเพื่อการศึกษา นั้นเป็นอาคารที่ไม่ใหญ่มากนัก แต่เมื่อมาถึงปัจจุบันค่าที่ดินและปริมาณจำนวนผู้ใช้อาคาร รวมถึงแนวความคิดทางสถาปัตยกรรมเปลี่ยนไปมาก การออกแบบอาคารเพื่อสถาบันการศึกษานั้น จึงต้องคำนึงถึงการให้พื้นที่ที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงเกิดเป็นรูปแบบอาคารสูง ที่เป็นขนาดใหญ่มากมาย ส่งผลให้พนักงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้นด้วย

### 1.1.4 ปัญหาด้านพลังงานของอาคารที่ทำการศึกษา

อาคารกรณีศึกษา อาคารมหามกุฏ (อาคารเรียนและปฏิบัติการ) อาคารนี้เป็นอาคารที่ 25 ของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอาคารที่ออกแบบมาเพื่อเป็นอาคารเรียน

รวมและปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ สำนักงานภาควิชาและห้องพักอาจารย์ เป็นอาคารที่มีความสูง 104.52 เมตร จำนวน 20 ชั้น (ไม่รวมชั้นใต้ดิน 1 ชั้น) พื้นที่ใช้สอย 53,684.00 ตารางเมตร เป็นอาคารที่เปิดให้บริการด้านการเรียนการสอนตลอดทั้งปี



รูปที่ 1.1 อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### ปัญหาที่เกิดขึ้นและสาเหตุในการเลือกอาคารมาทำการศึกษา

1) อาคารนี้เป็นอาคารที่อยู่ในข่ายต้องมีการควบคุม เพราะอาคารหลังนี้เป็นอาคารขนาดใหญ่ที่มีลักษณะอยู่ในข้อกำหนดของอาคารควบคุมตามพระราชกฤษฎีกา เรื่องการกำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538

2) ระบบสถาปัตยกรรมที่สื่อได้ถึงแนวโน้มในการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากด้านเปลือกอาคารจะเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสี และมีช่องผนังโปร่งเป็นกระจกตัดแสงสีชา พื้นที่ปรับอากาศอยู่ทางทิศใต้ , ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก โดยที่บางช่วงไม่มีแผงบังแดด (Shading Device) ป้องกันโดยเฉพาะทางทิศใต้ มีผลถึงพลังงานที่สูญเสียของระบบปรับอากาศ

3) ทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีนโยบายในการสนับสนุนการประหยัดพลังงานเพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายและพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้คุ้มค่าที่สุด แต่ทั้งนี้การประหยัดพลังงานควรมีการศึกษากิจกรรมการใช้งานในอาคารนั้น ๆ ได้อย่างถูกต้อง จึงจะถือว่าเป็นการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับผู้ใช้อาคาร

4) จากการสำรวจอาคารเบื้องต้นพบว่าการพยายามที่จะประหยัดพลังงานเช่นกัน แต่เป็นการกระทำที่ไม่มีทิศทางและสาเหตุที่แน่ชัด เพราะหลังจากที่อาคารได้เปิดให้บริการทางมาระยะหนึ่ง พบว่าค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้ามีค่าสูงมาก ทางอาคารจึงพยายามหาวิธีในการลดค่าใช้จ่ายนั้นให้ได้มากที่สุด แต่ปัญหาที่พบคือมิเตอร์ที่ใช้ในการดูและบันทึกการใช้พลังงานนั้น เป็นมิเตอร์ไฟฟ้ารวม ทำให้ไม่อาจจำแนกประเภทการใช้งานออกมาได้ การประหยัดพลังงาน จึงไม่มีความชัดเจนทั้งทิศทางและวิธีการ

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นการตรวจสอบพลังงานอาคารโดยการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารราชการขนาดใหญ่ ลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาแนวทางปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าปรับอากาศ ที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพและลดภาระค่าใช้จ่ายของทางหน่วยงาน โดยพิจารณาในด้านความสามารถในการลดภาระไฟฟ้า และความคุ้มค่าในการปรับปรุงเป็นสำคัญ

### จุดประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารและหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้อาคารมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง
2. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสภาพการใช้พลังงานอาคาร เพื่อเป็นแนวทางในการลดพลังงานจริง
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ
4. เพื่อค้นหาแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร
5. เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายของอาคารลงให้ได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามแผนการดำเนินงานการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการสำรวจ และอ้างอิงจากทฤษฎีการวางรูปแบบของพื้นที่ใช้สอยในอาคารที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดด้านประหยัดพลังงาน ส่วนที่มีการสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานที่สุดคือส่วนที่เป็นสำนักงาน เพราะนอกจากทิศทางการวางอาคารที่อยู่ในทิศใต้ที่จะโดนแสงอาทิตย์ส่องตลอดทั้งวัน

แล้ว วัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอกยังเป็นวัสดุที่มีอัตราการดูดและคายความร้อนที่สูง คือเป็นผนังอคูมิเนียมและกระจกตลอดทั้งผนัง

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

- 1.4.1 ภูมิอากาศในประเทศไทย
- 1.4.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความร้อนและคุณสมบัติต่าง ๆ
- 1.4.3 แนวความคิดในการประหยัดพลังงาน
- 1.4.4 โปรแกรมโด 2.1 (DOE2.1) สำหรับการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร

#### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ จะมุ่งเน้นในการลดภาระการใช้ไฟฟ้าที่ใช้อยู่เป็นประจำตามกิจกรรมของอาคาร ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับงานปรับอากาศ ไม่รวมถึงพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง , เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถกำหนด และตรวจวัดได้ โดยให้อุปกรณ์เหล่านี้ถือเป็นตัวแปรคงที่

1. ทำการศึกษารายละเอียดและพื้นที่การใช้พลังงานไฟฟ้าปรับอากาศในอาคาร
2. ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิจัยจะเป็นข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจ และนำมาเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้จำลองสภาวะการใช้พลังงานในคอมพิวเตอร์
3. ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลเพื่อเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ที่ได้จากการคำนวณเท่านั้น

#### 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 ทำการรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน, ทฤษฎี, แนวความคิด, เทคนิคในการประหยัดพลังงาน, ตัวแปรและเอกสารเกี่ยวข้อง, กฎหมายพลังงาน

1.6.2 ทำการศึกษาและสำรวจรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับอาคารตัวอย่าง โดยเป็นข้อมูลดังนี้

- 1) ศึกษาข้อมูลอาคารเบื้องต้น
- 2) ศึกษาข้อมูลทางด้านสถาปัตยกรรมและจำแนกพื้นที่ใช้สอยภายใน
- 3) ศึกษาข้อมูลการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบไฟฟ้าปรับอากาศ
- 4) ศึกษาข้อมูลผู้ใช้อาคารและการใช้งานอาคาร

5) ศึกษาปัญหาที่น่าจะเป็นตัวแปรในการทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงด้านการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

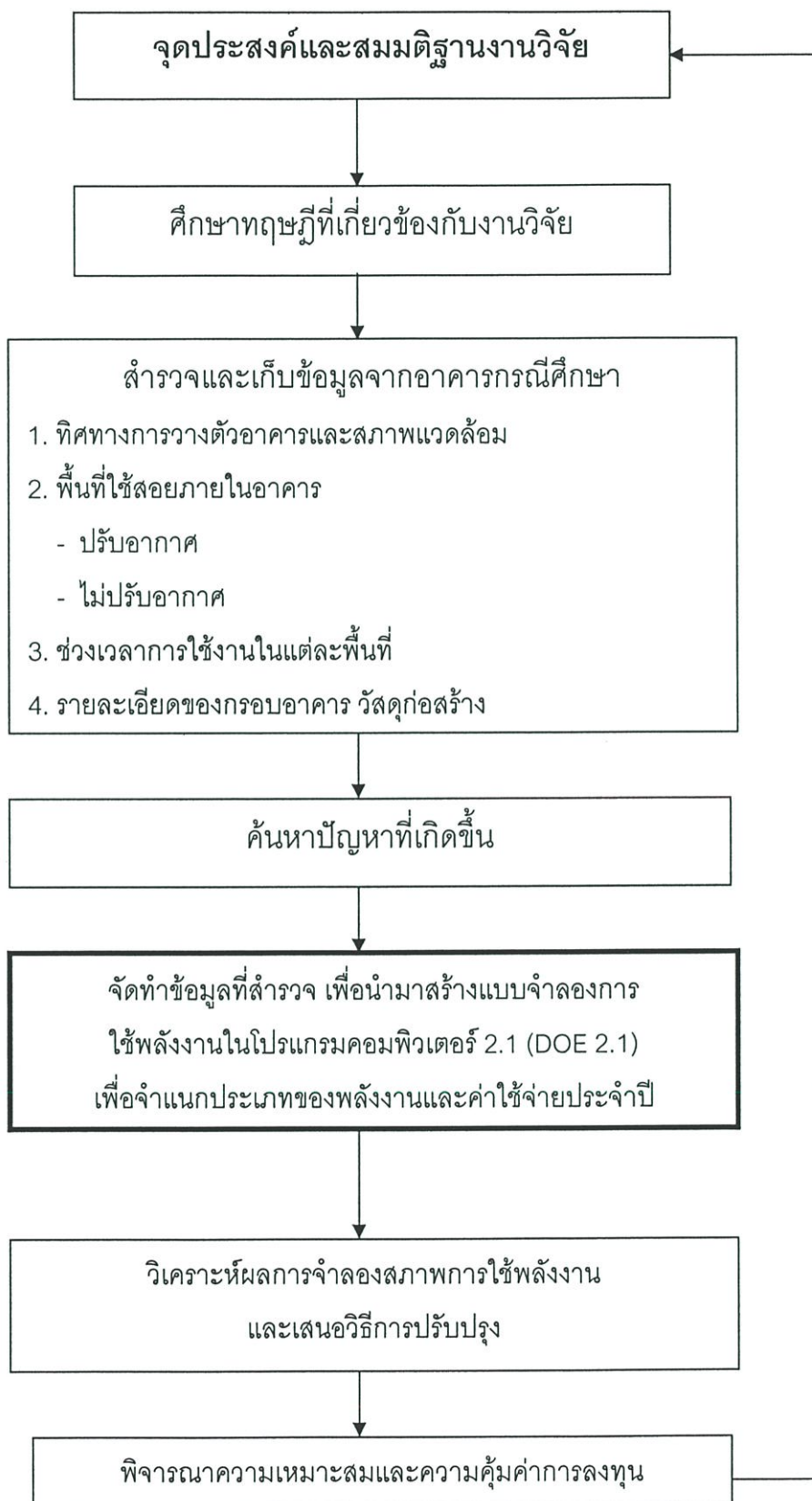
1.6.3 นำข้อมูลที่ได้มาจำลองสภาพการใช้พลังงานลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์

- 1) สัดส่วนการใช้พลังงาน
- 2) ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงาน
- 3) ดัชนีที่มีผลต่อการการใช้พลังงานในส่วนต่าง ๆ
- 4) ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

1.6.4 ประเมินค่าพลังงานไฟฟ้า และปัจจัยที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในระบบปรับอากาศ

1.6.5 วิเคราะห์ปัญหาและเสนอแนวทางแก้ไขปรับปรุงอาคาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

1.6.6 สรุปผลแผนการดำเนินการที่เหมาะสมในการนำไปปฏิบัติเพื่อการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1.2 แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

- 2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน
- 2.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับความร้อน
- 2.3 ระบบปรับอากาศ
- 2.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- 2.5 การวิเคราะห์พลังงาน
- 2.6 การปรับปรุงอาคารเพื่อลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

### 2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

กฎกระทรวงฉบับที่ 1 ออกตามความในมาตรา 6 และมาตรา 10 ของ พรบ.ฯ ว่าด้วยกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุมสาระสำคัญของกฎกระทรวงฯ แบ่งเป็น 3 หมวดที่สำคัญดังนี้

หมวด 1 กำหนดว่ากฎกระทรวงนี้ใช้กับอาคารควบคุมตาม พระราชกฤษฎีกา กำหนดอาคารควบคุม และกำหนดความหมายของคำว่า “อาคารใหม่” และ “อาคารเก่า” ไว้ดังนี้

“อาคารเก่า” หมายความว่า อาคารที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จ หรือกำลังก่อสร้าง หรือยังไม่ได้ก่อสร้าง แต่ได้ยื่นขออนุญาตก่อสร้างไว้แล้ว ก่อนกฎกระทรวงนี้มีผลใช้บังคับ

“อาคารใหม่” หมายความว่า อาคารที่ได้ยื่นขออนุญาตก่อสร้าง หลังวันที่กฎกระทรวงนี้มีผลบังคับใช้ โดยกฎกระทรวงฯ จะมีผลบังคับใช้ 100 วัน หลังจากวันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด 2 กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ ดังนี้

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า จะต้องไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตรของหลังคา

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศจะต้องมีค่าดังต่อไปนี้

1. สำหรับอาคารใหม่ ไม่เกิน 45 วัตต์ต่อตารางกิโลเมตร ของผนังด้านนอก
2. สำหรับอาคารเก่า ไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางกิโลเมตร ของผนังด้านนอก

การคิดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ ให้คำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามขนาดพื้นที่ของผนังด้านนอก แต่ละด้านรวมกัน หรือส่วนของผนังด้านนอกแต่ละด้านรวมกันของส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ

หมวด 3 กำหนดการใช้พลังงานในอาคาร การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างในอาคาร โดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ และมาตรฐานการปรับอากาศในอาคาร

1. การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างในอาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ ในกรณีที่มีการส่องสว่างด้วยไฟฟ้าในอาคาร จะต้องให้ได้ระดับความส่องสว่าง สำหรับงานแต่ละประเภท อย่างเพียงพอ ตามหลักและวิธีการที่ยอมรับได้ทางวิศวกรรม และอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคาร (แยกประเภท)

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัดต่อตารางเมตรของ พื้นที่ใช้งาน)
ก. สำนักงาน โรงแรม สถานศึกษาและโรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	16
ข. ร้านขายของ ซูเปอร์มาร์เก็ต หรือศูนย์การค้า	23

2. มาตรฐานการปรับอากาศในอาคาร ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคาร จะต้องมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น ที่ภาระเต็มพิกัด (full load) หรือที่ภาระใช้งานจริง (actual load) ไม่เกินกว่าค่าตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าภาระกำหนดการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ชนิดส่วนทำความเย็น / เครื่องทำความเย็น	อาคารใหม่ (KW / ตันความเย็น)	อาคารเก่า (KW / ตันความเย็น)
ก. ส่วนทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal chiller)		
- ขนาดไม่เกิน 250 ตันความเย็น	0.75	0.90
- ขนาดเกินกว่า 250 ถึง 500 ตันความเย็น	0.70	0.84
- ขนาดเกินกว่า 500 ตันความเย็น	0.67	0.80
ข. ส่วนทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (reciprocating chiller)		
- ขนาดไม่เกิน 35 ตันความเย็น	0.98	1.18
- ขนาดเกินกว่า 35 ตันความเย็น	0.91	1.10
ค. เครื่องทำความเย็นแบบเป็นชุด (package unit)	0.88	1.06
ง. ส่วนทำน้ำเย็นแบบสกรู (screw chiller)	0.70	0.84

ตารางที่ 2.3 แสดงค่ากำหนดภาระการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ

ชนิดส่วนทำความเย็น / เครื่องทำความเย็น	อาคารใหม่ (กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)	อาคารเก่า (กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)
ก. ส่วนทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal chiller)		
- ขนาดไม่เกิน 250 ตันความเย็น	1.40	1.61
- ขนาดเกินกว่า 250 ตันความเย็น	1.20	1.38
ข. ส่วนทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (reciprocating chiller)		
- ขนาดไม่เกิน 50 ตันความเย็น	1.30	1.50
- ขนาดเกินกว่า 50 ตันความเย็น	1.25	1.44
ค. เครื่องทำน้ำเย็นแบบเป็นชุด (package unit)	1.37	1.37
ง. เครื่องทำความเย็นแบบติดหน้าต่าง / แยกส่วน (window / split type)	1.40	1.40

## 2.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับความร้อน

### 2.2.1 กลไกของการถ่ายเทความร้อน

การที่สามารถรักษาระดับความรู้สึกลบภายในอาคารไม่ว่าเป็นอาคารทางอุตสาหกรรม อาคารสำนักงาน หรือ อาคารบ้านพักอาศัย ย่อมทำให้สุขภาพและประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรในอาคารเหล่านี้สูงขึ้น ความร้อนจะมาในรูปลักษณะใดก็ตามเมื่อถึงระดับหนึ่งแล้ว จะกระทบหรือส่งผลต่อความรู้สึกไม่สบายอย่างแน่นอน ดังนั้นการควบคุมความร้อนไม่ให้ผ่านทะลุหลังคาผนังหรือกรอบอาคารในลักษณะอื่นเข้าไปในอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็น การทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ และผลกระทบตามมาจะช่วยให้การออกแบบควบคุมความร้อนในสิ่งแวดล้อมของอาคารดีขึ้น

### 2.2.2 ธรรมชาติของความร้อน

ความร้อนเป็นรูปหนึ่งของพลังงาน เมื่อเข้าสู่วัตถุใดจะทำให้อุณหภูมิของวัตถุนั้นสูงขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้อธิบาย โดยทฤษฎี "The Kinetic Theory of Matter" วัตถุใดก็ตามจะประกอบขึ้นด้วย โมเลกุล และโมเลกุลเหล่านี้จะขยับเคลื่อนที่ต่อเนื่องตลอดเวลา ทุกอุณหภูมิที่มีค่าสูงกว่า อุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute Zero) หรือที่  $-273.15^{\circ}\text{C}$  เมื่อวัตถุได้รับความร้อน โมเลกุลของวัตถุนั้นจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น อุณหภูมิของวัตถุก็จะสูงขึ้นตาม ที่เราเรียกว่า "ร้อนขึ้น" ในทางตรงข้าม ถ้าเคลื่อนย้ายความร้อนออกไปจากวัตถุ โมเลกุลของวัตถุนั้นก็จะเคลื่อนที่ช้าลง อุณหภูมิก็จะลดลง ซึ่งเราเรียกว่า "เย็นลง" ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นทั้งในวัตถุที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เพียงแต่เมื่อได้รับความร้อนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะเกิดขึ้นเร็วช้าต่างกันตามสถานะของวัตถุ

### 2.2.3 อุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute Zero)

อุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ เป็นอุณหภูมิทางทฤษฎี ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่โมเลกุลของสสารหยุดการขยับตัว ถ้าวัดโดยมาตรา celsius ณ อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  เป็นอุณหภูมิที่น้ำแข็งเริ่มหลอมละลายที่เราเรียกว่า "จุดเยือกแข็ง" และที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นอุณหภูมิที่น้ำเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซที่เรียกว่า "จุดเดือด" ค่าอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์มีค่าที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง  $273.15^{\circ}\text{C}$  หน่วยที่ใช้วัดมาตรานี้เรียกว่า Kelvin มีตัวย่อว่า "K" อุณหภูมิที่น้ำแข็งละลายเท่ากับ  $273.15$  องศา K และอุณหภูมิที่น้ำเดือดเท่ากับ  $373.15$  องศา K ช่วง 1 องศาของมาตรา Kelvin เท่ากับ 1 องศาของมาตรา celsius

### 2.2.4 ความแตกต่างระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ

ในช่วงที่ผ่านมาได้เคยมีผู้กล่าวไว้ว่า เมื่อความร้อนเข้าสู่วัตถุ อุณหภูมิของวัตถุก็จะสูงขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ของความร้อนและอุณหภูมิจึงเป็นความจริงตามที่กล่าวถึง เพียงแต่ว่าปริมาณความร้อนที่เท่ากัน ไม่จำเป็นต้องมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากัน หรือในทางตรงข้ามอุณหภูมิที่

เพิ่มขึ้นเท่ากันไม่จำเป็นต้องมีความร้อนเข้าสู่วัตถุเท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุและขนาดของวัตถุซึ่งสามารถเห็นได้ชัดจากตัวอย่างที่จะยกมาแสดงใน 2 ตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 : เหล็กเส้นเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วกับเข็มเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ม.ม. วัตถุทั้งสองเป็นวัตถุที่ประกอบขึ้นด้วยโมเลกุลอย่างเดียวกัน เหล็กเส้นต้องวางอยู่ในเตาไฟชั่วคราว จึงจะร้อนแดงเปล่งแสง แต่เข็มเหล็กเพียงลนไว้ด้วยไม้ขีดไฟได้ไม่นานก็มีอาการร้อนแดงเปล่งแสง เช่นเดียวกัน สภาพอุณหภูมิที่เหล็กเส้นและเข็มเหล็กจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งปรากฏมาในลักษณะแดงเปล่งแสง แต่ปริมาณความร้อนที่วัตถุทั้ง 2 ได้รับจะไม่เท่ากัน

ตัวอย่างที่ 2 : ภาชนะ 2 ใบ 'A' และ 'B' บรรจุน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากัน แต่ปริมาณต่างกันคือ ภาชนะ 'A' ให้น้ำ 1 ลิตร และภาชนะ 'B' ใส่น้ำ 2 ลิตร นำภาชนะทั้ง 2 ตั้งอยู่บนเตาไฟด้วยกันภาชนะ 'B' จะต้องใช้เวลานานกว่าภาชนะ 'A' ประมาณ 2 เท่า น้ำในภาชนะจึงจะเดือดเหมือนภาชนะ 'A' เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่า การทำให้วัตถุมีอุณหภูมิขึ้นสูงถึงระดับหนึ่ง เช่น  $100^{\circ}\text{C}$  ซึ่งปรากฏในลักษณะน้ำเดือด ปริมาณความร้อนที่ใส่เข้าไปในวัตถุ (น้ำในภาชนะทั้งสอง) จะมีค่ามากน้อยไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ (ปริมาณน้ำในภาชนะ) ขนาดวัตถุที่มีขนาดใหญ่จะจุความร้อนมากกว่าจึงมีอุณหภูมิสูงช้ากว่า เช่น น้ำในภาชนะ 'B' มีปริมาณเป็น 2 เท่า ของน้ำในภาชนะ 'A' จึงต้องใช้เวลาประมาณ 2 เท่าของการอุ่นภาชนะ 'A' จึงจะมีอุณหภูมิของน้ำเท่ากับในภาชนะ 'A'

### 2.2.5 หน่วยวัดความร้อนและอัตราการไหลของความร้อน

หน่วยของความร้อนเรียกว่า "Joule" ใช้ตัวย่อว่า "J" ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างที่ 2 ในหัวข้อที่ผ่านมาได้พูดถึงปริมาณความร้อน ที่ใส่ให้กับภาชนะ 'A' และ 'B' ซึ่งบรรจุน้ำไม่เท่ากัน ต้องใช้ปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน จึงจะทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนขึ้นถึงระดับเดียวกัน แต่ไม่ทราบว่าเป็นปริมาณความร้อนเท่าไร ถ้าเราอธิบายด้วยหน่วยความร้อนแล้วก็จะเห็นภาพที่ชัดเจน

ด้วยคุณสมบัติของความจุความร้อนของน้ำ การทำปริมาณน้ำ 1 กก. ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา K จะต้องใช้ปริมาณความร้อน 4185.8 J ดังนั้น ถ้าน้ำในภาชนะทั้ง 2 มีอุณหภูมิก่อนตั้งไฟเท่ากับ  $210^{\circ}\text{C}$  ตั้งไฟจนเดือด คือ  $100^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $90^{\circ}\text{C}$  ปริมาณความร้อนที่ใช้กับภาชนะ 'A' =  $1 \times 90 \times 4185.8 = 376,722 \text{ J}$  สำหรับภาชนะ 'B' =  $2 \times 90 \times 4185.8 = 753,444 \text{ J}$  แล้วก็จะเห็นได้ชัดถึงความแตกต่างของปริมาณความร้อนที่ใช้กับภาชนะ 'A' และภาชนะ 'B' คือภาชนะ 'B' ต้องรับความร้อนเพิ่มจากภาชนะ 'A' ถึง 376,722 J จึงจะได้อุณหภูมิของน้ำเท่ากับน้ำในภาชนะ 'A'

หน่วยอัตราการไหลของความร้อนเรียกว่า "Watt" ใช้ตัวย่อว่า "W" วัดเป็นกำลังงานที่ใช้ไป เมื่อพลังงานถูกใช้ในอัตรา 1 Joule ต่อวินาที เขียนเป็นสมการ  $1\text{W} = 1\text{J/S}$  ความร้อนจะไหล

จากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่ง หรือ ไหลจากผิวหนึ่งไปสู่อีกผิวหนึ่งของวัตถุขึ้นเดียวกัน เมื่อมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างวัตถุทั้ง 2 หรือ ผิวทั้ง 2

## 2.2.6 วิธีของการถ่ายเทความร้อน

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้น (Tropical Zone) ลักษณะอากาศโดยทั่วไปเกือบทุกภาคจะร้อนและมีแสงแดดตลอดทั้งปี จากสาเหตุนี้เองจึงเป็นผลทำให้อาคารในประเทศประสบปัญหาในการป้องกันความร้อนสู่อาคาร ประเภทของการถ่ายเทความร้อน เกิดขึ้นได้ 3 วิธี ได้แก่

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Heat Transfer by Conduction) หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลสู่มอเลกุล หรือการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลาง หรือมวลวัตถุ เช่นการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพง เป็นต้น และความร้อนจะไหลจากอุณหภูมิสูงไปสู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่เคลื่อนที่

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Heat Transfer by Convection) หมายถึง การถ่ายเทความร้อนในแนวตั้ง โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอากาศ ก๊าซ หรือของเหลวที่มีอุณหภูมิหรือความหนาแน่นแตกต่างกัน เป็นสื่อกลาง เช่น ภายในอาคารความร้อนจะผ่านผนังเข้ามาโดยการนำ (Conduction) จากนั้นผิวของผนังด้านในจะร้อนขึ้น อากาศที่ร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ก็จะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายในห้องที่อุณหภูมิต่ำกว่า จะหมุนเวียนไปแทนที่ เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพา ทำให้ห้องจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Heat Transfer by Radiation) หมายถึง การถ่ายเทความร้อน โดยการที่ความร้อนเคลื่อนที่โดยตรง โดยไม่ผ่านตัวกลางใด ๆ ทั้งสิ้น ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) จากผิวที่มีความอุณหภูมิสูงกว่า ไปสู่วิวที่เย็นกว่า โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทผ่านสุญญากาศมายังโลก เป็นต้น โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

3.1 คลื่นช่วงยาว (Long Wave) คือแสงสว่างที่ทำให้เรามองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้ และเมื่อส่องผ่านบรรยากาศจะทำให้อาคารร้อนขึ้น

3.2 คลื่นช่วงสั้น (Short Wave) คือรังสีความร้อน (Heat Radiation) เป็นคลื่นรังสีที่ไม่ให้แสงสว่างและไม่ทำให้อากาศรอบ ๆ ตัวเราร้อนแต่จะทำให้วัตถุที่โดนกระทบร้อนขึ้น

## 2.2.7 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

2.2.7.1 ความจุความร้อนของผนัง (Thermal Heat Capacity) ผนังที่มีความจุ ความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านผนังเป็นไปในอัตราที่ช้าลง

2.2.7.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนและผิวผนังกับสภาพแวดล้อม (Long Wave Radiation Heat Exchange) เมื่อเกิดความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างผนังกับผิววัสดุอื่น ๆ ก็ จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น โดยเฉพาะในรูปการแผ่รังสี

2.2.7.3 การถ่ายเทความร้อนของผนังให้กับอากาศโดยตรง โดยการพา ความร้อน (Surface Convection) การถ่ายเทความร้อนของผนังด้วยวิธีนี้ ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่ พัดผ่านผิวและลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของ Surface Convection ที่มีต่อปริมาณการถ่ายเท ความร้อนของผนังมีค่าน้อยมากในกรณีที่ ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

2.2.7.4 ความสามารถในการดูดกลืน และกระจายพลังงานความร้อนของ เปลือกอาคาร (Surface Absorption and Surface Emission) ค่าการดูดกลืนความร้อน (Surface Absorption) จะแปรผันตามความเข้มของ "สีผิว" คือ เมื่อผิวของวัตถุมีสีเข้มมากก็จะมี ค่าการดูดกลืนความร้อนสูง โดยที่ค่ากระจายความร้อน (Surface Emission) ของสีทามันทั้งไป จะมีค่าดูดกลืนความร้อนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพในการกระจายความร้อนสูง

2.2.7.5 การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง (Time Lag) วัตถุที่มีค่ามวลสาร มาก จะมีค่าหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่าวัตถุที่มีค่ามวลสารน้อยกว่า แต่การหน่วงเหนี่ยวความ ร้อนของวัตถุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ และที่สำคัญคือ ปริมาณความร้อนที่มาก พอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (Fill Up Heat Capacity) ก่อนจะถ่ายเทไปใ นชั้นต่อไป

ตัวอย่าง ตำแหน่งของการใส่ฉนวนความร้อนของผนังก่ออิฐฉาบปูน ที่ใส่ไว้ด้านนอก จะได้ผลมากกว่าใส่ภายใน ทั้งนี้เพราะความร้อนต้องผ่านฉนวนก่อนที่จะเข้าสู่ผนัง ทำให้ Time Lag ของผนังมีค่านานขึ้น

2.2.7.6 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Overall Coefficient of Heat Transmission, U) การคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายใน ส่วนใหญ่มักใช้ค่า U เป็นหลักในการ คำนวณ

## 2.2.8 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ นอกจากอิทธิพลจากภายนอกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของวัสดุด้วย คุณสมบัติกับของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

2.2.8.1 อัตราส่วนที่ความร้อนถ่ายเทของวัสดุ (Conductivity, K)

2.2.8.2 อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน (Conductance, C)

2.2.8.3 ค่าความต้านทานความร้อน (Resistance, R)

#### 2.2.8.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(Coefficient of Heat Transmission, U)

### 2.2.9 คุณสมบัติเชิงอุณหภาพของวัสดุก่อสร้าง

คุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างต่างๆ ไปที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านเนื้อวัสดุนั้นมี 3 ประการ คือ

#### 2.2.9.1 สภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

#### 2.2.9.2 ความร้อนเฉพาะ (Specific Heat)

#### 2.2.9.3 ความหนาแน่น (Density)

2.2.9.1 สภาพการนำความร้อน (THERMAL CONDUCTIVITY) คือ การวัดความสามารถ หรือประสิทธิภาพ การยอมให้ความร้อนผ่านเนื้อวัสดุไปได้มาเพียงใด มีคำย่อว่า "k" ถ้าจะอธิบายตามหลักวิชาการแล้ว คือการวัดอัตราการไหลของความร้อนผ่านเนื้อวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น วัสดุ มีค่า "k" เท่ากับ 1.หมายความว่า 1 ลูกบาศก์เมตรของวัตถุยอมให้ ความร้อนผ่านด้วยอัตรา 1 วัตต์ต่อทุกอุณหภูมิต่างกัน 1 °C ของผิวตรงข้ามทั้ง 2 ด้านของวัตถุนั้นๆ สภาพการนำความร้อน มีหน่วยเป็น W/m. °C

$$\text{Thermal conductivity} = \text{Heat flow rate} \div (\text{Area} \times \text{Temperature gradient})$$

ค่าสภาพการนำของวัสดุก่อสร้างโดยทั่วไปมีช่วงต่างกันมาก ตามแต่ชนิดของวัสดุ ก่อสร้างมีระหว่าง 0.14 – 200 W/m.°C สำหรับวัสดุก่อสร้างที่เป็นฉนวนความร้อนโดยทั่วไปจะมีค่า 'k' ระหว่าง 0.02 – 0.09 W/m.°C

ตรงข้ามกับสภาพการนำความร้อน คือ สภาพการต้านความร้อน วัสดุที่มีสภาพการนำความร้อนที่ดี ก็จะมีสภาพการต้านความร้อนที่ดี สภาพการต้านความร้อนนี้ใช้อักษรย่อว่า "r"

$$R \text{ มีค่า} = 1/k \text{ มีหน่วยเป็น W/m.}^{\circ}\text{C}$$

THERMAL CONDUCTANCE คือค่าการนำความร้อนผ่านเนื้อวัตถุจากผิวหนึ่ง ไปสู่อีกผิวหนึ่งของวัตถุนั้นๆ ใช้ตัวอักษรย่อ "C" ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะความร้อนผ่านเนื้อวัตถุจากผิวหนึ่งไปสู่อีกผิวหนึ่งเร็วขึ้น เป็นเหตุให้อุณหภูมิผิวด้านตรงข้ามกับด้านที่สัมผัสความร้อนเพิ่มเร็วขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งอาจอธิบายได้ว่าปริมาณความร้อนผ่านเนื้อวัสดุมากขึ้น เช่น วัตถุ หน้า 1 เมตร มีค่า 'C' = 1 W/m<sup>2</sup>°C

เช่นเดียวกับสภาพการต้านความร้อน ค่าการต้านความร้อนมีค่าผกผันกับค่าการนำความร้อน มีตัวย่อว่า "R" มีค่าเท่ากับ 1/C มีหน่วยเป็น m<sup>2</sup> x °C /W ใช้เป็นตัวเลขคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารโดยต่อไป

2.2.9.2 ความร้อนเฉพาะ (SPECIFIC HEAT) ปริมาณความร้อนที่เพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  แก้ววัตถุหนัก 1 กิโลกรัม คือ ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัตถุนั้น โดยทั่วไปค่าความจุความร้อนของวัตถุแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น ความจุความร้อนของน้ำที่  $15^{\circ}\text{C}$  มีค่าเท่ากับ 4185.8 Joules ในขณะที่อิฐมีความจุความร้อนประมาณ 837.2 Joules ซึ่งมีค่าน้อยกว่าน้ำถึง 5 เท่า เป็นต้น

ความร้อนเฉพาะ คือ อัตราส่วนของความจุความร้อนของวัตถุต่อความจุความร้อนของน้ำที่  $15^{\circ}\text{C}$  ดังนั้น ความร้อนเฉพาะของอิฐมีค่าเท่ากับ 0.2 (มีค่าจาก  $837.2 / 4185.8$ ) ค่าความร้อนเฉพาะของวัตถุที่เป็นสารอินทรีย์ จะมีค่าระหว่าง 0.18 - 0.21 ในขณะที่วัตถุจำพวกสารอินทรีย์เช่น ไม้ หรือผลิตภัณฑ์ของไม้จะมีค่าระหว่าง 0.35 - 0.45 ค่าความร้อนเฉพาะใช้ตัวย่อ "S" โดยทั่วไปสามารถหาค่าความจุความร้อนของวัตถุ โดยใช้ค่าความร้อนเฉพาะของวัตถุนั้นคูณด้วยค่าความจุความร้อนของน้ำที่  $15^{\circ}\text{C}$  ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\text{ค่าความจุความร้อนของวัตถุ} = S \text{ ของวัตถุนั้น} \times 4,185.8 \text{ joules}$$

2.2.9.3 ความหนาแน่น (DENSITY) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อความสามารถการถ่ายเทความร้อนของวัตถุ มีตัวย่อเป็น "P" และมีหน่วยเป็น  $\text{Kg}/\text{M}^3$

ความหนาแน่นของวัตถุก่อสร้างโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1,000 - 2,600 กก/ลบม. ในขณะที่ วัตถุประเภทฉนวนความร้อน มีความหนาแน่น เพียง 16 - 300 กก/ลบม. ซึ่งเป็นค่าแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของวัตถุเป็นปฏิภาคโดยตรงต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัตถุนั้นๆ หมายความว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นยิ่งมากโดยปกติแล้วจะเป็นตัวนำความร้อนยิ่งดี ในทางตรงกันข้าม วัตถุใดที่มีความหนาแน่นยิ่งน้อยก็จะเป็นฉนวนความร้อนยิ่งดี

ตามที่กล่าวแล้ว โดยทั่วไปวัตถุที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมีค่า 'k' สูงกว่า ยกเว้นวัตถุประเภทเส้นใย วัตถุประเภทนี้จึงมีความหนาแน่นจนที่ระดับหนึ่ง ที่มีสภาพการนำสูงที่สุด ถ้าความหนาแน่นมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าดังกล่าว สภาพในการนำก็จะลดลง ในกรณีการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อย ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุประเภทนี้จะต้องระงับการถ่ายความร้อนด้วยวิธีการพา และการแผ่รังสี

นอกจากคุณสมบัติหลักทั้ง 3 ข้อนี้แล้ว ยังมีคุณสมบัติย่อยอีก 2 ข้อ ที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มลดความสามารถการถ่ายเทความร้อนของวัตถุโดยเฉพาะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการนำ คุณสมบัติทั้ง 2 ข้อ คือ ความชื้นของวัตถุ และอุณหภูมิของวัตถุ

### 2.2.10 อิทธิพลของความชื้นหรืออุณหภูมิที่มีผลต่อสภาพการนำความร้อนของวัสดุ

ปริมาณความชื้นในเนื้อวัสดุ มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการนำของวัสดุนั้น ๆ เพราะความชื้นคือการเพิ่มปริมาณน้ำในเนื้อวัสดุ และน้ำมีประสิทธิภาพการนำความร้อนค่อนข้างดีสามารถนำความร้อนดีกว่าฉนวนทั่ว ๆ ไปถึง 10 เท่า ดังนั้น ฉนวนที่ชื้น สภาพการเป็นฉนวนจะลดลง มีการทดสอบว่าความสามารถการนำความร้อนของอิฐ ในสภาพแห้งสนิท กับสภาพมีความชื้น 12 % ของน้ำหนัก ปรากฏว่าในสภาพแห้งสนิทแห่งตัวนำ (k) เท่ากับ 0.8077 W/m °C ในขณะที่ความชื้น 12 % ของน้ำหนัก ค่าตัวนำ (k) เพิ่มขึ้นเป็น 1.4711 W/m °C

ส่วนอิทธิพลเรื่องอุณหภูมิของวัสดุที่มีผลต่อสภาพการนำความร้อนของวัสดุนั้น จะไม่เหมือน กับอิทธิพลเรื่องความชื้นเพราะไม่มีหลักการที่แน่นอน แต่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุ วัสดุบางชนิดมีสภาพการนำความร้อนดีขึ้นเมื่อวัสดุนั้นมีอุณหภูมิสูงมากขึ้น ในขณะที่วัสดุบางชนิดมีสภาพ การนำแย่งลง เมื่อวัสดุนั้นมีอุณหภูมิสูงมากขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น วัสดุก่อสร้างทั่วไป เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสภาพการนำความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้นตาม ในขณะที่วัสดุจำพวกเหล็กเมื่ออุณหภูมิสูง สภาพการนำความร้อนของวัสดุกลุ่มนี้จะลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะ เป็นลักษณะเป็นเหตุให้สภาพการนำความร้อนดีขึ้นหรือแย่งลงก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสภาพการนำความร้อนจะแสดงออกในความสัมพันธ์เส้นตรงของวัสดุนั้นๆ

#### ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติทางอุณหภาพของวัสดุก่อสร้างและฉนวนความร้อน

รายชื่อวัสดุ	k-value (W/m°C)	ความหนาแน่น (Kg. / Cu.M.)	ความร้อนเฉพาะ (Kj. / Kg.°C)
<b>A หมวดวัสดุทั่วไป</b>			
1. อากาศ	0.026	1.2058	1.009
2. น้ำ	0.667	1.000	4.187
3. อะลูมิเนียม	210.820	2560	0.900
4. เหล็ก เคลือบผิว	50.050	7769	0.502
5. กระจก	1.0528	2451	0.670
<b>B หมวดวัสดุก่อสร้าง</b>			
1. ค.ส.ล.	1.7307	2290	0.8790
2. คอนกรีตเบา	0.4327	1281	1.05
3. แผ่นซีเมนต์ใยหิน	0.649	1922	0.8371
4. ปูนฉาบ	0.8797	1890	0.8790

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

รายชื่อวัสดุ	k-value (W/m <sup>2</sup> °C)	ความหนาแน่น (Kg. / Cu.M.)	ความร้อนเฉพาะ (Kj. / Kg.°C)
5. อิฐ	1.1538	1585	0.8371
6. กระเบื้องดินเผา	0.8365	1890	0.9209
7. กระเบื้องโมเสก	1.7307	2242	0.8371
8. แผ่นหินอ่อน	1.6297	2723	0.8371
9. แผ่นหินทราย	1.298	2002	0.8374
10. แผ่นหินแกรนิต	4.220	2604	0.920
11. ไม้, ไม้อัด	0.1384	720	1.8836
12. ไม้เนื้อแข็ง	0.202	881	1.884
13. แผ่นยิปซัม	0.173	990	0.840
14. แผ่นอิฐฟลิก(กันน้ำ)	0.9374	1121	1.3395
<b>C หมวดวัสดุฉนวนความร้อน</b>			
1. ไฟเบอร์กลาสฉนวน	0.0403	48	0.8790
2. โยแร่	0.034-0.04	48-300	0.8790
3. โพลีสไตรีน(Polystyrene)	0.0317	16	1.3395
4. โพลียูรีเทนโฟม	0.021	32	-
5. ไฟเบอร์บอร์ด	0.0605	267	1.507
6. เวอมิคูไลท์	0.0692	128	0.8790

### 2.2.11 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารแทนค่าด้วย "U-value" มีหน่วยเป็น W/m<sup>2</sup>°C เช่นเดียวกับค่า "Thermal conductance" (C) ต่างกันที่ U-value คือปริมาณความร้อนที่ผ่านทะลุต่อหน่วยพื้นที่ขององค์ประกอบอาคาร เช่น ฉนวน หลังคา หรือ พื้น เป็นต้น ภายใต้สภาวะปริมาณความร้อนคงที่ในหนึ่งเวลา ต่อหน่วยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของอากาศในแต่ละด้านขององค์ประกอบอาคาร

ความแตกต่างระหว่างค่า 'C' (Thermal conductance) และค่า 'U-value' ขององค์ประกอบอาคาร คือ ค่า 'C' เป็นค่าแสดงอัตราการไหลของความร้อนจากผิวหนึ่งของวัตถุผ่านเนื้อวัตถุไปยังผิวด้านหนึ่ง เป็นค่าความต่างของอุณหภูมิที่ผิวทั้ง 2 ด้านของวัตถุ เป็นการวัดปริมาณความร้อนจากอากาศด้านหนึ่งขององค์ประกอบอาคารผ่านทะลุองค์ประกอบอาคารกล่าว

ไปยังอากาศอีกด้านหนึ่งชั้นอากาศบางๆ ที่เคลือบอยู่ที่ผิวนอกทั้งสองด้านขององค์ประกอบอาคาร จึงมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนขององค์ประกอบอาคารด้วย

ในการคำนวณหาค่า "U-value" ของรูปตัดอาคารองค์ประกอบอาคารจะเป็นการรวมค่า การนำความร้อนตามสภาพความหนาของแต่ละชั้นวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นรูปตัดองค์ประกอบอาคาร รวมทั้งสภาพตัวดำเนินการนำความร้อนของชั้นอากาศบางๆ ทั้ง 2 ด้าน หรือแม้กระทั่งชั้นอากาศที่อยู่ระหว่างชั้นวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นองค์ประกอบอาคารก็ต้องนำมาคำนวณร่วมด้วย

### 2.2.12 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิววัตถุ

การถ่ายเทความร้อนจากผิววัตถุเข้าไปในชั้นอากาศ หรือจากชั้นอากาศผ่านเข้าไปในผิววัตถุ จะถูกปิดกั้นด้วยชั้นอากาศบางๆ ซึ่งชั้นอากาศนี้ มีคุณสมบัติเป็นตัวดำเนินการไหลผ่านของความร้อน และมีผลให้อุณหภูมิลดลง ดังนั้นในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังหรือหลังคา ฯลฯ เพื่อจำลองสภาพการคำนวณให้ใกล้เคียง กับสภาพความเป็นจริง จึงจำเป็นต้องรวมค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นอากาศบางๆ ทั้ง 2 ชั้นนี้รวมอยู่ในค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังหรือหลังคา ฯลฯ ด้วยโดยแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นอากาศผิวนอกด้วย 'ho' และ แทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นอากาศผิวในด้วย 'hi' ค่าทั้ง 2 มีหน่วยวัดเป็น  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$  เช่นเดียวกัน

การที่ต้องแยกกำหนดตัวแทนค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นอากาศบางๆ ที่เคลือบทั้งผิวในและผิวนอกนั้น เพราะว่า มีอิทธิพลภายนอกหลายตัวมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ตัวนี้ โดยเฉพาะ 'ho' สภาพการนำความร้อนของชั้นอากาศบางๆ นี้ จะมีสภาพการนำดีขึ้นหรือเลวลงมีผลกระทบมาจากอิทธิพลการพาและการแผ่รังสีด้วย เช่น อิทธิพลการพานั้นมาจากการเคลื่อนที่ทางอากาศที่อยู่ด้านนอกอาคาร การเคลื่อนที่ของอากาศเร็วหรือช้ามีผลให้สภาพการพาความร้อนต่างกัน ซึ่งจะมีผลให้ค่า 'ho' เปลี่ยนไป นอกจากนี้ในด้านการแผ่รังสียังขึ้นอยู่กับค่าการเปล่งความร้อนของวัตถุ ที่เป็นผิวชั้นนอกขององค์ประกอบอาคาร ค่าการเปล่งความร้อนของวัตถุนี้มีผลต่อทั้งค่า 'ho' และ 'hi' ได้ โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นอากาศบางๆ ที่ผิววัตถุนี้ ในทางคำนวณมักมาในรูปของสัมประสิทธิ์การต้านความร้อน 'R' ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนผกผันกับ 'ho' และ 'hi' คือ

'Ro' คือค่าสัมประสิทธิ์การต้านความร้อนของชั้นอากาศบางๆ ภายนอก มีค่า =  $1 / ho$

'Ri' คือค่าสัมประสิทธิ์การต้านความร้อนของชั้นอากาศบางๆ ภายใน มีค่า =  $1 / hi$

ค่า 'Ro' และ 'Ri' เปลี่ยนแปลงตามสภาพระนาบของผิววัตถุ และทิศทางการไหลของอากาศร้อนดังที่ปรากฏค่าต่างๆ ในตารางที่ 2.5 และตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าการต้านความร้อนของชั้นอากาศ ภายใต้อิทธิพลการพา และการแผ่รังสี

ชั้นอากาศที่ผิว	แนวนอน ความร้อน	เอียง 22.5° ความร้อน	แนวตั้ง ความร้อน
1. ชั้นอากาศผิวนอก (Ro)			
1.1 ความเร็วลม 3.35 M/S	0.044	0.044	0.044
1.2 ความเร็วลม 6.70 M/S	0.030	0.030	0.030
2. ชั้นอากาศผิวใน (Ri)			
2.1 วัสดุทั่วไป (e = 0.9)	0.162	0.148	0.12
2.2 เหล็กแผ่นใหม่ (e = 0.2)	0.475	0.384	0.238
2.3 แผ่น foil (e = 0.05)	0.801	0.595	0.299

แหล่งข้อมูล Handbook of Fundamentals, ASHRAE., 1967.

ตารางที่ 2.6 ค่าการต้านความร้อนของชั้นอากาศที่ผิวภายใต้สภาพอากาศหยุดนิ่ง

สภาพชั้นอากาศที่ผิว	ทิศทางการไหล ของความร้อน	ค่าการเปล่งความร้อน (●)		
		● = 0.9	● = 0.2	● = 0.05
แนวนอน	ลง	0.162	0.475	0.801
เอียง 22.5 องศา	ลง	0.148	0.384	0.595
เอียง 45 องศา	ลง	0.134	0.294	0.391
ตั้ง	แนวนอน	0.12	0.238	0.299
เอียง 45 องศา	ขึ้น	0.109	0.201	0.241
เอียง 22.5 องศา	ขึ้น	0.109	0.197	0.236
แนวนอน	ขึ้น	0.107	0.194	0.232

แหล่งข้อมูล Handbook of Fundamentals, ASHRAE., 1967.

เพื่อให้เข้าใจการหาค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนผ่านอาคาร (U-value) ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณหาพลังงานความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาคึ่งอิฐฉาบปูนเรียบทั้ง 2 ด้าน ในตัวอย่างตารางที่ 2.7 ดังนี้

ตารางที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาพลังงานความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาคึ่งอิฐฉาบปูนเรียบ ทั้ง 2 ด้าน

ชั้นวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นผนัง	ค่า 'k'	ค่า 'C'	ค่า 'R'
ชั้นที่ 1 -ชั้นอากาศภายนอก	-	-	0.044
ชั้นที่ 2 -ปูนฉาบหนา 1 ซม.	0.8797	87.97	0.011
ชั้นที่ 3 -อิฐมวลเบหนา 8 ซม.	1.1538	14.42	0.069
ชั้นที่ 4 -ปูนฉาบหนา 1 ซม.	0.8797	87.97	0.011
ชั้นที่ 5 -ชั้นอากาศภายใน	-	-	0.120
ค่าสัมประสิทธิ์ด้านความร้อนรวม ( $\sum R$ )	=		0.255
$U = 1/\sum R =$	$1/0.255$	=	3.92 $W/m^2C$

จากตัวอย่างดังกล่าว ผิวชั้นที่ 1 -ชั้นอากาศภายนอก กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การต้านความร้อนจากความเร็วลมปกติ คือที่ความเร็วลม 3.35 M/S ให้ดูจากตารางที่ 2.5 สำหรับผิวชั้นที่ 5 เป็นชั้นอากาศภายในให้ถือว่าอากาศหยุดนิ่ง ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การต้านความร้อนจึงมีค่าสูงมากกว่าผิวชั้นที่ 1 ให้ดูจาก ตารางที่ 2.6 เพราะไม่มีอิทธิพลการพาความร้อนมาเกี่ยวข้อง

### 2.2.13 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างอากาศ

บางครั้งผนังไม่ได้เป็นผนังที่บั้นเดียวตัวอย่างที่ 2/3-1 แต่อาจประกอบขึ้นด้วยผนังซ้อนกันหลายชั้น ในระหว่างชั้นมีชั้นอากาศกันอยู่ ชั้นอากาศเหล่านี้อาจเป็นชั้นฉนวนดีชั้นหรือเลวลง ขึ้นอยู่กับการจัดการกับชั้นอากาศนี้ โดยเฉพาะชั้นอากาศที่อยู่ใต้หลังคา ปกติ ความร้อนผ่านชั้นอากาศที่กล่าวที่กล่าวนี้ด้วยวิธีการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 วิธีด้วยกัน แต่ด้วยวิธีการแผ่รังสีสูงที่สุดตามด้วยวิธีการพา แล้วจึงเป็นวิธีการนำ ได้เคยมีการทดลองในสภาพช่องอากาศตามดั่งที่ใช้วัสดุอุดก่อสร้างธรรมดาเป็นผนัง เช่น ไม้ หรือ ยิบซั่มบอร์ด ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านทะลุผนังเข้ามาในแนวนอน ประกอบด้วยวิธีการต่างๆ ตามสัดส่วนดังนี้\*

1. โดยวิธีการแผ่รังสี 61 %
2. โดยวิธีการพา 28 %
3. โดยวิธีการนำ 11 %

เพื่อให้การควบคุมการส่งผ่านความร้อนผ่านชั้นอากาศอย่างมีประสิทธิภาพมีความจำเป็น ต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานของการแผ่รังสีของผิววัตถุก่อน ทั้งนี้เพราะการแผ่รังสีเป็นส่วนสำคัญของวิธีการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นอากาศ

## 2.2.14 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีความร้อน

### 2.2.14.1 Black Body

เป็นวัตถุสมมุติทางทฤษฎี ซึ่งมีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีทั้งหมดที่กระทบผิวของ 'Black Body' ไม่มีการสะท้อนกลับ และไม่มีการทะลุออกไป ซึ่งใช้เป็นตัวมาตรฐานในการเปรียบเทียบหาค่าการเปล่งความร้อนของวัตถุทั่วไป

### 2.2.14.2 การเปล่งความร้อน (Emissivity)

การเปล่งความร้อน คือ "อัตราส่วนของค่าการแผ่รังสีความร้อนจากหน่วยพื้นที่ของผิววัตถุชนิดที่ต้องการหาค่าการเปล่งความร้อน ต่อค่าการแผ่รังสีความร้อนจากหน่วยพื้นที่เดียวกันของ 'Black Body' ที่อุณหภูมิเดียวกัน" .\*\* ตัวอย่าง เช่น ค่าการเปล่งความร้อนของ Aluminum foil เท่ากับ 0.05 ที่อุณหภูมิผิววัตถุ หมายความว่า Aluminum foil เปล่งความร้อนออกมาเพียง 5 % ของปริมาณความร้อนที่เปล่งออกมาจาก 'Black Body' ในอุณหภูมิเดียวกัน

วัสดุก่อสร้างโดยทั่วไป เช่น ไม้ กระเบื้อง ฯลฯ มีค่าการเปล่งความร้อนเท่ากับ 0.90 และผิวของวัตถุฉนวนความร้อนชนิดหนึ่งความหนาด้วยมวลก็มีค่าการเปล่งความร้อนประมาณ 0.90 เช่นเดียวกัน หมายความว่า วัตถุทั้งสองกลุ่มนี้มีเปล่งความร้อนออกจากผิวค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนที่เปล่งออกมาจากผิวของ Aluminum foil

### 2.2.14.3 การสะท้อนความร้อน (Reflectivity)

การสะท้อนความร้อน คือ "อัตราส่วนของจำนวนรังสีความร้อนที่สะท้อนจากผิวของวัตถุต่อปริมาณรังสีความร้อนทั้งหมดที่ตกลงที่ผิวของวัตถุนั้น" ยกตัวอย่าง เช่น Aluminum foil มีประสิทธิภาพการสะท้อนสูง คือมีค่าการสะท้อนความร้อนถึง 0.95 หมายความว่า Aluminum foil สะท้อนรังสีความร้อนถึง 95% ของปริมาณความร้อนที่ผิวของ Aluminum foil ได้รับ ส่วนวัสดุก่อสร้างทั่วไปรวมทั้งวัตถุฉนวนความร้อนชนิดมวลสารจะมีค่าการสะท้อนความร้อนต่ำ คือประมาณ 0.10 เท่านั้น วัตถุที่มีค่าสะท้อนความร้อนสูงจะมีค่าเปล่งความร้อนต่ำเสมอ ค่า 2 ตัวนี้ เป็นอัตราส่วนผกผันต่อการ เมื่อนำค่าการเปล่งความร้อนกับค่าการสะท้อนความร้อนมารวมกันจะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ

### 2.2.14.4 คลื่นความร้อน

คุณสมบัติการสะท้อนรังสีความร้อนของผิววัตถุเปลี่ยนแปลงตามความยาวของช่วงคลื่นความร้อนซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้มีการทดลองวัดหาค่าการสะท้อนของวัตถุ 3 ประเภท คือ อลูมิเนียมขัดเงา, ผิวทาสีขาวและผิวทาสีดำ ในช่วงคลื่นต่างๆ

1. ผิวอะลูมิเนียมขัดเงา เป็นวัตถุสะท้อนรังสีความร้อนดีทุกช่วงคลื่น  
 2. ผิวทาทาขาว สะท้อนรังสีความร้อนดีในช่วงคลื่นแสงและความร้อน จากดวงอาทิตย์คือความยาวช่วงคลื่นระหว่าง  $0.3$  ถึง  $2.5\mu\text{ m}$ . แต่ไม่ดีในระดับช่วงคลื่นความร้อนปกติคือที่ความยาวช่วงคลื่นเกิน  $5\mu\text{ m}$ .

3. ผิวทาสีดำเป็นผิวที่สะท้อนรังสีความร้อนไม่ดีทุกความยาวช่วงคลื่น นอกจากการสะท้อนความร้อนและการเปล่งความร้อน ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแผ่รังสีแล้ว การระบายอากาศในช่องอากาศก็เป็นอีกอิทธิพลหนึ่งที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและมีผลต่อวิธีการพาความร้อน การระบายอากาศในช่องอากาศระหว่างชั้นวัสดุอาจเกิดจากความงัดใจ หรือความบังเอิญก็ได้ แต่เนื่องจากว่าการเคลื่อนที่ของอากาศไม่มีค่าที่ และมีค่าแปรเปลี่ยนมาก ดังนั้นการกำหนดค่าอุณหภูมิความร้อนของการระบายอากาศจึงเป็นการกำหนดค่าโดยประมาณเท่านั้น

สรุปแล้วความร้อนผ่านอากาศที่อยู่ช่องว่างระหว่างชั้นวัสดุจะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายตัว คือ

1. ความหนาของชั้นอากาศระหว่างชั้นวัสดุ และรูปลักษณะของชั้นอากาศในช่องว่างนั้น
2. สภาพของชั้นอากาศระหว่างชั้นวัสดุ (แนวตั้ง แนวเอียง หรือแนวนอน)
3. ทิศทางของการถ่ายเทอากาศ (ไหลขึ้นหรือไหลลง)
4. การเปล่งความร้อนของผิวแต่ละด้าน
5. ความต่างของอุณหภูมิสองข้างของชั้นอากาศระหว่างชั้นวัสดุ
6. การพาความร้อนของชั้นอากาศในช่องว่างที่อยู่ใกล้ชิดกัน
7. การระบายอากาศของชั้นอากาศระหว่างชั้นวัสดุ

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ จะทำในลักษณะหาค่าการต้านความร้อนของชั้นอากาศระหว่างชั้นวัสดุ แทนที่จะหาค่าการนำความร้อนของชั้นอากาศ ค่าการต้านความร้อนของอากาศในสภาพต่างๆปรากฏใน ตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าการต้านความร้อนทางช่องอากาศ

ประเภทช่องอากาศ	ค่าการต้านความร้อน ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )		
	ตามนอน	เอียง $22.5^\circ$	ตามตั้ง
	ความร้อน ↓	ความร้อน ↓	ความร้อน →
A ช่องอากาศหนา 100 มม.			
1. ปิดด้วยฉนวนวัสดุทั่วไป $\bullet = 0.82$	0.174	0.165	0.160
2. ปิดด้วยแผ่นเหล็กใหม่ $\bullet = 0.02$	0.595	0.517	0.380
3. ด้านหนึ่งปิดด้วย Al.foil $\bullet = 0.05$	1.422	1.095	0.605
4. ปิดด้วย foils สะท้อนทั้ง 2 ผิว $\bullet = 0.03$	1.746	1.299	0.656
B ช่องอากาศใต้หลังคา			
1. ไม่มีการระบายอากาศ	-	0.282	-
2. ระบายอากาศแบบธรรมชาติ ( $0.005 \text{ cu.m./S/ m}^2$ ของพื้นที่เพดาน)	-	0.458	-
3. ติดตั้ง foil สะท้อนความร้อนแต่ไม่ระบาย อากาศ	-	1.091	-
4. ติดตั้ง foil สะท้อนความร้อนและระบาย อากาศแบบธรรมชาติ	-	1.356	-

\* แหล่งข้อมูล Handbook of Fundamentals, ASHRAE., 1967.

เพื่อให้เกิดความเข้าใจ จะให้ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน "U.value" ของผนังที่ประกอบกันหลายชั้น โดยมีช่องอากาศระหว่างกลางหนา 10 ซม. ดังนี้

(ตัวอย่าง 1) ผนัง 2 ชั้น ชั้นนอกก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบทั้ง 2 ผิว ชั้นในแผ่นยิปซัมธรรมดาหนา 12 มม. ระหว่างกลางเป็นช่องอากาศกว้าง 10 ซม.

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังที่ประกอบกัน  
หลายชั้น

#### วิธีการคำนวณ

ชั้นวัสดุ	ค่า k*	ค่า C	ค่า R
1. ชั้นอากาศบางผิวนอก	-	-	0.044 **
2. ชั้นปูนฉาบเรียบผิวนอกหนา 1 ซม.	0.8797	87.97	0.011
3. ชั้นอิฐก่อครึ่งแผ่นหนา 8 ซม.	1.1538	14.42	0.069
4. ชั้นปูนฉาบเรียบผิวในหนา 1 ซม.	0.8797	87.97	0.011
5. ชั้นช่องอากาศหนา 10 ซม.	-	-	0.160 ****
6. ชั้นแผ่นยิปซัมหนา 1.2 ซม.	0.179	14.42	0.0694
7. ชั้นอากาศบางผิวใน -	-	-	0.120 ***

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การต้านความร้อนรวม (total R)} = 0.484$$

$$\text{ค่า U} = 1/(\text{total R}) = 1/0.484 = 2.07 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

(\* อ่านค่าจากตารางที่ 2.4, \*\* อ่านค่าจากตารางที่ 2.5 ค่าความเร็วลมที่ 3.35 ม./วินาที,

\*\*\* จากตารางที่ 2.7 โดยค่า  $\bullet = 0.9$ , \*\*\*\* จากตารางที่ 2.8 โดยค่า  $\bullet = 0.82$ )

(ตัวอย่างที่ 2) ทุกอย่างเหมือนตัวอย่างที่ 2.7 ยกเว้นผนังภายในใช้ แผ่นยิปซัมหนา 12 มม. ชนิดมี Aluminum foil

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังที่ประกอบกัน  
หลายชั้น

#### วิธีการคำนวณ

ชั้นวัสดุ	ค่า k*	ค่า C	ค่า R
1. ชั้นอากาศบางเคลือบผิวนอก	-	-	0.044
2. ชั้นปูนฉาบเรียบผิวนอกหนา 1 ซม.	0.8797	87.97	0.011
3. ชั้นอิฐมอดูยกครึ่งแผ่นหนา 8 ซม.	1.1538	14.42	0.069
4. ชั้นปูนฉาบเรียบผิวในหนา 1 ซม.	0.8797	87.97	0.011
5. ชั้นช่องอากาศหนา 10 ซม. มี Al. foil	-	-	0.605 *****
6. ชั้นแผ่นยิปซัมหนา 1.2 ซม.	0.1730	14.42	0.0694
7. ชั้นอากาศบางเคลือบผิวใน	-	-	0.120
ค่าสัมประสิทธิ์การต้านความร้อนรวม (total R)	=	0.929	
ค่า U	= 1/ (total R) = 1/0.29	=	1.08 W/m <sup>2</sup> °C

(\* จากตารางที่ 2.4 , \*\*\*\*\* จากตารางที่ 2.8 โดยค่า  $\epsilon = 0.05$ )

จากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ 1 และที่ 2 จะเห็นว่าตัวอย่างที่ 2 มีชั้นอากาศ \* และผนังแผ่นยิบซัมหนา 12 มม. เพิ่มเข้ามา มีค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มจาก 0.255 เป็น 0.484 ซึ่งเท่ากับมากขึ้น 1.9 เท่า ทำให้ค่า U ลดลงมาก และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ 2 กับตัวอย่างที่ 3 ซึ่งมีชั้น Aluminum foil สะท้อนความร้อนเพิ่มเข้ามา ทำให้มีค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มจากตัวอย่างที่ 2/3-2 จาก 0.484 เป็น 0.929 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 92%

สำหรับสภาพการต้านทานความร้อนของช่องอากาศใต้หลังคา ต่างไปจากที่เกิดในชั้นอากาศของผนัง ซึ่งแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

ช่องอากาศใต้หลังคา มักจะมีการระบายอากาศ

ช่องอากาศไม่ได้ถูกปิดด้วยผิวที่ขนานกัน 2 ด้านเสมอไป แต่อาจจะเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือเป็นรูปสี่เหลี่ยม เป็นต้น

ASHRAE ได้กำหนดค่าการต้านทานความร้อนของอากาศใต้หลังคา จากผลการทดลองของ F.A. Joy ซึ่งเป็นศาสตราจารย์ที่มหาวิทยาลัยแห่งรัฐเพนซิลวาเนีย (Pennsylvania State University) และรายงานหมายเลข R2 เรื่อง "Thermal Conductivities of Building Materials" ของ J.R. Barned ไว้ใน ตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.11 ค่าการต้านทานความร้อนของช่องอากาศใต้หลังคา

ช่องอากาศใต้หลังคา	ค่าการต้านความร้อน ( R )	
	(ฤดูร้อน) อากาศร้อนไหลลง	(ฤดูหนาว) อากาศไหลขึ้น
<b>ไม่มีฉนวนสะท้อนความร้อน</b>		
1. ไม่มีระบายอากาศ	0.282	0.176
2. ระบายอากาศธรรมชาติ	0.458	-
<b>มีฉนวนสะท้อนความร้อน</b>		
1. ไม่มีระบายอากาศ	1.092	0.564
2. ระบายอากาศธรรมชาติ	1.356	0.335

เปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อน (R) ระหว่างช่องอากาศใต้หลังคาที่ไม่มีฉนวนสะท้อนความร้อน กับช่องอากาศใต้หลังคาที่ติดฉนวนสะท้อนความร้อนแล้ว ปริมาณความร้อนถ่ายเทลดลงเท่ากับ 54.5% ของปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องอากาศที่ไม่มีฉนวนสะท้อนความร้อน

## 2.2.15 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

มนุษย์มีความต้องการทางจิตวิทยา ที่ชอบอยู่ในที่โล่ง สายตาสามารถมองทอดไปไกลๆ ไม่ชอบอยู่ในที่ซึ่งปิดทึบทุกด้าน เพื่อเป็นการพักผ่อนคลายเครียด ดังนั้น กระจกจึงมีความจำเป็นต้องนำมาใช้ในงานอาคาร เพื่อให้เกิดความรู้สึกโล่งตา ในเวลาเดียวกันก็สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในแต่ที่เป็น คือ กระจก นอกจากให้เกิดความโปร่งตาให้แสงสว่างเข้าไปในอาคารแล้ว ยังรับความร้อนเข้ามาอีกด้วย โดยคุณสมบัติที่ต่างจากวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นของกระจก คือ กระจกยอมให้รังสีความร้อนคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 0.23 - 0.5  $\mu\text{m}$  ผ่านทะลุกระจกเข้าไปได้

### 2.2.15.1 รังสีดวงอาทิตย์

รังสีความร้อนส่วนใหญ่ที่กระจกรับเข้าสู่ตัวอาคาร เป็นรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นรังสีคลื่นช่วงสั้น ปกติรังสีที่มากกระทบกระจกซึ่งทำให้ภายในอาคารร้อนขึ้นนั้นมาในหลายรูป คือ

1. รังสีทางตรง (Direct Radiation) รังสีดวงอาทิตย์เป็นอวกาศก่อนผ่านชั้นบรรยากาศของโลก มีพลังงานระหว่าง 1351-1442  $\text{W/m}^2$  ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ กระจก ที่อยู่ภายใต้แสงแดดจะรับรังสีทางนี้เท่านั้น ความเข้าสูงสุดที่ผิวโลกได้รับรังสีดวงอาทิตย์ คือที่ 0.05  $\mu\text{m}$  (ช่วงคลื่นแสงสีเขียว-เหลือง)

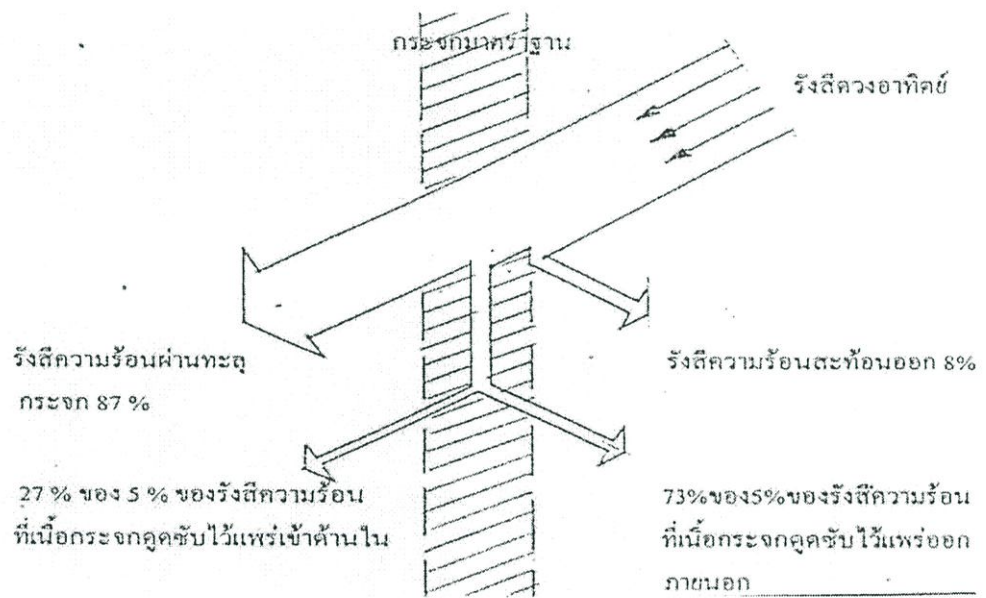
2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกเข้ามา จะกระทบกับอนุภาคของชั้นก๊าซที่ห่อหุ้มโลก รวมทั้งละอองน้ำในอากาศ ฝุ่นละอองที่กระจายทั่วไป ทำให้เกิดการสะท้อนรังสีบางส่วนไปในทิศทางต่างๆ แทนที่จะพุ่งเป็นลำตรงจากดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว รังสีกระจายเหล่านี้มีประมาณ 25% ของรังสีทางตรง กระจกที่อยู่ทั้งในแดด และในร่มมีส่วนรับรังสีกระจายนี้ทั้งสิ้น

3. รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) ในประเทศออสเตรเลีย โดย C.S.I.R.O. ได้เสนอให้ค่าความร้อนผ่านกระจก โดยการรวมค่ารังสีความร้อนสะท้อนเข้าไปด้วย เพราะโดยธรรมชาติทางคลื่นความร้อนเมื่อกระทบกับผิวพื้นเรียบผืนใหญ่ๆ เช่น ผืนน้ำ ผืนหลังคาลาดจอบดรอ จะสะท้อนความร้อนจำนวนมากกลับสู่บรรยากาศ ทำให้บรรยากาศรอบข้างร้อนขึ้น หรืออาจจะสะท้อนความร้อนกลับมาที่กระจกอาคารได้ เช่นเดียวกัน โดยกำหนดค่ารังสีสะท้อนประมาณ 2% ของรังสีทั้งหมด

### 2.2.15.2 คุณสมบัติต่อการกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ของกระจก

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์กระทบผิวกระจก รังสีเหล่านั้นจะมีปรากฏการณ์ 1 ใน 3 ประเภท หรือทั้ง 3 ประเภท (รูปที่ 2/4-1) คือ

- ปรากฏการณ์เช่นนี้
1. รังสีดวงอาทิตย์ผ่านทะลุกระจก ซึ่งโดยปกติรังสีส่วนใหญ่จะมีปรากฏการณ์เช่นนี้
  2. รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยเนื้อกระจก โดยเฉพาะกระจกหนา หรือกระจกที่มีสี เช่น พวกกระจกตัดแสง เป็นต้น
  3. รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับเข้าไปในบรรยากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมที่แสงตกกระทบกับผิวกระจกว่าทำมุมชันมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 2.1 SOLAR HEAT GAIN FACTOR ที่เกิดจากกระจกมาตรฐาน (กระจกใสหนา 3 มม.)

ปรากฏการณ์ทั้ง 3 อย่างนี้ มีค่าไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปตามอิทธิพลต่างๆ กัน เช่น มุมกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ต่อผิวกระจกกระทบมุมชันมาก รังสีก็จะทะลุผ่านกระจกไปมาก สะท้อนกลับน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้ามุมราบมากรังสีก็就会被สะท้อนออกมาก นอกจากนี้ความหนาของเนื้อกระจก องค์ประกอบของสารในเนื้อกระจกมีส่วนทำให้การดูดกลืนความร้อนเข้าไปในเนื้อกระจกไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลให้ความร้อนทะลุกระจกเข้าไปมากน้อยต่างกัน เช่นเดียวกัน นอกจากนี้การใส่แผ่นฟิล์มสะท้อนความร้อนเข้าในเนื้อหรือผิวกระจก มีส่วนทำให้รังสีความร้อนทะลุผ่านกระจกน้อยลงได้

ตารางที่ 2.12 Solar-Optical Properties of Glass with various treatments\*

Glass	Solar - optical properties			Transmission of	
	r	a	t	Visible ray	U.V.
<b>3 mm. Clear Sheet Glass</b>					
- untreated	0.09	0.05	0.86	86%	80%
- with RSL.20**	0.56	0.30	0.14	17%	25%
- with RSL 40**	0.38	0.32	0.30	37%	45%
<b>6 mm. Clear Plate glass</b>					
- untreated	0.06	0.20	0.74	80%	67%
- with RSL.20	0.44	0.44	0.12	15%	19%
- with RSL 40	0.29	0.44	0.27	36%	38%
6 mm. Heat Absorbing GrayGlass	0.55	0.56	0.385	39%	
6 mm. Heat Reflecting 15/23 Gold 'Solarshield'	0.48	0.43	0.09	15%	
6mm. "Coldlite" Heat Absorbing Glass	0.05	0.65	0.30	64-7%	

\* แหล่งข้อมูล : ผลการทดลองของ C.S.I.R.O.

\*\* RSL20, RSL40 เป็น Reflecto-Shield เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนความร้อน

### 2.2.15.3 กระจกมาตรฐาน

เพื่อให้มีตัวกลางในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการรับรังสีดวงอาทิตย์ของกระจก ASHRAE ได้เลือกกระจกที่นำเชื่อว่าพลังรังสีดวงอาทิตย์ผ่านมากที่สุดมาทำการทดลอง คือ กระจกใส หนา 3 มม. เพื่อวัดหาค่าสัดส่วนของรังสีที่กระทำต่อกระทำมาตรฐานนี้ ค่าความร้อนที่ผ่านกระจกมาตรฐานเข้าไป เรียกว่า "Solar Heat gain factor" (SHGF) เมื่อเอาปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกประเภทอื่นมาเทียบกับ Solar heat gain factor จะได้ค่าที่เรียกว่า 'สัมประสิทธิ์การบังแสง' Shading Co-efficient ใช้ตัวย่อว่า SC.

จากการทดสอบของ ASHRAE ผลปรากฏว่ากระจกมาตรฐานมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. กระจกสะท้อนรังสีความร้อน 8% ของปริมาณรังสีความร้อนที่รับ
2. กระจกดูดกลืนรังสีความร้อน 5% ของปริมาณรังสีความร้อนที่รับ

### 3. กระจกยอมให้รังสีผ่านทะลุ 87% ของปริมาณรังสีความร้อนที่รับ

ASHRAE ยังได้ทำการทดสอบต่อไปเพื่อหาค่า 'Solar heat gain factor' ที่แท้จริง ซึ่งประกอบด้วยปริมาณรังสีความร้อนผ่านทะลุ คือ 87% ของรังสีความร้อนที่ได้รับ รวมกับ บางส่วนของรังสีความร้อนที่กระจกดูดกลืนไว้ซึ่งจะส่งถ่ายเข้าไปยังด้านใน และออกไปด้านนอก ของกระจกพร้อมๆ กัน ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าไปจากส่วนของการดูดกลืนนี้ ASHRAE ใช้ คำนวณโดย standard calculation method ซึ่งตั้งข้อสมมติฐานที่ความเร็วลมภายนอกกระจก มี ค่า 3.35 ม./วินาที ทำให้เกิดค่าการต้านทานความร้อนที่ผิวด้านนอกกระจกเท่ากับ 0.44 Hru. และ ด้านในกระจกเป็นอากาศหยุดนิ่ง ซึ่งทำให้ค่าการต้านทานความร้อนของชั้นอากาศผิวด้านในมีค่า 0.120 Hru. จากสมมติฐานนี้ ปริมาณความร้อนที่ถูกดูดกลืนในเนื้อกระจก จะถ่ายเทออกอากาศ ด้านนอก 73% โดยถ่ายเทเข้าอากาศด้านในกระจก 27 % ของ 5% ที่ปริมาณความร้อนที่กระจก ได้ดูดกลืนไว้ เท่ากับ 1.35% ของปริมาณความร้อนที่กระจกได้รับ รวมกับค่ารังสีความร้อนทะลุ กระจกอีก 87% จะได้ค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกหนา 3 มม. ซึ่งใช้เป็น 'Solar heat gain factor' (SHGF) เท่ากับ 8.35% (87+1.35) ของรังสีความร้อนที่กระจกได้รับ ใช้เป็นตัวเลข เต็ม คือ 88% (รูปที่ 2/4-2)

#### 2.2.15.4 สัมประสิทธิ์การบังแสงของกระจก (Shading Co-efficient)

ASHRAE ใช้กระจกใสหนา 3 มม. เป็นกระจกมาตรฐาน โดยตั้งสมมติฐานว่า น่าจะเป็นกระจกใช้งานในอาคารที่ยอมให้รังสีความร้อนผ่านมากที่สุด เปราะบาง และโปร่งแสง ดังนั้น ค่านี้จึงเป็นฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกประเภทต่างๆ ว่ามี สัดส่วนมากน้อยเท่าใด เมื่อเทียบกับค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกมาตรฐาน ถ้าเขียนเป็น สมการจะมีรูปดังนี้

Sc. = Solar heat gain ที่ทะลุผ่านกระจก / Solar heat gain factor  
หรือ

$$Sc. = (t + 27\% a) \text{ ของกระจก} / 0.8835$$

โดยปกติ บริษัทที่ผลิตกระจกจะมีตารางแสดงค่า Solar optical properties และ SC. ของกระจกเพื่อให้หาค่าปริมาณความร้อนผ่านกระจกได้ เช่น ตารางที่ 2/4-2 เป็นค่า Solar optical properties และค่า SC. ของกระจกที่ผลิตในประเทศไทย โดยบริษัทกระจกไทยอาซาฮี จำกัด เป็นต้น

ตารางที่ 2.13 รายละเอียดผลิตภัณฑ์กระจกไทยอาซาฮี

ชนิดกระจก	Clear float								Dark Cool gray float	Coolgray Float					
	2	3	4	5	6	8	10	12		5	6	6	6	8	10
ความหนา (มม.)	2	3	4	5	6	8	10	12	5	6	6	6	8	10	12
การสะท้อน (r) (Visible ray)	7	7	7	7	7	7	7	7	4	4	5	5	4	4	4
การผ่านทะลุ (t) (Visible ray)	91	90	89	89	88	87	85	84	20	15	45	39	29	22	16
การดูดซึม (a) (Solar energy)	4	6	8	11	13	17	20	23	51	56	46	52	62	69	75
การผ่านทะลุ (t) (Solar energy)	88	86	84	82	80	76	73	70	44	39	49	43	34	27	21
Heat gain (BTU/Ft <sup>2</sup> .Hr F)	219	216	212	209	206	199	194	188	149	141	157	147	133	121	111
U-Value (BTU/Ft <sup>2</sup> .Hr F)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.01	1.01	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.09
SC.	1.02	1	0.99	0.97	0.96	0.92	0.9	0.87	0.67	0.63	0.71	0.66	0.59	0.53	0.48

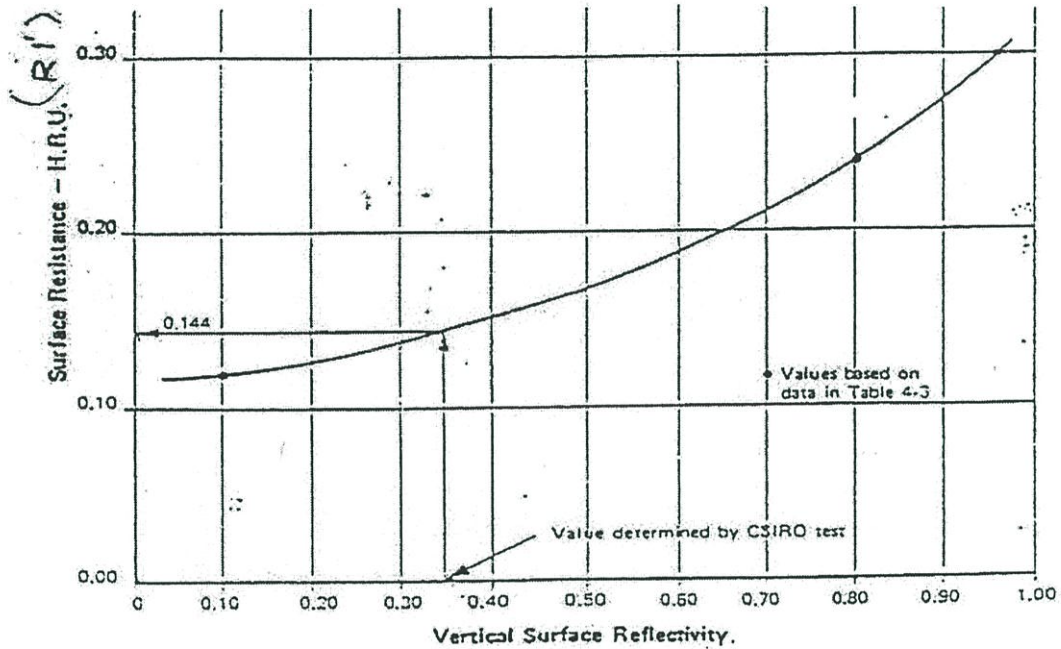
#### 2.2.15.5 การหาค่าปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผ่านกระจก

ตามที่กล่าวแล้วว่าคุณสมบัติกระจก แตกต่างจากวัสดุก่อสร้างทั่วไป ที่ยอมให้คลื่นรังสีความร้อนผ่านทะลุกระจกเข้าไปได้ เป็นเหตุให้ปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกเข้าสู่อาคารนั้น มีค่ารวมกันของแหล่งความร้อน 2 แหล่ง คือ

1. Solar heat gain ซึ่งประกอบด้วยความร้อนที่มาจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านทะลุกระจกเข้าไป ทั้งนี้รวมทั้งรังสีทางตรงและรังสีกระจายและความร้อน อีก 27% ของความร้อนที่ถูกดูดกลืนอยู่ในเนื้อกระจก ซึ่งสรุปแล้วความร้อนที่เป็น Solar heat gain มีค่าเท่ากับ  $t + 27\%$  ของ  $a$

2. Conducted heat คือค่า 'U' ของกระจก ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ข้างของกระจก ชนิดของกระจก และความหนาของกระจก ปกติค่า 'k' ของกระจกเท่ากับ  $1.050 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  การคำนวณหาค่า 'U' ปกติตั้งสมมติฐานที่ 'Ro' = 0.044 ค่านี้มาจาก

ความเร็วลมภายนอกมีค่าเท่ากับ 3.35 ม. / วินาที และค่า 'Ri' = 0.120 โดยให้ค่าความเร็วลมภายในเป็นอากาศหยุดนิ่ง ในกรณีที่ผิวด้านในของกระจกมีการฉาบฟิล์มสะท้อนความร้อน ค่า 'Ri' ก็เปลี่ยนแปลงไป เช่น ถ้าฉาบด้วย RSL20 ซึ่งมี Vertical surface reflectivity เท่ากับ 0.35 ค่า 'Ri' จะมีค่า = 0.144 แทนที่จะมีค่า = 0.120 ค่านี้สามารถหาได้จากกราฟใน รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Curve แสดงค่า Surface Resistance (Ri) ที่เปลี่ยนแปลงตาม Vertical Surface Reflectivity

(ตัวอย่าง) การคำนวณหาปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผ่านกระจก

โจทย์ สมมติพลังงานรังสีความร้อนที่ตกถึงผิวกระจก เท่ากับ  $818 \text{ W/m}^2$  (ค่าปริมาณรังสีความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายตัว คือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งกำหนดโดย วัน เวลา และสถานที่ รวมทั้งตำแหน่งของกระจกที่รับรังสี) หน้าต่างที่รับรังสีความร้อนใช้กระจกชั้นเดียวหนา 6 มม. ให้เปรียบเทียบกันระหว่างกระจกใสธรรมดา และกระจกใสที่ฉาบ RSL 20 ค่าปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารต่างกันอย่างไร

คำนวณ	ค่า SHGF	= 0.88 x 818
		= 720 W/m <sup>2</sup>
	ค่า SC ของกระจกใส 6 มม.	= 0.90
	ค่า SC ของกระจก 6 มม. ฉาบ RSL 20	= 0.27
0.120)	ค่า U ของกระจก 6 มม.	= 1/(0.044 + 0.006 +
		= 5.88 W/m <sup>2</sup> °C
0.144)	ค่า U ของกระจก 6 มม. ฉาบ RSL 20	= 1/(0.044 + 0.006 +
		= 5.15 W/m <sup>2</sup> °C
	สมมติอุณหภูมิ 2 ผิวของกระจก ต่างกัน (TD)	= 8 °C

ก) ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผ่านทะเลลกระจกใสธรรมดาหนา 6 มม.

$$\begin{aligned}
 &= (\text{SHGF} \times \text{SC}) + (\text{U} \times \text{TD}) \\
 &= (720 \times 0.90) + (5.88 \times 8) \\
 &= 695 \text{ W/m}^2 \text{ หรือ} \\
 &= 0.695 \text{ KW/m}^2
 \end{aligned}$$

ข) ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผ่านทะเลลกระจกใส หนา 6 มม. ฉาบ RSL 20

$$\begin{aligned}
 &= (720 \times 0.27) + (5.15 \times 8) \\
 &= 241 \text{ W/m}^2 \text{ หรือ} \\
 &= 0.241 \text{ KW/m}^2
 \end{aligned}$$

สรุปได้ว่า กระจกใสหนา 6 มม. ฉาบ RSL 20 ลดปริมาณความร้อนเข้าอาคารเท่ากับ 0.454 KW/m<sup>2</sup> (0.695-0.241) หรือเทียบได้ลดลง 65% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนผ่านทะเลลกระจกใสธรรมดา หนา 6 มม.

เนื่องจากว่า ค่ารังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบที่ตั้ง และวัน เวลาและฤดูกาลตามที่กล่าว ดังนั้น การคำนวณหาค่าความร้อนผ่านกระจกจึงจำเป็นต้องหาเป็นค่าเฉลี่ยใน 1 วัน เรียกว่า Day total heat gain ในสภาพกระจก 2 ประเภท ตามตัวอย่างที่ผ่านมา รังสีความร้อนเฉลี่ยภายนอก มีค่าเท่ากับ 4420.5 W/m<sup>2</sup>°C ค่าความต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ยต่างกัน 5 °C ในหนึ่งวัน ช่วงที่มีรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์นับได้ 12 ชั่วโมง วิธีการหาค่าความร้อนเฉลี่ยผ่านกระจกในหนึ่งวันหาได้ดังนี้

ก) ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผ่านทะลุกระจกใสธรรมดาหนา 6 มม.

$$= (0.88 \times 4420.5 \times 0.90) + (5.88 \times 5 \times 12)$$

$$= 3873 \text{ Wh/m}^2 \text{ หรือ}$$

$$= 3.873 \text{ KWh/m}^2$$

ข) ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ผ่านทะลุกระจกใส หนา 6 มม. ฉาบ RSL 20

$$= (0.88 \times 4420.5 \times 0.27) + (5.15 \times 5 \times 12)$$

$$= 1558 \text{ Wh/m}^2 \text{ หรือ}$$

$$= 1.558 \text{ KWh/m}^2$$

สรุปได้ว่าปริมาณความร้อนเฉลี่ยทั้งวันผ่านทะลุกระจกใสหนา 6 มม. ฉาบ RSL 20 ลดลงเท่ากับ  $2.315 \text{ KWh/m}^2$  ( $3.873 - 1.558 = 2.315$ ) หรือเท่ากับลดลง 60% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านทะลุกระจกใสธรรมดา หนา 6 มม.

## 2.3 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศหรือระบบปรับภาวะอากาศ (Air-conditioning System) ในอดีตถูกมองว่าเป็นระบบที่ฟุ่มเฟือย อาคารราชการทั่วไป จะมีเฉพาะห้องระดับผู้อำนวยการขึ้นไปเท่านั้นที่จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศ (Air-conditioner) แต่ในปัจจุบันอาคารสำนักงานเกือบจะทุกแห่ง จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศกันแทบทั้งนั้น โรงแรมก็มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศ เนื่องจากต้องใช้ต้อนรับชาวต่างประเทศ และมีอิทธิพลทำให้ร้านอาหาร คลับต่าง ๆ มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ รวมถึง โรงพยาบาลต้องใช้เครื่องปรับอากาศ เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการรักษา และป้องกันฝุ่น โดยที่ศูนย์การค้า โรงภาพยนตร์ ใช้เครื่องปรับอากาศ เพื่อดึงดูดลูกค้าให้เข้ามาใช้บริการแม้แต่บ้านและคอนโดมิเนียม ก็หันมาใช้เครื่องปรับอากาศเช่นกัน ดังนั้นตลาดเครื่องปรับอากาศ จึงขยายตัวเร็วมาก และกลายเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญสำหรับอาคารสมัยใหม่

### 2.3.1 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศทุกชนิด มีหลักการทำงานเหมือน ๆ กัน คือ ใช้คุณสมบัติในการระเหยของของเหลว และความร้อนแฝงจากการระเหยนี้ เช่น น้ำ เมื่อระเหยกลายเป็นไอ ตัวเองก็เย็นลง

เนื่องจากได้ใช้ความร้อนแฝงในการระเหย ความเย็นในลักษณะนี้ ก็คือความเย็นที่เราสามารถนำมาใช้ในการปรับอากาศ

“ น้ำ ” ก็เป็นสารทำความเย็น โดยเรียกว่า R-718 แต่เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติในการระเหยช้าเกินไป ไม่สามารถนำมาใช้เป็นสารทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพได้โดยตรง (มีการนำน้ำมาใช้เป็นสารทำความเย็น ในเครื่องทำความเย็นเรียกว่า Absorption แต่ต้องเพิ่มส่วนผสมของสารเคมี เช่น ลิเทียมโบรไมด์ การทำงานของเครื่องแบบ Absorption อาศัยความร้อนจากไอน้ำหรือความร้อนที่ เหลือจากขบวนการผลิตในอุตสาหกรรม)

การทำความเย็นของระบบปรับอากาศ จะอาศัยหลักการระเหยของสารทำความเย็น และเนื่องจากสารทำความเย็นมีราคาแพง ประกอบกับการให้ระเหยทิ้งไปจะทำให้เกิดผลกับสภาพแวดล้อม เมื่อสารทำความเย็นระเหยและทำความเย็นแล้ว จึงต้องนำไปควบแน่นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หลักการควบแน่นอาศัยการเพิ่มความดันให้กับไอรระเหยหรืออัด (Press) ไอ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า คอมเพรสเซอร์ (Compressor) จนไอรระเหยนั่นกลายเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่อัดนี้ ไอรระเหยก็จะคายความร้อนออกมาด้วย เราก็ต้องมีวิธีการในการระบายความร้อนนี้ออกไป ในขณะที่อัดนี้ ไอรระเหยก็จะคายความร้อนออกมาด้วย เราก็ต้องมีวิธีการในการระบายความร้อนนี้ออกไป โดยอาจจะใช้อากาศ (Air-cooled) หรือน้ำ (Water-cooled) ในการระบายความร้อนก็ได้

เมื่อสารทำความเย็นกลายเป็นของเหลวแล้ว การทำให้ของเหลวระเหยเพื่อทำความเย็นอีกครั้ง จะอาศัยการลดความดันลง โดยผ่านอุปกรณ์ลดความดัน สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก มักจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า วาล์วลดความดัน (Thermal Expansion Value) หรือบางทีการใช้ชุดท่อทองแดงเล็ก ๆ (Capillary Tube) ที่ให้ค่าแรงเสียดทานที่พอเหมาะ ก็ใช้ในการปรับลดความดันนี้ได้ดี ซึ่งจากที่เล่ามานี้สามารถแสดงด้วยวงจรทำความเย็น (Refrigeration Cycle)

1. คอนเดนเซอร์ : หรือบางทีเรียกว่าคอยล์ร้อน คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการให้สารทำความเย็นระบายความร้อน เป็นที่ที่สารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลว คอยล์ร้อนมีทั้งชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-cooled) และระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled)
2. อีวาโปเรเตอร์ : คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความเย็น เป็นที่ที่สารทำความเย็นระเหย
3. อุปกรณ์ลดความดัน : เช่น Thermal Expansion Valve หรือ Capillary Tube
4. คอมเพรสเซอร์ : เป็นเครื่องขับเคลื่อนสารทำความเย็น และอัดเพื่อให้เกิดการควบแน่น มีทั้งชนิดที่เป็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor) แบบโรตารี (Rotary Compressor) หรือในเครื่องขนาดใหญ่อาจจะเป็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal Compressor) หรือแบบสกรู (Screw Compressor)

เครื่องปรับอากาศทุกชนิดอาศัยหลักการเดียวกันนี้ทั้งสิ้น การเรียกชื่อเครื่องปรับอากาศต่าง ๆ นานา เป็นการเรียกตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ และการใช้งาน เช่น เครื่องปรับอากาศแบบ

หน้าต่าง (Window Type) คือ เครื่องที่ผลิตมาเพื่อติดตั้งที่หน้าต่างได้ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นเครื่องที่ผู้ผลิต ผลิตให้ส่วนของคอมเดนเซอร์ และอีวาโปเรเตอร์แยกออกจากกัน โดยให้ส่วนที่มีเสียงดัง และต้องระบายความร้อนอยู่นอกห้อง จะได้ไม่รบกวนภายในห้อง เป็นต้น (ที่มา : เกชา ธีระโกเมน, หนังสือความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบ, สำนักพิมพ์เอ็มแอนดีอี)

ภาพรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ร้อยละ 40 อยู่ในภาคอุตสาหกรรม ร้อยละ 35 อยู่ในภาคธุรกิจ และร้อยละ 25 อยู่ในภาคที่อยู่อาศัย ตัวเลขค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เป็นจริงในทุกวันนี้ กว่าร้อยละ 50 ของพลังงานที่สูญเสียไปนั้นมาจากเครื่องปรับอากาศ ความต้องการใช้เครื่องปรับอากาศ ภายในประเทศเพิ่มขึ้นปีละ 400,000 เครื่อง ถ้าเฉลี่ยความต้องการเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศจะใช้ประมาณ 1,500 วัตต์ต่อเครื่องและเพื่อสนองความต้องการของเครื่องปรับอากาศอย่างเดียว กฟภ. จะต้องสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เฉพาะในกรณีนี้ถึงปีละ 600 เมกะวัตต์ หรือเทียบได้กับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ขนาด 300 เมกะวัตต์ 2 โรง

### 2.3.2 ชนิดของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เรียกชื่อต่างกันออกไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ และ การใช้งาน จากหนังสือความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบ (2539) ได้สรุปชนิดของเครื่องปรับอากาศไว้ดังนี้

1. เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window type) คือเครื่องปรับอากาศที่มีอุปกรณ์หลักของวงจรทำความเย็นทุกอย่างครบชุด อยู่ในเครื่องเดียวและออกแบบให้ เหมาะกับการติดตั้งที่หน้าต่างโดยด้านทำความเย็น จะไหลเข้ามาในห้อง ส่วนด้านที่ระบายความร้อนจะไหลไปนอกห้อง

2. เครื่องปรับอากาศแยกส่วน (Split type) เป็นเครื่องที่แตกออกมาจากเครื่องแบบหน้าต่างโดยแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนที่อยู่นอกห้องเรียกว่า Outdoor Unit หรือ Condensing Unit ส่วนที่อยู่ภายในห้องเรียกว่า Indoor Unit หรือ Evaporator Unit หรือเรียกว่า Fan Coil Unit (FCU) หรือในบางครั้งที่มีลักษณะเป็นตู้ขนาดใหญ่ก็จะเรียกว่า Air Handling Unit (AHU) เครื่องปรับอากาศเหล่านี้จะอาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศมักจะเป็นเครื่องที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (0.75-30 ตัน)

3. เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว (Packaged unit) เครื่องแบบนี้มีโครงสร้างเหมือนกับเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง แต่มีขนาดใหญ่กว่ามีทั้งชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเรียกว่า Packaged Water – Cooled การที่ใช้น้ำในการระบายความร้อน จะทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และมีการระบายความร้อนที่ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ

4. ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำความเย็น (Water chiller) เครื่องทำความเย็นนี้มีหน้าที่ทำน้ำให้เย็นก่อน แล้วจึงใช้น้ำเย็นที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความเย็นต่อไปให้กับ FCU. หรือ AHU อีกทอดหนึ่ง โครงสร้างของเครื่องทำน้ำเย็นนี้เหมือนกับเครื่องปรับอากาศทุกชนิด คือ มีวงจรทำความเย็นเหมือนเดิมเพียงแต่แทนที่ "อีวาโปเรเตอร์" จะทำความเย็นให้อากาศโดยตรง ก็กลับไปทำความเย็นให้กับน้ำก่อน เมื่อน้ำเย็นแล้วจึงใช้น้ำเป็นตัวกลางถ่ายเทความเย็นต่อไป แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

4.1) Air Cooled Water Chiller คือ เครื่องทำน้ำเย็นที่อาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ ลักษณะของงานที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้จะเป็นลักษณะของงานที่มีความต้องการความเย็นไม่มากนัก (มักจะไม่เกิน 500 ตันความเย็น) ซึ่งต้องการความสะดวกในการติดตั้ง และต้องการลดภาระการดูแลรักษาหรือจะใช้ในโครงการที่ขาดน้ำ หรือไม่มีน้ำที่มีคุณภาพพอจะมาใช้ระบายความร้อนของเครื่องได้อย่างไรก็ตามเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ จะกินไฟมากกว่าเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ การทำงานของระบบนี้ คือ น้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น จะถูกเครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) จ่ายเข้าสู่ระบบไปยัง FCU. และ AHU. โดยอุณหภูมิของน้ำเย็นนี้จะอยู่ที่ประมาณ  $7^{\circ}\text{C}$  เมื่อใช้งานผ่าน FCU.หรือ AHU. แล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ  $12^{\circ}\text{C}$  ก็จะถูกส่งกลับมายังเครื่องทำน้ำเย็นอีกครั้งหนึ่ง ระบบส่งน้ำเย็นนี้อาศัยท่อน้ำเย็น (Chilled Water Pipe) มีทั้งท่อส่งน้ำเย็น และ ท่อน้ำเย็นกลับ ซึ่งจะต้องหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันน้ำเกาะ ท่อ (Condensation) เนื่องจากความเย็นของท่อจะทำให้ความชื้นที่อยู่ในอากาศมาเกาะเป็นหยดน้ำที่ท่อคอมเพรสเซอร์ ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นคอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบหากมีขนาดใหญ่หน่อยก็อาจจะมีส่วนที่เป็นสกรูส่วนชนิดที่เป็นหอยโข่ง จะใช้เฉพาะเครื่องขนาดใหญ่จริง ๆ เท่านั้น

4.2) Water Cooled Water Chiller คือเครื่องทำความเย็น ที่อาศัยการระบาย ความร้อนด้วยน้ำลักษณะโครงสร้างของเครื่องคล้ายกับเครื่องแบบ Air Cooled ต่างกันแค่ระบายความร้อนด้วยน้ำแทนอากาศ

### 2.3.3 การคำนวณภาระปรับอากาศ

การคำนวณภาระปรับอากาศที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันวิธีหนึ่ง คือการ คำนวณด้วยวิธี "Cooling Load Temperature Difference/Solar Cooling Load/Cooling Load Factor (CLTD/SCL/CLF)" จากหนังสือ ASHRAE Fundamental Hand Book (SI), (1997) การคำนวณวิธีนี้เป็นการคำนวณภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศโดยตรง การคำนวณแบ่งเป็น 3 วิธีหลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 2.3.3.1 External Cooling Load

1. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากการ การนำความร้อนผ่านเข้ามาทางเปลือกอาคาร (ผนังหลังคา และกระจกช่องแสง)

$$\text{สูตรคำนวณ : } Q = U \times A \times \text{CLTD}$$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{k}$ .)

A = พื้นที่ที่พิจารณา ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทางเข้ามา ( $\text{m}^2$ )

CLTD = Cooling Load Temperature Difference ( $^{\circ}\text{C}$ ) ค่า CLTD นี้จะแปรตามละติจูด และช่วงเวลาในการใช้งานในอาคารซึ่งในกรณีของประเทศไทยได้มีการพิจารณาปรับใช้ค่าตามหนังสือคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารซึ่งจะใช้ค่า  $T_{\text{deq}}$  แทน

2. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนเนื่องจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกช่องแสงเข้ามาในอาคาร

$$\text{สูตรคำนวณ : } Q = A \times \text{SC} \times \text{SF}$$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

A = พื้นที่ที่พิจารณาดังฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทางเข้ามา ( $\text{m}^2$ )

SC = Shading Coefficient ของวัสดุตัวกลาง

SF = Solar Heat Gain Factor

3. การคำนวณภาระปรับอากาศ ที่เกิดจากความร้อนเนื่องจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างจากกันห้อง, ฝ้าเพดานและพื้นห้อง

$$\text{สูตรคำนวณ : } Q = U \times A \times [T_1 - T_2]$$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{k}$ .)

A = พื้นที่ที่พิจารณา ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทางเข้ามา ( $\text{m}^2$ )

$T_1$  = อุณหภูมิในส่วนที่ต่อเนื่องกับพื้นที่ปรับอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = อุณหภูมิในส่วนพื้นที่ปรับอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.3.3.2 Internal Cooling Load

#### 1. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร

$$\begin{aligned} \text{สูตรคำนวณ : } Q_{\text{sensible}} &= N \times (\text{Senseble Heat Gain} = 250) \times \text{CLF} \\ Q_{\text{latent}} &= N \times (\text{Latent Heat Gain} = 200) \times \text{CLF} \end{aligned}$$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

N = จำนวนผู้ใช้งานในอาคาร

CLF = Cooling Load Factor มีค่า = 1.0 เมื่อมีการใช้งาน 24 ชั่วโมงหรือมีความหนาแน่นมาก

#### 2. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจาก ระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในอาคาร

$$\text{สูตรคำนวณ : } Q = W \times F_{\text{luf}} \times F_{\text{saf}} \times \text{CLF}$$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

W = Watt Input ของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือของระบบแสงสว่าง

$F_{\text{luf}}$  = Lighting Use Factor ของระบบแสงสว่าง

$F_{\text{sat}}$  = Spacial Allowence Factor ของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือของระบบแสงสว่าง

CLF = Cooling Load Factor มีค่า = 1.0

#### 3. Ventilation and Infiltration (การระบายและการรั่วไหลของอากาศ)

การคำนวณภาระปรับอากาศจะ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

$$\begin{aligned} \text{สูตรคำนวณ : } Q_{\text{sensible}} &= 1.08 (V) \Delta T. \\ Q_{\text{latent}} &= 4840 (V) \Delta W. \\ Q_{\text{total}} &= 4.5 (V) \Delta H. \end{aligned}$$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

V = ปริมาณอัตราการถ่ายเทอากาศภายนอกที่นำเข้ามาในห้อง (CFM.)

$\Delta T.$  = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอก ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta W.$  = ค่าความแตกต่างของความชื้นระหว่างภายในและภายนอก kg(water) / kg (dry air).

$\Delta H.$  = ค่าความแตกต่างของ Enthalpy ระหว่างภายในและภายนอก kj/kg (dry air)

## 2.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

### 2.4.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่น เช่นพลังงานความร้อนพลังงานกล พลังงานไฟฟ้า แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้แหล่งกำหนดแสงธรรมชาติที่สำคัญที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ ส่องผ่านชั้นบรรยากาศ ของโลกจะเกิดการหักเหและสะท้อนแสง ก่อนที่จะลงมายังผิวโลก และเมื่อกระทบกับผิววัตถุใด ๆ จะเกิด คุณสมบัติ 3 ประการ คือ การดูดกลืน การสะท้อน และการส่องผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุแต่ละชนิด

1. การดูดกลืน (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกกลืนหายเข้าไปใน ตัวกลางและเกิดการเปลี่ยนรูปพลังงาน โดยทั่วไปจะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานความร้อน
2. การสะท้อน (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงกระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อน ออกโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนไปลักษณะการสะท้อน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular refecton) และการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse refecton)
3. การส่องผ่าน (Transmission) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบด้านหนึ่ง ของตัวกลางแล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง

### 2.4.2 ทฤษฎีแสงธรรมชาติ

#### 2.4.2.1 สภาพท้องฟ้า(Sky Condition)

ค่าความสว่างและความแจ่มของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลง ตลอดเวลา เป็นผลเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆ และอนุภาคใน อากาศ ผุ่น ควัน หรือไอน้ำ โดยทั่วไปเราแบ่งสภาพท้องฟ้าออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. Overcast Sky คือ สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถ มองเห็นแหล่งกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ได้
2. Clear Sky คือ สภาพท้องฟ้าโปร่งใสไม่มีเมฆปกคลุม
3. Partly Cloudy Sky คือ สภาพท้องฟ้ามีดเมฆปกคลุม บางส่วนการ หาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้ จะทำได้ยากเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆที่มี ตลอดเวลา

#### 2.4.2.2 การให้ความสว่างแก่อาคารด้วยแสงธรรมชาติ

วิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารที่เกิดจากธรรมชาติโดยทั่วไปแยก ไปเป็น 3 วิธีคือ

1. Lumen Method
2. Daylight Factor Method
3. Flux Transfer Method

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะกล่าวถึงเพียงวิธี Daylight Factor Method ที่จะนำมาใช้ในการวิจัยเท่านั้น

Daylight Factor Method เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติ เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลักองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อ แสงสว่างธรรมชาติโดยทั่วไปมี 3 องค์ประกอบ คือ

1) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky Component) ปริมาณความสว่างจากท้องฟ้า นั้นขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าที่เกิดขึ้น เช่น ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ หรือท้องฟ้ามีเมฆมาก เมฆปกคลุมบางส่วน ย่อมมีผลต่อปริมาณ ความสว่างที่เกิดขึ้น

2) องค์ประกอบภายนอก (Externally Reflected Component) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารที่ตั้งอยู่เคียงข้าง เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ปริมาณแสงขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น

3) องค์ประกอบภายใน (Internally Reflected Component) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรือ อาคารที่ตั้งอยู่ภายในอาคาร โดยได้รับแสงจากองค์ประกอบท้องฟ้า และองค์ประกอบภายนอก ปริมาณแสงขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ

Daylight Factor (D.F.) คือการกำหนดค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใด ๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่ไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่รวมแสงแดดโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ค่าที่ได้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์

$$D.F. (\%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน} \times 100\%}{\text{ความสว่างภายนอก}}$$

#### 2.4.3 ความรู้พื้นฐานทางด้านแสงสว่าง

พื้นฐานทางด้านแสงสว่างมีความจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้ก่อน ที่จะเข้าไปดำเนินการในเรื่องการประหยัดพลังงานแสงสว่าง พื้นฐานการส่องสว่างที่จะกล่าวถึงในที่นี้ จะกล่าวเฉพาะสิ่งที่จำเป็นเท่านั้น

### 2.4.3.1 ความส่องสว่างและความสว่าง

1. ความส่องสว่าง (illuminance) หมายถึง ปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น "Lumen/m<sup>2</sup> หรือ Lux" (ถ้าหน่วยเป็น Lumen/ft<sup>2</sup> ความส่องสว่างก็เป็น ft.candle)

$\text{ลูมินแนนซ์} = \frac{\text{ปริมาณแสง (Lumen)}}{\text{พื้นที่ (m}^2\text{)}}$
--

2. ความสว่าง (luminance) หมายถึง ปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจาก วัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น candela / m<sup>2</sup> ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน นั่นคือ "ลูมินแนนซ์" ต่างกัน สาเหตุที่ต่างกันก็เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่างกัน

### 2.4.3.2 หลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่างๆ

1. หลอดไฟฟ้า ที่มีใช้กันอยู่มีหลายชนิดด้วยกัน หลอดแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าต่างกัน ในการเลือกหลอดเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ต้องเลือกหลอดที่มีประสิทธิภาพ (Lumen / watt) สูง อายุการใช้งานนาน และคุณสมบัติทางแสงของหลอดด้วย แต่งานบางอย่างก็ต้องเลือกใช้หลอดที่ไม่ประหยัดพลังงาน ฉะนั้นการนำหลอดไปใช้งานต้องพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้

ประเภทของหลอดไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

- 1) หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent)
- 2) หลอดปล่อยประจุ (Discharge)

1) หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) หรือหลอดมีไส้ เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพ (Efficacy) ต่ำและมีอายุการใช้งานสั้นในเกณฑ์ประมาณ 1,000-3,000 ชม. หลอดประเภทนี้จะให้แสงสว่างที่เกิดจากการทำให้สายใยเล็กๆ ซึ่งทำด้วยหลอดทั้งสแตนร้อน จนกระทั่งมันเรืองแสง แต่จะเกิดความร้อนมากกว่าแสงสว่าง คือเป็นความร้อน 95% และแสงสว่าง 5% มีอุณหภูมิสี ประมาณ 2,800 องศาเคลวิน แต่ให้แสงที่มีค่าความถูกต้องของสี 100%

หลอดประเภทนี้ได้แก่

- 1.1 GLS
- 1.2 PAR, R
- 1.3 ทั้งสแตนฮาโลเจน
- 1.4 ฮาโลเจนแรงดันต่ำ
- 1.5 สตูดิโอ , หลอดไฟถ่ายรูป

2) หลอดปล่อยประจุ (Discharge) เป็นหลอดที่ไม่ต้องใช้ไส้หลอด หลอดในตระกูลนี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ หลอดความดันไอต่ำและหลอดความดันไอสูง

### 2.1) หลอดความดันไอต่ำ

2.1.1) หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ สีของหลอดมี 3 แบบ คือ daylight cool whit และ warm white ชนิดของหลอดชนิดนี้ที่ใช้งานกันทั่วไป คือแบบ Linear ขนาด 18 และ 36 วัตต์ และ Circular 22 32 และ 40 วัตต์ และมี ประสิทธิภาพประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ ถือว่าสูงพอสมควรและประหยัดค่าไฟฟ้า เมื่อเทียบกับหลอดอินแคนเดสเซนต์ ซึ่งค่าประมาณ 10-15 ลูเมนต่อวัตต์ และมีอายุการใช้งาน 9,000-12,000 ชม.

2.1.2) หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ สีของหลอดมี 3 แบบ คือ

- Daylight
- Cool White
- Warm White

เช่นเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบที่ใช้งานกันมากคือ หลอดเดี่ยว มีขนาดวัตต์ 5, 7, 9, 11 วัตต์และหลอดคู่ มีขนาดวัตต์ 10, 13, 18, 26 วัตต์ เป็นหลอดที่พัฒนาขึ้นมาแทนที่หลอดอินแคนเดสเซนต์ และมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ คือประมาณ 50-80 lumen/watt และ อายุการใช้งานประมาณ 5,000-8,000 ชั่วโมง (มากกว่าหลอดไส้ประมาณ 8 เท่า แต่การใช้พลังงานน้อยกว่าถึง 4 เท่า) ปัจจุบันมี 2 ชนิดคือ

1. หลอดคอมแพคต์บัลลัสต์ภายใน เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ย่อขนาดลงแล้วมีบัลลัสต์และสตาร์ทเตอร์รวมอยู่ในหลอด สามารถนำไปติดตั้งแทนที่หลอดไส้ได้ทันที

2. หลอดคอมแพคต์บัลลัสต์ภายนอก ตัวหลอดคล้ายกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอดเชื่อมกัน ภายในหัวหลอดจะมีสตาร์ทเตอร์อยู่ใน ซึ่งจะมีขาต่อสายไฟล่อออกมาให้เห็น 2 ขา ในการต่อใช้งานจะต้องมีบัลลัสต์พิเศษและขาหลอดนำมาต่อร่วมด้วย

2.1.3) หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ หลอดประเภทนี้มีสีเหลืองจัด และประสิทธิภาพมากที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมดคือ มีประสิทธิภาพประมาณ 120-200 lumen/watt แต่ความถูกต้องของสีน้อยที่สุด คือ มีความถูกต้องของสีเป็น 0% ข้อดีของแสงสีเหลืองเป็นสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ดีที่สุด หลอดประเภทนี้จึงเหมาะเป็นไฟถนนและอายุการใช้งานนานประมาณ 16,000 ชม. หลอดมีขนาดวัตต์ 18, 35, 55, 90, 135 และ 180 watt.

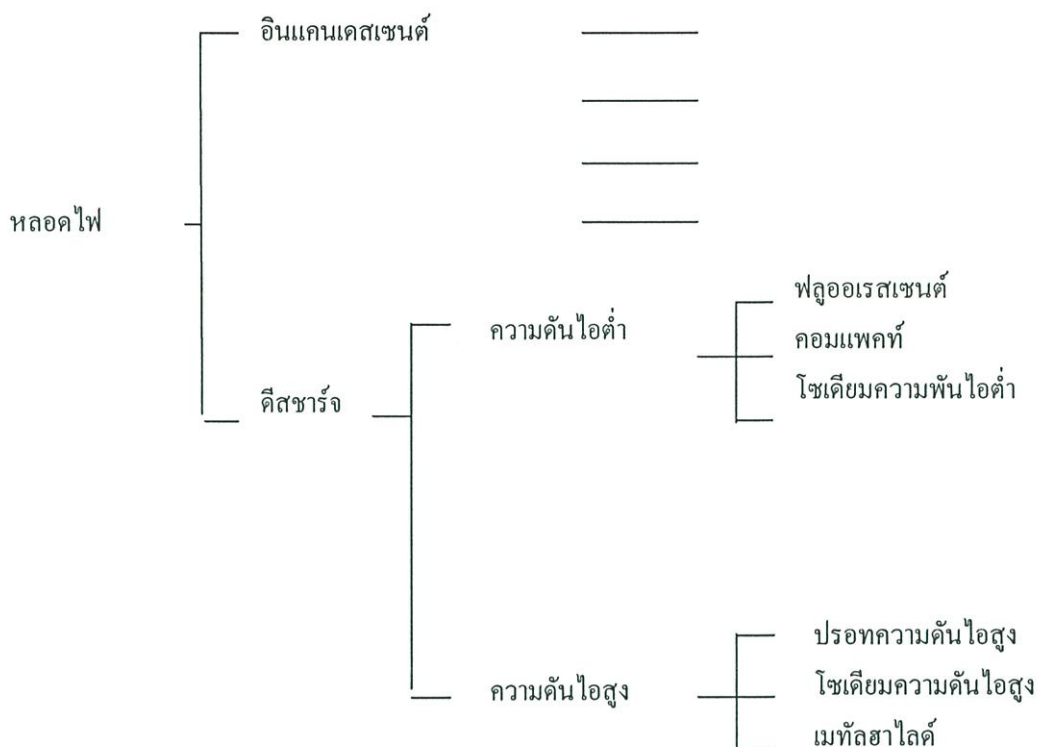
## 2.2) หลอดความดันไอสูง

2.2.1) หลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดโซเดียมความดันไอสูง มีประสิทธิภาพรองจากหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ คือ มีประสิทธิภาพประมาณ 70-90 lumen/watt แต่ความถูกต้องของสีดีกว่าหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ คือ 20 % และมีอุณหภูมิสีประมาณ 2,500 เคลวิน เป็นอุณหภูมิสีต่ำเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความส่องสว่างมาก เช่น ไฟถนน ไฟบริเวณ ซึ่งต้องการความส่องสว่างประมาณ 5-30 lux และอายุการใช้งานประมาณ 24,000 ชม. มีขนาดวัตต์ 50, 70, 100, 150, 250, 400, 1,000 watt

2.2.2) หลอดปรอทความดันไอสูง หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า “หลอดแสงจันทร์” และมีประสิทธิภาพสูงพอกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ มีประสิทธิภาพประมาณ 50-80 lumen/watt แสงที่ออกมามีความถูกต้องของสีประมาณ 60 % ส่วนใหญ่ใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ เมื่อต้องการวัตต์สูงๆ ในพื้นที่ที่มีเพดานสูง อุณหภูมิประมาณ 4,000-6,000 เคลวิน แล้วแต่ชนิดของหลอด และอายุการใช้งานประมาณ 8,000-24,000 ชม. มีขนาดวัตต์ 50 80 125 250 400 700 และ 1,000 วัตต์

2.2.3) หลอดเมทัลฮาไลด์ ก็เหมือนกับหลอดปล่อยประจุอื่นๆ แต่มีข้อดีที่ว่า มีสเปกตรัมแสงทุกสี ทำให้สีทุกชนิดเด่นภายใต้หลอดชนิดนี้ นอกจากความถูกต้องของสีสูงแล้ว แสงที่ออกมาก็อาจมีตั้งแต่ 3,000-4,500 เคลวิน (ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตต์) ส่วนใหญ่นิยมใช้กับสนามกีฬาที่มีการถ่ายทอดโทรทัศน์ มีอายุการใช้งานประมาณ 6,000-9,000 ชม. และมีขนาดวัตต์ 100, 125, 250, 300, 400, 700 และ 1,000 วัตต์

การแบ่งชนิดของหลอดดังกล่าวข้างต้น สามารถเขียนให้เห็นเป็นไดอะแกรม เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 2.3 การแบ่งประเภทของหลอดไฟฟ้า

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกหลอดไฟฟ้า การเลือกใช้หลอดไฟฟ้า เพื่อใช้งานต้องพิจารณาหลายๆ องค์ประกอบร่วมกันก่อนที่จะนำไปใช้งาน

1) ค่าฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux) หมายถึง ปริมาณแสงสว่างหน่วยเป็น "ลูเมน" (Lumen)

2) ค่าประสิทธิภาพ (Efficacy) หมายถึง ปริมาณแสงที่ออกมาต่อวัตต์ที่ใช้ (Lumen / Watt) หลอดที่มีค่าประสิทธิภาพสูงหมายความว่า หลอดนี้ให้ปริมาณแสงออกมามากแต่ใช้วัตต์ต่ำ

3) ความถูกต้องของสี (Color rendering) หมายถึง สีที่ส่องไปถูกวัตถุให้ความถูกต้องสีมากน้อยเพียงใด มีหน่วยเป็น เปอร์เซนต์ หลอดที่มีค่าความถูกต้อง 100% หมายความว่าเมื่อใช้หลอดนี้ส่องวัตถุชนิดหนึ่งแล้วสีของวัตถุที่เห็นไม่มีความเพี้ยนของสี

4) อุณหภูมิสี (Color temperature) หมายถึง สีของหลอดเทียบได้กับสีที่เกิดเนื่องจากการเผาวัตถุดำอุดมคติให้ร้อนที่อุณหภูมินั้น เช่น หลอดอินแคนเดสเซนต์มีอุณหภูมิสี ประมาณ 3000 องศาเซลวิน

5) มุมองศาในการใช้งานหลอด (Burning position) หมายถึง มุมองศาในการใช้งานหลอดสำหรับการติดตั้งหลอดตามคำแนะนำของผู้ผลิต

6) อายุการใช้งาน (Life time) หมายถึงอายุการใช้งานของหลอดโดยเฉลี่ยของหลอด หน่วยเป็นชั่วโมง

## 2. การเลือกชนิดของหลอดไฟฟ้าที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว

หลอดฟลูออเรสเซนต์ออกจะมีราคาสูงกว่าหลอดไส้ แต่หลอดฟลูออเรสเซนต์จะให้แสงสว่างมากกว่าหลอดไส้ประมาณ 4 – 5 เท่าตัว โดยใช้ไฟเท่ากัน และมีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดไส้ประมาณ 7 – 8 เท่าตัว ฉะนั้นการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 วัตต์ 1 หลอด จะให้แสงสว่างเท่ากับการใช้หลอดไส้ ขนาด 100 วัตต์ 2 หลอด

จะเห็นได้ว่าการใช้ “หลอดฟลูออเรสเซนต์” จะเสียค่าไฟถูกกว่าการใช้ “หลอดไส้” ประมาณ 4 เท่า

นอกจากนี้ หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่ซึ่งเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูง หรือที่เรียกว่า “หลอดคอม” ให้กำลังส่องสว่างสูงเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา แต่กินไฟน้อยกว่า มีประสิทธิภาพสูงกว่า ตัวหลอดจะเล็กกว่าหลอดธรรมดา มีขนาด 18 วัตต์ ใช้แทนขนาด 20 วัตต์ และขนาด 36 วัตต์ ใช้แทนขนาด 40 วัตต์ สามารถนำไปสวมเข้ากับขั้วและขาหลอดเดิมได้ทันทีโดยไม่ต้องเปลี่ยนบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ หลอดชนิดดังกล่าวจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 10

“หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์” เป็นหลอดไฟฟ้าชนิดใหม่ มีลักษณะเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็กที่ได้พัฒนาเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยใช้แทนหลอดไส้ได้ มีอายุการใช้งานมากกว่าหลอดไส้ถึง 8 เท่า ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าหลอดไส้ 4 เท่า เป็นหลอดที่ประหยัดไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 75 ปัจจุบันมี 2 ประเภท คือ ประเภทที่มีบัลลาสต์และสตาร์ททรอมอยู่ภายในหลอดสามารถนำไปใช้แทนหลอดไส้ชนิดเกลียวได้ทันทีโดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์อื่น มีหลายขนาดคือ

ขนาด 9	วัตต์	ให้แสงสว่างเท่ากับหลอดไส้	ขนาด 40	วัตต์
ขนาด 13	วัตต์	ให้แสงสว่างเท่ากับหลอดไส้	ขนาด 60	วัตต์
ขนาด 18	วัตต์	ให้แสงสว่างเท่ากับหลอดไส้	ขนาด 75	วัตต์
ขนาด 25	วัตต์	ให้แสงสว่างเท่ากับหลอดไส้	ขนาด 100	วัตต์

จะเห็นได้ว่าหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ มีคุณสมบัติดีกว่าประหยัดค่าไฟฟ้าดังตัวอย่างการใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ภายในบ้านอยู่อาศัย หากใช้หลอดคอมแพคฟลูออ

เรสเซนซ์ชนิดที่มีบัลลาสต์ภายใน ขนาด 13 วัตต์ 1 หลอด แทนหลอดไส้ ขนาด 60 วัตต์ จำนวน 1 หลอด จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณปีละ 142 บาท

หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ อีกชนิดเป็นหลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอก และมีหลักการเดียวกับหลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายใน แต่หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอกสามารถเปลี่ยนหลอดได้ง่ายเมื่อหลอดชำรุด ตัวหลอดมีลักษณะงอโค้งเป็นรูปตัวยู ภายในขั้วของหลอด จะมี สตาร์ทเตอร์อยู่ภายในและมีบัลลาสต์อยู่ภายนอก การติดตั้งใช้งานต้องมีขาเสียบเพื่อใช้กับบัลลาสต์ที่แยกออก มีขนาด 5 วัตต์ 7 วัตต์ 9 วัตต์ และ 11 วัตต์

## 2. โคมไฟ

ทำหน้าที่บังคับทิศทางของแสงให้ส่องไปในทิศทางต้องการ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดไฟฟ้าสูงมากขึ้น คุณภาพของโคมพิจารณาได้จากหลายองค์ประกอบตั้งแต่ อัตราส่วนแสงจากโคม อุณหภูมิสะสมในโคม แสงบาดตา ความปลอดภัยของโคมวัสดุที่ใช้ทำโคม

1) ความปลอดภัยของโคม ถือเป็นอันดับแรกที่ต้องพิจารณาเพราะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ใช้ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องขั้วต่อสายไปซึ่งควรใช้ที่สามารถทนความร้อนได้ดี ขั้วรับหลอดโดยเฉพาะขั้วรับหลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำ ซึ่งต้องทนความร้อนสูงมาก ดังนั้นการเลือกวัสดุที่ใช้ก็เพื่อให้เกิดความปลอดภัยไม่ให้เกิดไฟไหม้

ระดับการป้องกันอันตรายจากโคม (Class of Protection) โคมแต่ละรุ่นอาจถูกออกแบบมาไม่เหมือนกันในแง่การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าของโคม ดังนั้นจึงมีการแบ่งระดับการป้องกันตามมาตรฐานยุโรปออกมาเป็น 3 อย่าง คือ

ระดับ 1 เป็นโคมที่มีการต่อตัวถังของโคมลงดิน จึงสามารถสัมผัสได้โดยไม่มีอันตรายและมีสัญลักษณ์เป็น



ระดับ 2 เป็นโคมที่มีการห่อหุ้มส่วนที่มีไฟฟ้าด้วยฉนวน ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงส่วนที่มีไฟได้ และมีสัญลักษณ์เป็น



ระดับ 3 เป็นโคมที่ใช้ศักดาไฟฟ้าต่ำมาก คือ น้อยกว่า 42 โวลท์ ดังนั้นจึงไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ได้ และมีสัญลักษณ์เป็น



ดังนั้นถ้าหากพบสัญลักษณ์ดังกล่าวข้างต้นก็สามารถเข้าใจได้ดียิ่งขึ้นว่าโคมดังกล่าวถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานอย่างไรเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานเอง

2) ระดับการป้องกันฝุ่นผงและความชื้น (Degree of Protection) การออกแบบโคมจำเป็นต้องสามารถป้องกันฝุ่นผงหรือความชื้น ระดับการป้องกันดังกล่าวกำหนดกัน ด้วยค่า  $I_{pxy}$  (International Protection) ค่าตัวเลข  $x$  จะบอกขนาดของวัสดุขนาดเล็กที่สามารถป้องกันไม่ให้เข้าไปในตัวโคมได้ ส่วนค่าตัวเลข  $y$  จะบอกขนาดของวัสดุขนาดเล็กที่สามารถป้องกันไม่ให้เข้าไปในตัวโคมได้ ส่วนค่าตัวเลข  $y$  จะบอกการป้องกันเรื่องน้ำ ตารางระดับการป้องกันฝุ่นผงและความชื้นเทียบกับมาตรฐาน VDE 0711 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 2.14 ระดับการป้องกันฝุ่นผงและความชื้น

ระดับการป้องกัน	ความหมายค่าตัวแรก	ความหมายค่าตัวที่สอง
IP00	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มีการป้องกัน
IP11	ป้องกันวัสดุ > 50 mm.	ป้องกันน้ำหยดทำมุม 0 องศากับแนวดิ่ง
IP20	ป้องกันวัสดุ > 12 mm.	ไม่มีการป้องกัน
IP22	ป้องกันวัสดุ > 12 mm.	ป้องกันน้ำหยดทำมุม 15 องศากับแนวดิ่ง
IP33	ป้องกันวัสดุ > 2.5 mm.	ป้องกันน้ำสาด (Splash)
IP40	ป้องกันวัสดุ > 1 mm.	ไม่มีการป้องกัน
IP50	ป้องกันผง	ไม่มีการป้องกัน
IP54	ป้องกันผง	ป้องกันน้ำพ่น (Spray)
IP55	ป้องกันผง	ป้องกันน้ำฉีด (Water Jet)
IP65	ป้องกันผงเข้าได้	ป้องกันน้ำฉีด (Water Jet)

การวัดประสิทธิภาพของโคมสามารถบอกได้เป็น อัตราส่วนแสงจากโคม (Light Output Ratio) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนปริมาณแสงที่ออกจากโคมต่อปริมาณแสงที่ออกจากตัวหลอด ถ้าอัตราส่วนแสงจากโคมมีค่ามากก็หมายถึงปริมาณแสงออกจากตัวโคมมีมาก นั่นคือประสิทธิภาพของโคมในการสะท้อนแสงออกมาดี

3) อุณหภูมิสะสมในโคม มีผลต่อประสิทธิภาพของโคมมาก เพราะไปเกี่ยวพันกับลูเมนของหลอดที่ได้ออกมา หลอดเมื่อใส่ในโคมถ้าไม่มีการระบายอากาศที่ดีทำให้ความร้อนสะสมในโคมทำให้โคมและหลอดร้อนขึ้น ลูเมนที่เปล่งออกจากหลอดก็น้อยลง บางครั้งลูเมนของหลอดตกลงถึง 25-40 %

การเลือกโคมต้องพิจารณาเรื่องการระบายอากาศในโคมด้วยซึ่งมักไม่ค่อยได้พิจารณากันโดยแบ่งการทดสอบออกเป็นชนิดของหลอดต่างๆ และสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สำหรับหลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นหลอดไส้ในการใช้งานจะมีอุณหภูมิที่หลอดค่อนข้างสูงทำให้โคมมีอุณหภูมิสูงไปด้วยแต่ปริมาณแสงจากหลอดจะลดลงมาก เนื่องจากการทำงานของหลอดไม่ต้องอาศัยก๊าซในการทำงานจึงไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นมาก แต่ความร้อนนี้จะมีผลกับอายุการใช้งานของหลอดเพราะยังเกิดความร้อนมากขึ้นยิ่งทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

2. สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะไม่มีช่องเพื่อช่วยในการระบายอากาศอยู่ภายในฝา ในการพิจารณาจะแบ่งเป็น 2 แบบคือ

2.1) โคมที่ด้านหน้าเป็นโคมเปิด หมายถึงไม่มีตัวกรองแสง ปิดด้านหน้า โคมที่ด้านหน้าเป็นโคมเปิดจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้จากอากาศที่พัดผ่านด้านหน้า ดังนั้นปริมาณแสงจึงลดลงไม่มาก

2.2) โคมที่ด้านหน้าเป็นโคมปิด ถ้าเป็นโคมที่ด้านหน้ามีตัวกรองแสง ปิดอยู่ การระบายจะเป็นไปได้ยาก และเมื่อเกิดความร้อนขึ้น จะทำให้ปริมาณแสงจากหลอดลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และจะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

การใช้งานหลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ จะมีลักษณะการวางหลอด 2 แบบ คือ การวางหลอดในแนวตั้ง และการวางหลอดในแนวนอน

- การวางหลอดในแนวนอน : หลอดที่วางในแนวนอนนั้นปริมาณแสงจะลดลงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตำแหน่งติดตั้งหลอดและผนังด้านบนของโคมว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด ยิ่งระยะห่างน้อยปริมาณแสงยิ่งลดลงมาก

- การวางหลอดในแนวตั้ง : นั้นเมื่อเปิดใช้งานปริมาณแสงจากหลอดจะลดลงในช่วง 5-10 % เพราะอากาศร้อนจะถูกพัดขึ้นไปด้านบนและออกจากโคมไป

สำหรับการใช้งานหลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวนั้น ในการทดสอบได้ใช้หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ในโคมสำหรับหลอด GLS 100 วัตต์ ซึ่งผลที่ได้ไม่ต่างจากการใช้หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์วางในแนวตั้งเท่าใดนักโดยปริมาณแสงที่ลดลงจะอยู่ในช่วง 5-10 % เท่านั้น แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างสำหรับหลอด GLS 100

วัตต์ ที่มีช่องระบายอากาศด้านบนกับโคมสำหรับหลอด GLS ที่ปิดช่องระบายอากาศทั้งหมด แล้วจะพบว่าโคมที่ปิดช่องระบายอากาศทั้งหมดจะมีปริมาณแสงลดลงมากกว่าซึ่งบางครั้งอาจมีค่าลดลงมากกว่าโคมที่ไม่ปิดช่องระบายอากาศถึง 6 %

4) แสงบาดตา (Glare) หมายถึง แสงที่เข้าตาแล้วทำให้มองเห็น วัตถุได้ยากหรือมองไม่เห็นเลย การจัดโคมให้ส่องสว่างโดยทั่วไปต้องการแสงบาดตาน้อยที่สุด โคมไฟฟ้าแต่ละชนิดให้แสงบาดตา ไม่เหมือนกัน มาตรฐานมีการกำหนดไว้เหมือนกันว่าถ้า ต้องการ คุณภาพของแสงสว่างที่ดีที่ความส่องสว่างเท่าใดควรมีแสงบาดตาเป็นอย่างไร

แสงบาดตามีด้วยกัน 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

4.1 แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (disability glare)

4.2 แสงบาดตาแบบไม่สบายตา (discomfort glare) แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้เป็นแสงบาดตาประเภทที่ไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้ เช่น มีแสงเข้าตา มากจนไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้ ส่วนแสงบาดตาแบบไม่สบายตา เป็นแสงบาดตาประเภทที่ยังมองเห็นวัตถุได้แต่เป็นได้ด้วยความลำบาก และไม่สบายตาเพราะมีแสงย้อนเข้าตา

5) วัสดุที่ใช้ทำโคม ควรประกอบด้วยวัสดุที่สามารถใช้งานทนทาน และไม่ลอกง่าย ทนความร้อนได้สูง และมีการสะท้อนแสงที่ดีเพื่อประสิทธิภาพสูงของโคม ทั้งนี้ รวมถึงอุปกรณ์ย่อย เช่น บัลลาสต์ ขั้วรับหลอด ขั้วสตาร์ทเตอร์ คาปาซิเตอร์ เป็นต้น

วัสดุสะท้อนแสงในโคมและคุณสมบัติของตัวสะท้อนแสง (ส่งผ่านแสงในโคม) มีสองชนิดคือ

— วัสดุสำหรับสะท้อนแสงซึ่งอาจมีผิวมันหรือหยาบ ถ้าเป็นชนิดผิวมัน ก็สะท้อนแสงออกไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการตกกระทบของแสง แต่ถ้าเป็นวัสดุผิวหยาบก็จะกระจายแสงที่ตกกระทบลงมาออกเป็นหลายทิศทาง

— ส่วนวัสดุส่งผ่านแสงอาจทำด้วยแก้วหรือส่วนผสมหรือคล้ายพลาสติก มีไว้เพื่อส่งผ่านแสงออกไปในทิศทางที่ต้องการ

การออกแบบความโค้งของตัวสะท้อนแสงของโคมเพื่อให้ได้แสงออกมาเพื่อใช้ตามที่ต้องการในแต่ละโคม โดยมีแสงบาดตาน้อย หรือ การออกแบบการส่งผ่านเพื่อให้แสงหักเหออกไปในทิศทางที่ต้องการ เช่น ตัวกรองแสงในโคมไฟถนน เป็นต้น การออกแบบดังกล่าวไม่ใช่เรื่องง่าย และถือเป็นศาสตร์อย่างหนึ่งที่ต้องใช้เวลา ความสามารถในการเรียนรู้ รวมทั้งประสบการณ์จึงจะสามารถทำได้ในประเทศที่มีการผลิตโคม เพื่อการส่งออกจำเป็นต้องอาศัยการออกแบบดังกล่าว

## 6) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโคม

- โคมไฟมีไว้เพื่อให้แสงสว่างจากหลอดส่องไปในทิศทางที่ต้องการ
- มุมลำแสง (Beam Spread) นิยามที่สหรัฐฯ หมายถึง มุมลำแสงของความเข้มแสง 10 % ของค่ามากที่สุด มุมครึ่งความเข้มแสง (Half Beam Angle) นิยามทางด้านยุโรป หมายถึง มุมลำแสงของความเข้มแสงครึ่งหนึ่งของค่าที่มากที่สุด
- คุณสมบัติที่ดีของโคม—ความปลอดภัยในการใช้งาน ความสวยงามของโคม ชนิดของวัสดุที่ใช้ และคุณลักษณะทางด้านแสง
- การเลือกโคมไฟให้มีแสงบาดตาน้อยเป็นเรื่องสำคัญไม่แพ้เรื่องการคำนวณการส่องสว่างให้เพียงพอต่อการมองเห็น
- อัตราส่วนแสงจากโคม hLB - อัตราส่วนปริมาณแสงจากโคมต่อปริมาณแสงจากหลอด
- โคมที่มีอัตราส่วนแสงจากโคมสูงไม่ได้หมายความว่า เป็นโคมที่มีคุณภาพแสงดีเสมอ
- โคมส่องลง 100 วัตต์ ที่มีความสูง 2.5 เมตร ให้ความส่องสว่างที่พื้น 100 ลักซ์
- หลอด GLS ชนิดเคลือบที่ใช้กับโคมไฟส่องลงให้แสงออกมานวล ถ้าเป็นหลอดใสจะเห็นวงแสงหลายวง
- โคมไฟส่องลงสะท้อนแสงมีสองอย่าง คือ สีทอง และ สีเงิน ตัวสะท้อนสีทองใช้เมื่อต้องการความอบอุ่นเป็นกันเอง ตัวสะท้อนแสงสีเงินใช้เมื่อต้องการความสว่างเพื่อการใช้งาน
- โคมไฟตัวสะท้อนแสงดีมากๆ ควรระมัดระวังเพราะถูกรอยนิ้วมือเช็ดออกได้ยาก
- โคมไฟส่องหลอดอินแคนเดสเซนต์ถ้าใส่หลอดคอมแพคท์มักมีแสงบาดตามาก
- โคมไฟส่องลงหลอด PAR 38 ใช้สำหรับเพดานสูงเกิน 4 เมตร
- โคมไฟหลอดคอมแพคท์เหมาะสำหรับพื้นที่ที่เปิดไฟทิ้งไว้นานหรือต้องการประหยัดพลังงาน
- โคมไฟสาดกำแพงสูง 2.5 เมตร ควรติดตั้งห่างจากกำแพง 40-60 ซม. และระยะห่างระหว่างโคมประมาณ 0.6-1.2 เมตร เพื่อไม่ให้เกิดเงาที่กำแพง

- โคมไฟแบบอุตสาหกรรมใช้ป้องกันทางกลไม่ให้กระแทกถูกหลอ  
แตกได้ง่าย

- โคมแบบครีปสีขาว หรือบางครั้งเรียก โคมโรงเรียน

- โคมไฟแบบครีปใช้กับงานที่ไม่พิถีพิถันเรื่องความสวยงามมากนัก

แต่ต้องการคุณภาพแสงด้วยการลดแสงบาดตาโดยอาศัยครีปบังแสง

- โคมสะท้อนแสงอะลูมิเนียมให้แสงออกจากโคมมาก และมักใช้กับ  
สำนักงาน ตัวสะท้อนแสงมีแบบกระจก (Mirror Reflector) และแบบ (Matt Reflector)

- โคมตั้งกรองแสงขาวขุ่นใช้กับงานที่ต้องการคุณภาพที่ดี แต่เปลือง  
ค่าไฟฟ้า

- โคมหลอดเปลือยใช้กับพื้นที่ไม่พิถีพิถันเรื่องความงาม เช่น ห้อง  
เก็บของ หรืองานที่ต้องการส่องสว่างด้านข้างมาก-ชั้นวางของ ห้องจ่ายยา ห้องสมุด ชุบเปอร์-  
มาเก็ต

7) **บัลลาสต์** บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นและมีความสำคัญในวงจร  
แสงสว่าง เพราะนอกจากจะช่วยในการทำงานของวงจรให้สมบูรณ์แล้วยังผลต่อปริมาณแสงสว่าง  
อายุ การใช้งาน และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในวงจรด้วย หน้าที่ของบัลลาสต์มีอยู่สองอย่างที่สำคัญ  
คือ ช่วยสร้างให้เกิดแรงดันเพียงพอในการจุดหลอดก๊าซดีสชาร์จให้ติด ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้า  
ผ่านวงจรขณะสตาร์ทและทำงาน และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอด ให้มีค่าเหมาะสม

#### ปัจจัยพิจารณาในการเลือกบัลลาสต์

1. **บัลลาสต์แฟคเตอร์ (Ballast Factor)** หมายถึง อัตราส่วนปริมาณแสงสว่างที่  
ได้จากหลอดที่ใช้กับบัลลาสต์ที่ต้องการพิจารณาต่อปริมาณแสงที่ได้จากหลอดที่ใช้บัลลาสต์  
อ้างอิง ที่แนะนำสำหรับบัลลาสต์ทุกชนิดควรอยู่ระหว่าง 0.9-1.10

2. **ตัวประกอบยอดคลื่นกระแส (Current Crest Facto)** หมายถึง อัตราส่วน  
ระหว่างค่ายอดของกระแสต่อค่ากระแสเฉลี่ย RMS อาจวัดได้ 2 อย่างคือ กระแสด้านเข้า และ  
กระแสผ่านหลอด โดยทั่วไปตัวประกอบยอดคลื่นกระแสที่ผ่านหลอดไม่ควรเกิน 1.7

#### ความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง

1) ในพื้นที่ทำงานที่ต้องการความส่องสว่างสม่ำเสมอ เช่น ในสำนักงานที่มีการ  
โยกย้ายโต๊ะทำงานบ่อยๆ ควรมีอัตราความส่องสว่างต่ำสุดต่อความส่องสว่างเฉลี่ย ไม่ต่ำกว่า 0.8

2) ในพื้นที่ทำงานที่ไม่จำเป็นต้องมีความส่องสว่างสม่ำเสมอ ความส่องสว่าง  
โดยรอบบริเวณทำงานไม่ควรมีความส่องสว่างน้อยกว่า 1/3 ของความส่องสว่างที่โต๊ะ หรือ พื้นที่

ทำงาน เช่น ในห้องผู้จัดการ ที่โต๊ะทำงานมีความส่องสว่าง 500 ลักซ์ บริเวณรอบข้างไม่ควรมีความส่องสว่างน้อยกว่า  $500/3 = 170$  ลักซ์ เป็นต้น

3) ในพื้นที่ทำงานข้างเคียงไม่ควรมีความส่องสว่างต่างกันมากกว่า 5.1 เช่น ในห้องทำงานมีความส่องสว่าง 500 ลักซ์ เมื่อเดินออกนอกห้องแล้ว ความส่องสว่างด้านนอกไม่ว่าจะเป็นทางเดินหรืออะไรก็ตามแต่ไม่ควรมีความส่องสว่างน้อยกว่า 100 ลักซ์ เป็นต้น

3. ระบบการให้แสง แสงสว่างพื้นฐานที่ต้องใช้เพื่อการใช้งานแยกออกได้เป็นระบบต่างๆ ดังนี้

1) แสงสว่างทั่วไป (General lighting) คือ การให้แสงกระจายทั่วไปทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งานซึ่งใช้กับความส่องสว่างที่มากจนเกินไป

2) แสงสว่างทั่วไป (General Lighting) คือ การให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณที่ต้องการใช้ไฟแสงสว่างมาก เพื่อการประหยัดพลังงาน

3) แสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป (General and Localised Lighting) คือการให้แสงสว่างทั้งแบบทั่วไปทั้งบริเวณและเฉพาะที่ที่ทำงาน ซึ่งมักใช้กับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูงซึ่งไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างทั่วไปได้เพราะเปลืองค่าไฟฟ้ามาก แต่ก็สามารถให้แสงแบบแสงสว่างทั่วไปได้เพราะเปลืองค่าไฟฟ้ามาก แต่ก็ไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างเฉพาะที่ได้เพราะเมื่อมองหน้าจากการทำงานก็จะพบบริเวณ ข้างเคียงมือเกินไป ทำให้สายตาเสียได้

#### 2.4.3.3 หน่วยมาตรฐานสำหรับการส่องสว่าง

หน่วยมาตรฐานสำหรับการส่องสว่าง มีการกำหนดโดยหน่วยงานและแห่ง เช่น IES (USA) , BS เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกัน ส่วนค่ามาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยไม่มีอิงประเทศใดประเทศหนึ่งนั้น ได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) โดยที่ CIE กำหนดค่าความส่องสว่างออกเป็น 3 ค่า กลาง เป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่นๆ คืออาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ

ตารางที่ 2.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่าง "โรงงาน" ตามมาตรฐาน CIE , IES และ BS

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES (USA)	BS
งานทั่วไป	150-200-300	200-300-500	200
งานหยาบ	200-300-500	500-750-1000	300
งานละเอียดปานกลาง	300-500-750	1000-1500-2000	500
งานละเอียด	500-750-1000	2000-3000-5000	750
งานละเอียดมาก	1000-1500-2000	5000-7500-10000	1000

ตารางที่ 2.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างใน "อาคาร" ตามมาตรฐาน CIE , IES และ BS

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES (USA)	BS
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500	750W
ห้องเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	750W
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องสมุด	300-500-750	200-300-500	500W
ร้านค้าในอาคารพาณิชย์	300-500-750	500-750-1000	500W
เคาน์เตอร์	500-750	200-300-500	200W
ห้องเก็บของ	200-300-500	100-150-200	150 S
ห้องลิฟท์หรือบริเวณต้อนรับ	100-150-200	100-150-200	150 S
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	150 S
ทางเดิน	50-100-150	100-150-200	100S
บันได	100-150-200	100-150-200	150F
ลิฟท์	100-150-200	100-150-200	150F

\*\*\*หมายเหตุ.....มาตรฐานของ BS

ตัวเลข คือ ค่าความส่องสว่าง

ตัวหนังสือ คือ ตำแหน่งของความสว่าง (W = Working Plane , S = Switch , F = Floor)

#### 2.4.3.4 การส่องสว่างภายใน

1. ระบบการให้แสงสว่างหลัก คือ การออกแบบระบบแสงสว่างให้มีความส่องสว่างเพียงพอตามมาตรฐานเพื่อการใช้งานในแต่ละพื้นที่นั้นๆ

2. ระบบการให้แสงสว่างรอง คือ การออกแบบให้มีแสงสว่างให้เกิดความสวยงามหรือเน้นเพื่อให้เกิดความสนใจ สบายตา และ อารมณ์

\*\*\*การให้แสงสว่างที่ดี ควรมีทั้งระบบการให้แสงสว่างหลักและแสงสว่างรอง

ความส่องสว่างในโรงเรียน

1) โคมประเภทมีครีป (Fin Louver) ใช้ในโรงเรียนเพราะให้แสงบาดตาน้อย

2) ห้องบรรยายควรจัดโคมและสวิตช์ดังนี้

2.1) โคมฟลูออเรสเซนต์วางตามทิศทางการมอง

2.2) ความส่องสว่างในห้อง 500 ลักซ์และหน้าเวที 700 ลักซ์ การจัดสวิตช์ให้ปิด

เปิดโคมตามแนวยาวและกลุ่มโคมที่หน้าห้องด้วย

2.4.3.5 การคำนวณค่าความร้อนที่เกิดจากดวงไฟฟ้าแสงสว่าง

ดวงไฟจากไฟประดิษฐ์จัดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคารที่สำคัญที่สุด ค่าความร้อนนี้ได้จากการคำนวณ

$$\text{สูตร } Q = W \times \text{Use Factor} \times \text{Allowance Factor}$$

Q = ปริมาณความร้อน (Watt)

W = จำนวนวัตต์ของดวงไฟทั้งหมดในพื้นที่

Use Factor = อัตราส่วนของจำนวนวัตต์ของดวงไฟที่ใช้งานจริงต่อจำนวนวัตต์ของดวงไฟที่ติดตั้งทั้งหมดในพื้นที่โดยทั่วไปมีค่า = 1

Allowance Factor = ตัวคูณความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้งานคู่กับดวงไฟ มีค่า = 1.20

## 2.5 การวิเคราะห์พลังงาน (Energy Audit)

### 2.5.1 กระบวนการใช้พลังงานในอาคาร

การใช้พลังงานในอาคารจะมีปริมาณมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับตัวแปรหรือองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความต้องการของผู้ใช้อาคารตำแหน่งที่ตั้ง, ลักษณะการใช้งานของอาคารและชั่วโมงการใช้งาน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกความต้องการการใช้พลังงาน หรือ สาเหตุที่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานในอาคาร ดังนี้

- ความต้องการจากบุคคล อุปกรณ์ เครื่องใช้ต่างๆ
- รังสีดวงอาทิตย์ ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆ
- การทำงานของระบบปรับอากาศ และระบายอากาศ

## 2.5.2 การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน (Energy Auditing)

1. **วัตถุประสงค์ :** เพื่อศึกษาสภาพการใช้พลังงานประสิทธิภาพของอุปกรณ์อาคารและประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า เพื่อศึกษาแนวทางในการดำเนินการจัดการพลังงานการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพ อันจะก่อให้เกิดการใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

2. **ระดับการตรวจวิเคราะห์ :** สามารถจำแนกระดับการตรวจวิเคราะห์ได้อย่างง่าย ๆ ได้ 2 ระดับ คือ

2.1) **การตรวจวิเคราะห์เบื้องต้น (Preliminary Auditing)** การวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้น เป็นการตรวจสอบการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานโดยทั่วไป ของการใช้พลังงาน เป็นการให้มองเห็นถึงภาพรวมอย่างกว้าง ว่าภายในอาคารนั้นมีการใช้พลังงานในรูปแบบใดบ้าง มากน้อยเพียงใด สามารถแจกแจงให้เห็นว่าพลังงานถูกใช้ไปในกิจกรรมต่างๆ ในสัดส่วนเท่าใด ประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวม นอกจากนี้ยังจะทำให้ทราบถึงแนวทางเลือกที่จะดำเนินการประหยัดพลังงานว่าควรจะมีทิศทางใดที่จะเป็นได้มากที่สุด และส่งผลให้มีศักยภาพสูงสุด

2.2) **การตรวจวิเคราะห์อย่างละเอียด (Detail Auditing)** เป็นขบวนการที่ต่อเนื่องจากการทำบัญชีระดับมหภาค เป็นการตรวจสอบ และรวบรวมข้อมูลโดยมุ่งสนใจไปยังระบบย่อยต่างๆ ที่ได้รับการตัดสินใจที่จะหาแนวทางประหยัดพลังงานให้กับระบบนั้น ผลที่ได้จะทำให้ทราบถึงสภาพการใช้พลังงานของระบบย่อยอย่างละเอียดตลอดจนความบกพร่อง หรือความผิดปกติของระบบ ประสิทธิภาพต่างๆ พร้อมกันนี้ก็จะสามารถหาวิธีต่างๆ ที่จะลดความบกพร่อง หรือความผิดปกตินั้น ให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งจะยังผลให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลตามต้องการ

3. **ลักษณะของผู้มูลที่ใช้ :** การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลต่างๆ มาประกอบการพิจารณา การได้มาของข้อมูลอาจจำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

- 1) ข้อมูลจากเอกสาร เอกสารที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ ใบเสร็จค่าพลังงาน แผนผังอาคารการใช้อาคาร แผนภูมิระบบรับ-จ่ายพลังงาน รายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น
- 2) ข้อมูลจากการลงสนามสำรวจ ข้อมูลเหล่านี้ได้จากการสัมผัสกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้การสังเกตประกอบการใช้เครื่องมือวัด เพื่อวัดปริมาณต่างๆ ตามต้องการ ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้, ค่าตัวประกอบกำลัง, อุณหภูมิต่างๆ ความชื้น และค่าการส่องสว่าง เป็นต้น

4. **ขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ :** ขั้นตอนที่สำคัญประกอบด้วย

- 1) การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลส่วนใหญ่อาจได้มาจากเอกสารต่างๆ รวมถึงการสัมภาษณ์ผู้ใช้อาคาร

2) การลงนามสำรวจข้อมูลโดยละเอียด ได้แก่ การนำอุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล

3) การวิเคราะห์ผล ได้แก่การนำเอาข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลและจัดทำ รายงาน

- ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน
- สัดส่วนการใช้พลังงาน
- ดัชนีการใช้พลังงานในระบบต่างๆ
- ประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวม
- ประสิทธิภาพ การสูญเสียของอุปกรณ์ต่างๆ
- ประสิทธิภาพทางด้านกรอบอาคาร

5. การประมาณอัตราการใช้พลังงานหลักในอาคาร แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันได้แก่

- 1) การประเมินค่าการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- 2) การประเมินค่าการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าปรับอากาศ

การประเมินการใช้ไฟฟ้านี้จะเป็นการคิดคำนวณจากการใช้พลังงานจากการใช้ไฟฟ้าจริง โดยคิดแยกตามอุปกรณ์ เพื่อหาอัตราการใช้ไฟฟ้าสูงสุด

## 2.6 การปรับปรุงอาคารเพื่อลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

การประหยัดพลังงานในประเทศไทยนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงตลอดเวลาก็คือ ประเทศไทย เป็นประเทศที่อยู่ในเขตอากาศร้อนชื้น ทำให้อาคารส่วนใหญ่จะต้องมีการปรับอากาศเพื่อให้ อากาศในอาคารอยู่ในสภาวะน่าสบาย ไม่ว่าจะเป็อาคารประเภทที่อยู่อาศัยหรือกระทั่งอาคาร สำนักงานที่เป็นอาคารสูง ล้วนแต่ต้องการคุณภาพอากาศที่ดีให้กับผู้ใช้อาคารทั้งนั้น เป็นผลให้ การใช้พลังงานด้านนี้มีการใช้มากที่สุด ส่วนที่ตามมาคือพลังงานที่ใช้ในการส่องสว่างให้กับ อาคาร

### 2.6.1 การวางแผนงานในการปรับปรุงอาคาร

จุดประสงค์ในการดำเนินงาน เพื่อ

1. กำหนดเป้าหมายที่มีความเหมาะสมและชัดเจน
2. กำหนดขอบเขตของงานและผู้ปฏิบัติการ
3. กำหนดวิธีการในการดำเนินการ

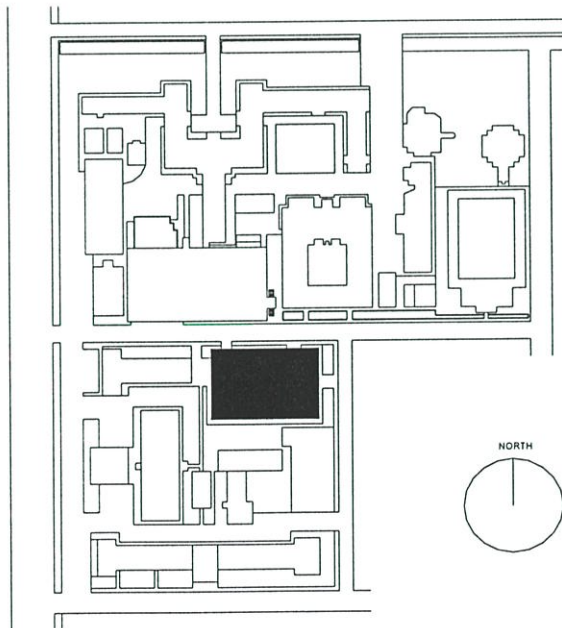
### บทที่ 3

## อาคารกรณีศึกษาและการเก็บข้อมูล

### 3.1 ข้อมูลทางสถาปัตยกรรม

#### 3.1.1 ทิศทางที่ตั้งอาคารและสภาพแวดล้อม

ที่ตั้งอาคาร : อาคารมหามกุฏ ตั้งอยู่ในบริเวณของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รูปอาคารเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความยาว 66.60 X 44.00 เมตร แนวอาคารวางอยู่ในทิศตะวันออก-ตะวันตก บริเวณโดยรอบอาคารเป็นอาคารทั้งหมด โดยทิศเหนือติดกับอาคารแถบนิระนิระความสูง 4 ชั้น , ทิศตะวันออกติดกับอาคารจุลจักรพงษ์ความสูง 4 ชั้นและทิศตะวันตกติดกับอาคารคูลัม วัชโรบล ความสูง 7 ชั้น ยกเว้นทางด้านทิศใต้ ที่เป็นสระน้ำ , เรือนเพาะชำและแปลงเลี้ยงพืช ตลอดแนว(ดูรูป 3.1) จากทิศทางการวางอาคารในรูปแบบนี้ จะทำให้ด้านแคบของอาคารรับแดดเต็มที่ ซึ่งเป็นผลดีที่พื้นที่ส่วนใหญ่ไม่ต้องรับแสง และจากอาคารโดยรอบที่มีความสูง 4 ชั้นนั้น มีผลในด้านการให้ร่มเงาแก่อาคารที่ศึกษาพอสมควร



รูปที่ 3.1 แสดงที่ตั้งอาคารมหามกุฏ และอาคารโดยรอบ

### 3.1.2 ผังและพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

อาคารนี้มีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มพื้นที่ด้านการเรียนการสอนให้กับคณะวิทยาศาสตร์ โดยจะเน้นไปที่การเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เป็นสำคัญ

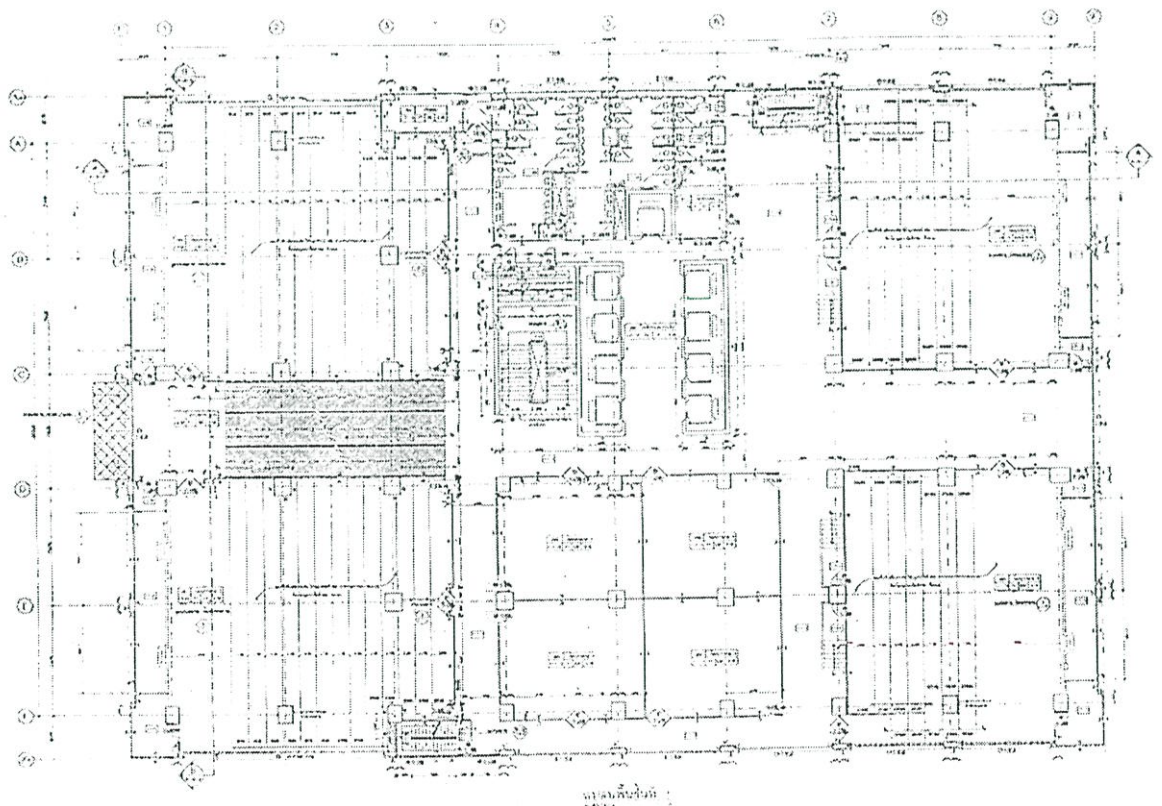
อาคารหลังนี้ สามารถแบ่งพื้นที่ใช้สอยได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ห้องบรรยายรวม
2. ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์
3. ห้องสำนักงานและห้องพักอาจารย์

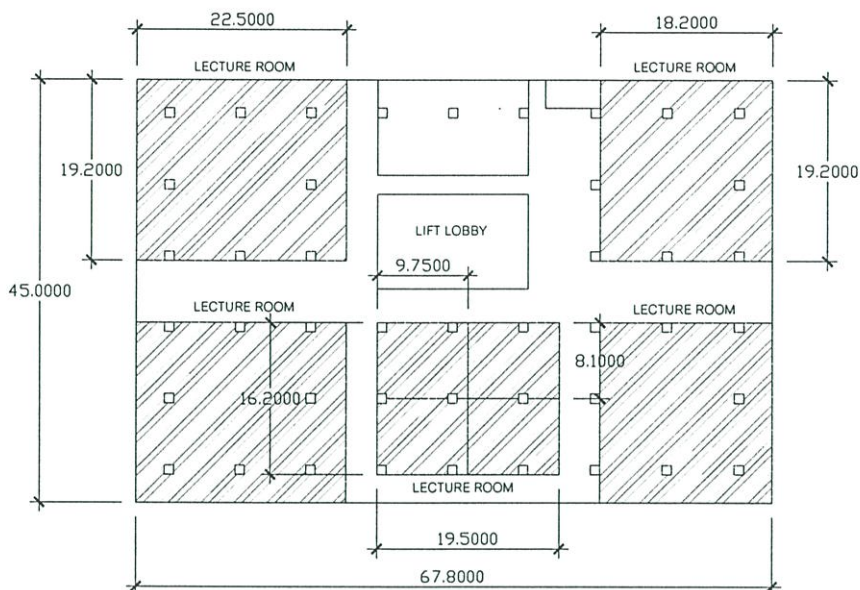
1. ห้องบรรยายรวม : ในส่วนที่เรียกว่าห้องบรรยายรวมนั้นจะนับตั้งแต่ชั้น M (ชั้นลอย) ถึงชั้น 3

ชั้น M จะมีห้องเรียนขนาด 250 ที่นั่ง 360 ตารางเมตร จำนวน 2 ห้องอยู่บริเวณทางด้านทิศตะวันตก

ชั้น 2-3 จะเป็นห้องบรรยายทั้งหมด 16 ห้อง ห้องขนาด 360 ตารางเมตร 4 ห้อง , ขนาด 320 ตารางเมตร จำนวน 4 ห้องและห้องบรรยายขนาดเล็กอีก 8 ห้องห้องละ 80 ตารางเมตร (ดูรูป 3.2 และ 3.3)



รูปที่ 3.2 แสดงผังชั้น 2-3 ที่เป็นผังในชั้นห้องบรรยายรวม

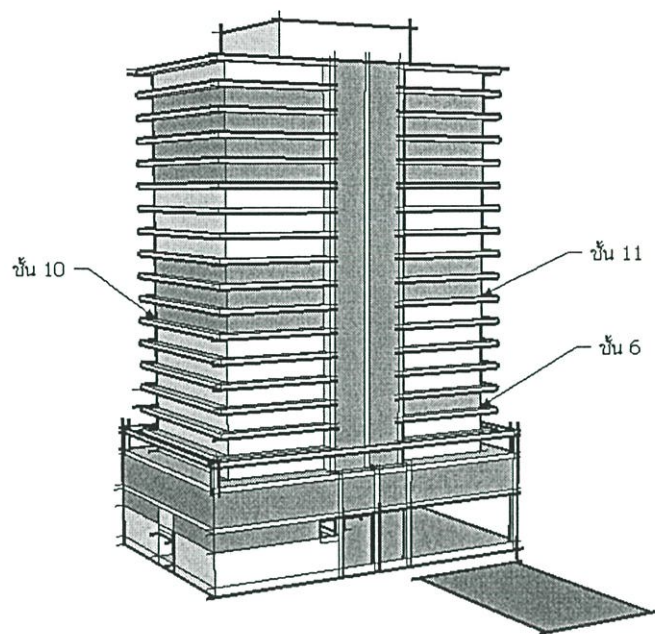


รูปที่ 3.3 แสดงขนาดและพื้นที่ใช้สอยห้องเรียนรวม

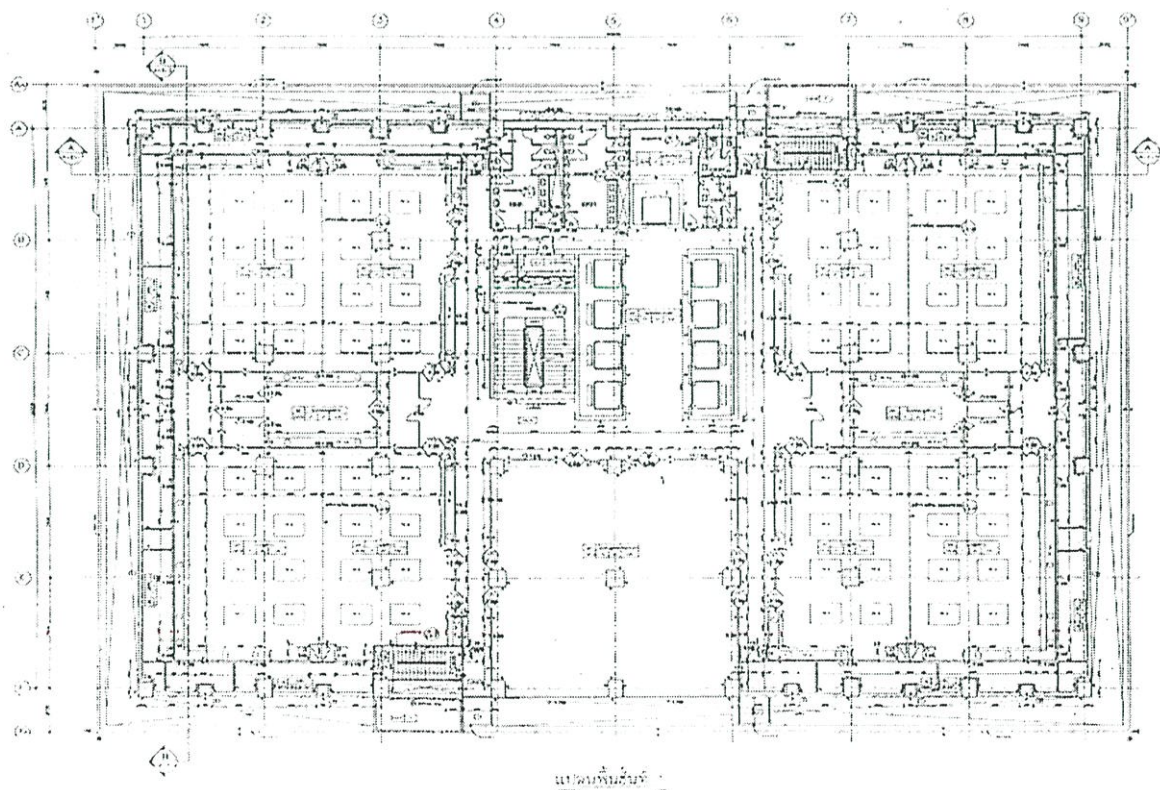
2. ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ : ห้องปฏิบัติการนี้จะอยู่ในทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของตัวอาคารตั้งแต่ชั้นที่ 4 ถึงชั้นที่ 19 รูปแบบของห้องจะมีลักษณะที่คล้ายกันคือมีโต๊ะปฏิบัติการเป็นเฟอร์นิเจอร์หลัก แต่กิจกรรมจะเปลี่ยนไปตามรูปแบบของการเรียนการสอนของแต่ละภาควิชา

ตารางที่ 3.1 แสดงประเภทห้องปฏิบัติการในแต่ละชั้น พร้อมทั้งแสดงชั้นที่มีการปรับอากาศ

ชั้นที่	ประเภทห้องปฏิบัติการ	ปรับอากาศ	ชั้นที่	ประเภทห้องปฏิบัติการ	ปรับอากาศ
4	ชีววิทยา		12	เคมี	2 ด้าน
5	ฟิสิกส์		13	เคมี	
6	ฟิสิกส์	1 ด้าน	14	เคมี	
7	เคมี		15	เคมี	
8	เคมี		16	วิจัยขั้นสูง	2 ด้าน
9	เคมี		17	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีชีวภาพ	2 ด้าน
10	เคมี	1 ด้าน	18	เคมีเทคนิค	2 ด้าน
11	เคมี	2 ด้าน	19	ฟิสิกส์	2 ด้าน

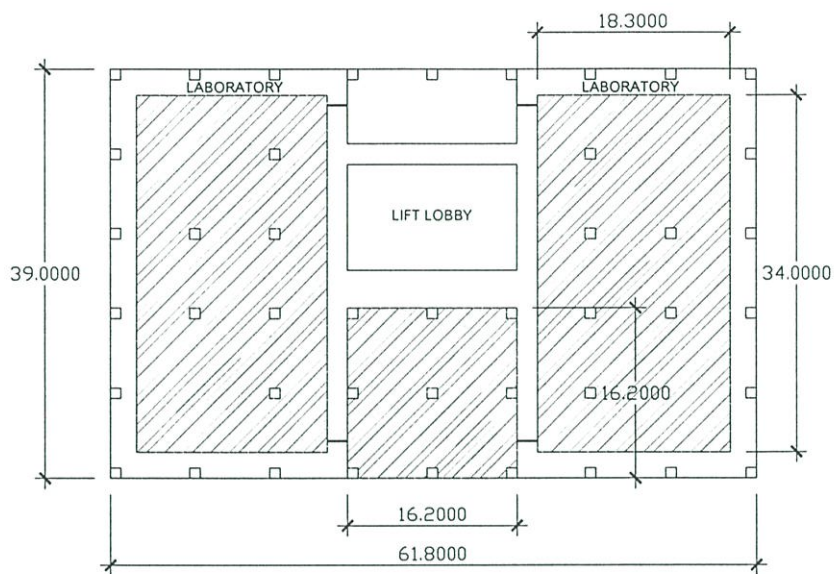


รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองอาคารและพื้นที่ปรับอากาศ



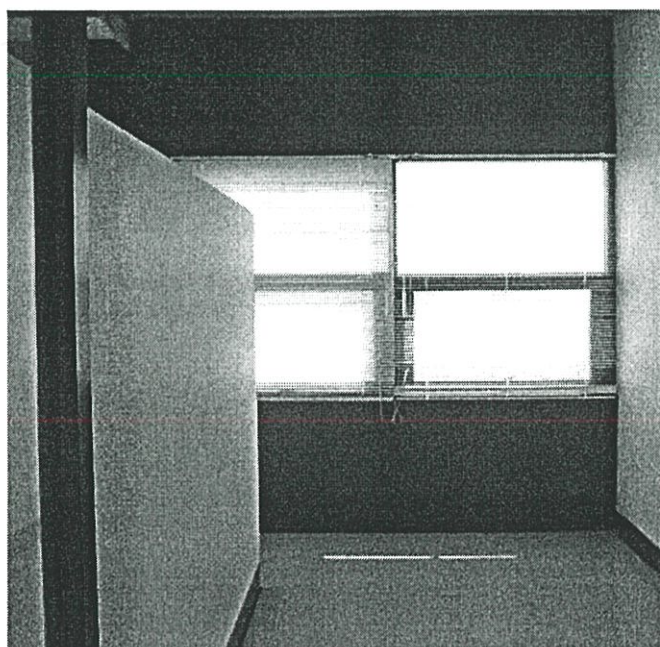
รูปที่ 3.5 แสดงผังชั้น 2-3 ที่เป็นผังในชั้นที่เป็นทาวเวอร์

### 3. สำนักงานและห้องพักอาจารย์



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งห้องปฏิบัติการและห้องสำนักงาน

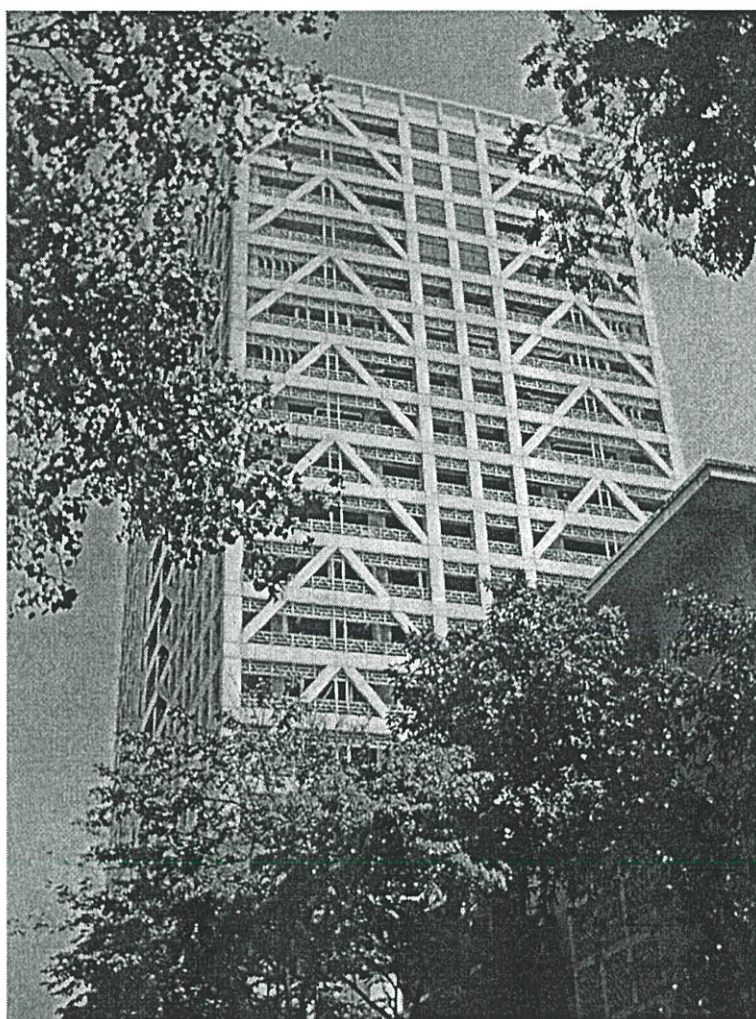
ส่วนนี้เป็นส่วนที่ต้องอยู่ทางด้านใต้ของอาคาร เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประสานงานการเรียน , ที่ทำงานของเจ้าหน้าที่และห้องพักอาจารย์ รูปห้องเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัส 16.20 X 16.20 เมตร ผนังทาสีทึบ, ตะวันออกและตะวันตกเป็นผนังโครงสร้างเบากรุด้วยอิปซัมบอร์ดหนา 12 มิลลิเมตร พื้นทำงานเป็นการกันผนังเบาหรือผนังชั่วคราว ความสูงระดับ 2 เมตร



รูปที่ 3.7 บรรยากาศห้องพักอาจารย์

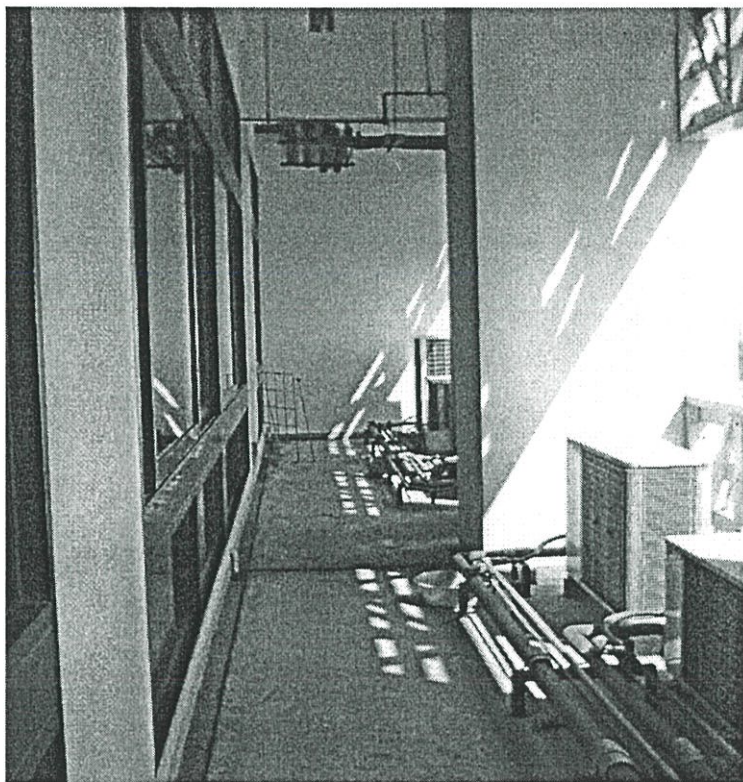
### 3.1.3 รายละเอียดกรอบอาคาร

1. ผนังด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก : ผนังโดยส่วนใหญ่ของอาคารเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน ทาสี ผนังทางด้านทิศทั้งสองนี้ เป็นด้านส่วนที่แคบของอาคารซึ่งจะปกคลุมในส่วนของห้องปฏิบัติการทั้งหมด ตัวผนังห้องจะถูกเลื่อนจากด้านนอกเข้ามา 2.50 เมตร โดยรอบส่วนห้องปฏิบัติการ บริเวณนี้จึงมีระเบียงโดยรอบ (ดูรูป 3.8)



รูปที่ 3.8 แสดงภาพถ่ายด้านทิศตะวันตก

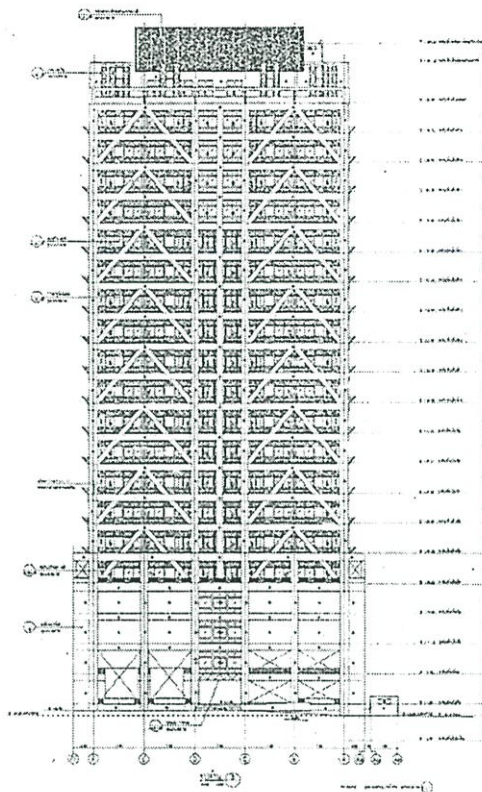
ที่บริเวณระเบียงนี้ จะใช้เป็นที่สำหรับที่วางคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ และท่อระบายสารเคมี (ดูรูป 3.9 และ 3.10) และด้านนอกสุดของกรอบอาคาร จะมีราวกันตกและแผงบังแดดขนาด 1.00 เมตรยาวตลอดแนวอาคาร



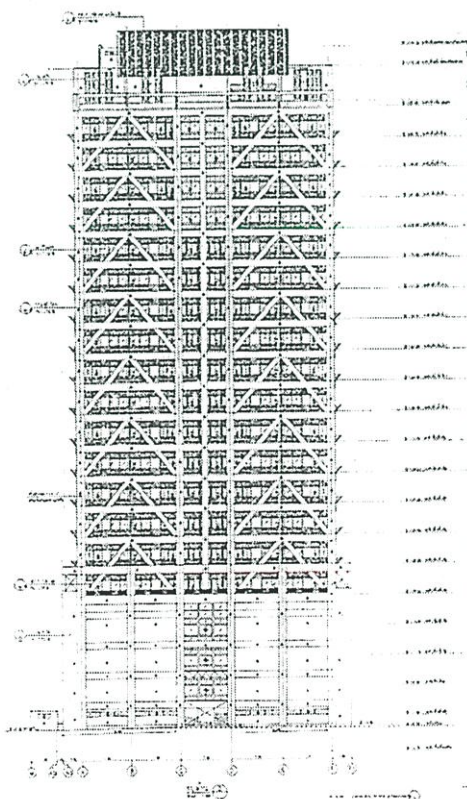
รูปที่ 3.9 แผงบังแดด ,ราวกันตกและการใช้ประโยชน์บริเวณระเบียง



รูปที่ 3.10 ท่อระบายสารเคมีที่บริเวณระเบียง

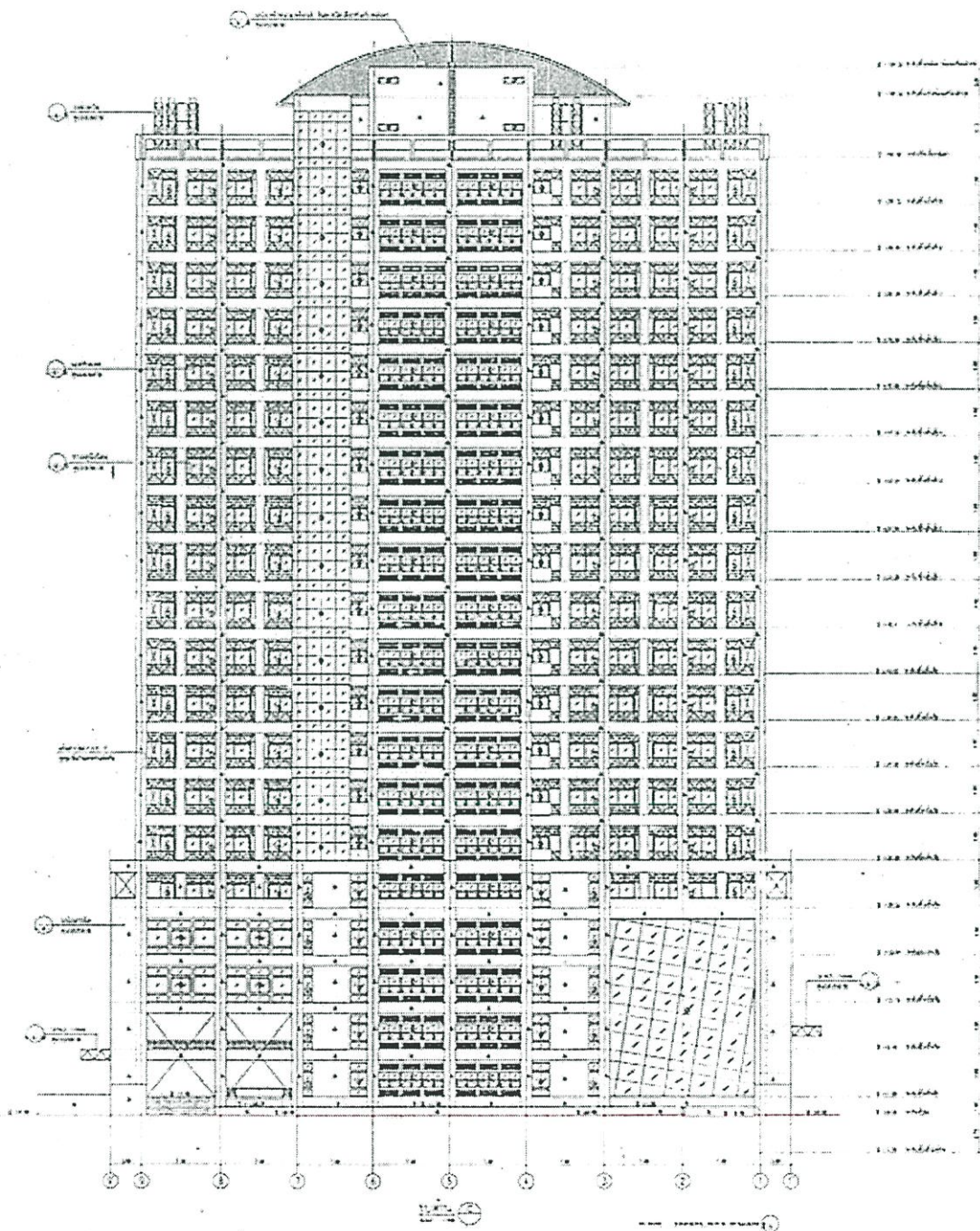


รูปที่ 3.11 รูปด้านทิศตะวันออก



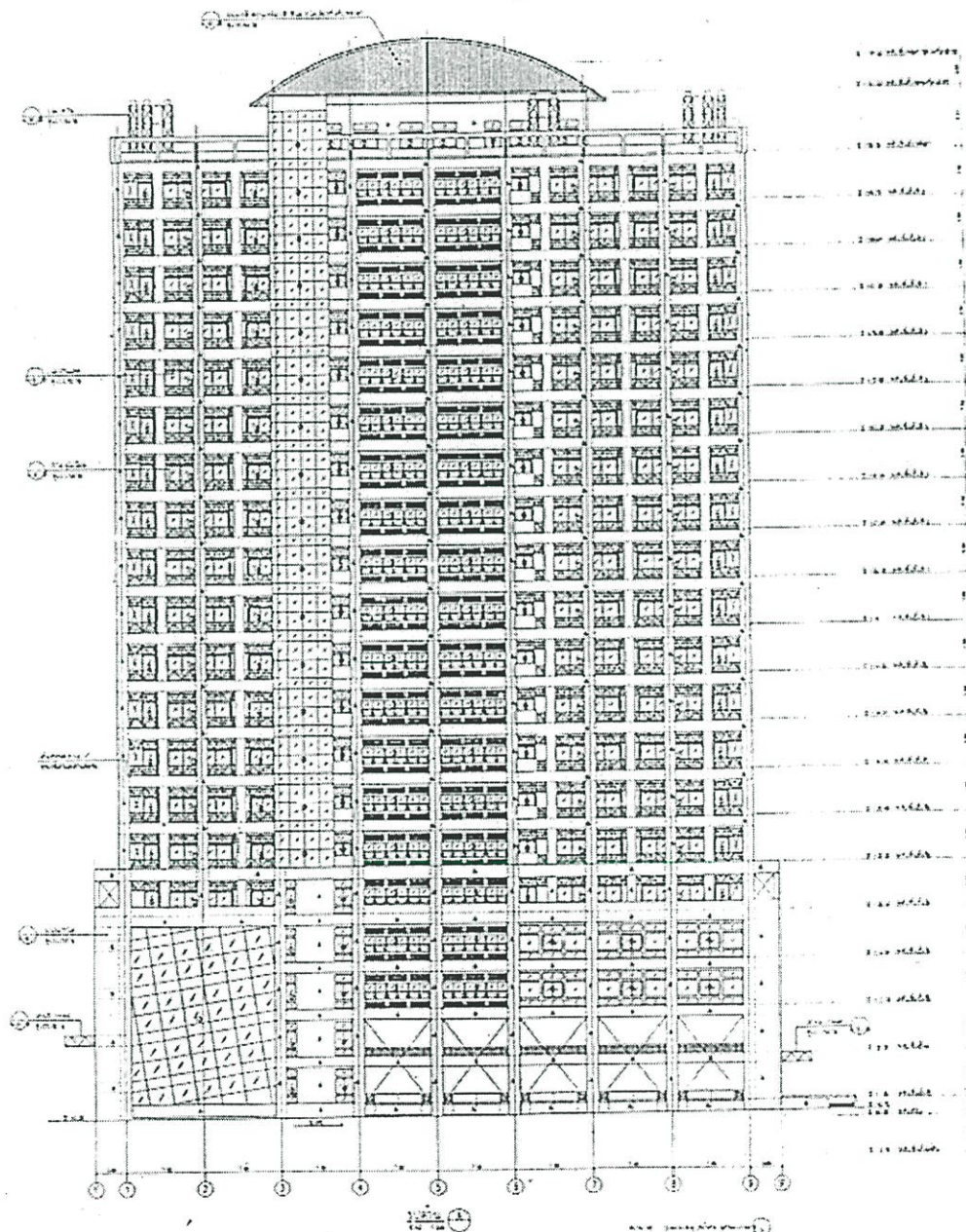
รูปที่ 3.12 แสดงรูปแบบผนังอาคารด้านทิศตะวันตก

2. ผนังทางด้านทิศเหนือ : ผนังด้านนี้เป็นส่วนกว้างตามแนวอาคาร พื้นที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ด้านข้างทั้งสองข้างเป็นส่วนปฏิบัติการมีผนังลักษณะเดียวกับส่วนทางทิศตะวันออกและตะวันตกคือมีการลดผนังออกจากกรอบอาคาร 2.50 เมตร ส่วนพื้นที่ตรงกลางเป็นห้องน้ำ ผนังเป็นผนังอลูมิเนียมและกระจกตลอดแนวตั้งแต่ชั้น 1-19 (ดูรูป 3.13)

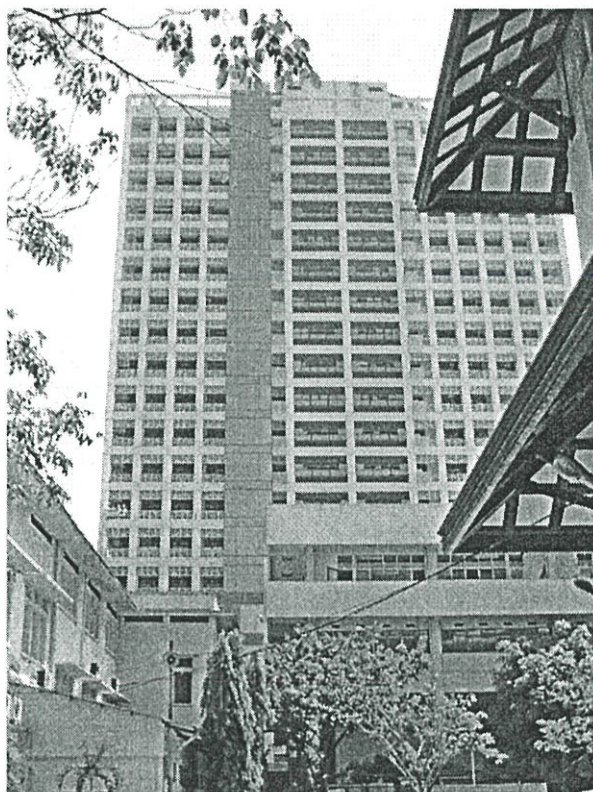


รูปที่ 3.13 รูปด้านทิศเหนือ

3. ผนังทางด้านทิศใต้ : ผนังด้านนี้มีส่วนคล้ายกับทางด้านทิศเหนือ ที่เป็นส่วนกว้างตามแนวอาคาร พื้นที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคล้ายกัน แต่ส่วนพื้นที่ตรงกลางที่เป็นห้องน้ำ ด้านนี้จะ เป็นห้องสำนักงานและห้องพักอาจารย์ ผนังเป็นผนังอลูมิเนียมและกระจกตลอดแนวตั้งแต่ชั้น 1-19 (ดูรูป 3.14)



รูปที่ 3.14 แสดงรูปแบบผนังอาคารด้านทิศใต้



รูปที่ 3.15 แสดงรูปแบบผนังทางด้านทิศเหนือ



รูปที่ 3.16 แสดงรูปแบบผนังทางด้านทิศใต้

## 3.2 ข้อมูลทางระบบอาคารที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

### 3.2.1 ช่วงเวลาการใช้งานภายในอาคาร

อาคารมหามกุฏเป็นอาคารที่เปิดให้ใช้งานตามเวลาราชการ คือตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น. คือส่วนที่เป็นห้องเรียนรมนั้น จะถูกกำหนดโดยหน่วยจัดตารางสอนของคณะ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ ห้องขนาด A จะใช้เฉพาะช่วงครึ่งวันเช้า คือตั้งแต่ 8.00 - 12.00น. ส่วนห้องอื่นๆ จะปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมของวิชาเป็นรายเทอมไป

ในส่วนตั้งแต่ชั้น 4-19 นั้นที่เป็นห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ จะเป็นการใช้ห้องสำหรับการเรียนและวิจัย จากการสำรวจ ห้องปฏิบัติการจะเริ่มใช้งานตั้งแต่ 8.00 น. กระทั่งเวลา 16.00 น. อาจมีการทำงานนอกเวลาบ้างตามลักษณะการวิจัยในแต่ละบุคคล และในส่วนของห้องพักอาจารย์จะเริ่มใช้งานและเลิกใช้ตามเวลาราชการ คือเช้า 8.00 –12.00 น. รวมเวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง ในวันเสาร์-อาทิตย์ จะไม่มีการใช้อาคาร หากใช้งานจะมีการขออนุญาตเป็นกรณีพิเศษ

### 3.2.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

1. ส่วนที่ควบคุมระบบแสงสว่างได้จากส่วนกลาง ได้แก่ส่วนที่เป็นทางสัญจรทั้งหมด รวมถึงส่วนที่เป็นโถงต่างๆ ในอาคาร ส่วนนี้จะใช้โคมหลอดเป็นชนิดสะท้อนแสง (Aluminium Louvre with Mirror Reflector ) โดยมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W. 3 หลอด/โคม
2. ส่วนที่ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างได้จากพื้นที่นั้นๆ ได้แก่ส่วนที่เป็นห้องเรียน , ห้องปฏิบัติการ , ห้องพักอาจารย์และห้องน้ำ



รูปที่ 3.17 บรรยากาศหน้าทางเดินห้องปฏิบัติการ

### 3.2.3 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศของอาคารนั้นเป็นระบบแยกส่วน (Split Type) แบบระบายความร้อนด้วยอากาศทั้งหมด โดยส่วนที่ทำการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.3.1 ขนาดเครื่องปรับอากาศ

1) เครื่องปรับอากาศ ขนาด 12,000 BTUH.

ระบบไฟฟ้า 220-240 VOLTS ,3 PHASE ,50 Hz.

	จำนวน	RLA	LRA	HP	VOLTS	PH	Hz.	W(input)
COMPRESSOR	1	6.16	28	-	220-240	1	50	1160
FAN	1	0.45	0.95	1/15	220	1	50	90

ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด 2.65 W/W

ขีดความสามารถในการทำความเย็นสูงสุด 3.51 KW.

2) เครื่องปรับอากาศ ขนาด 36,000 BTUH.

ระบบไฟฟ้า 380 VOLTS ,3 PHASE ,50 Hz.

	จำนวน	RLA	LRA	HP	VOLTS	PH	Hz.	W(input)
COMPRESSOR	1	8.2	42	-	380	3	50	3810
FAN	1	0.97	1.88	1/6	220	1	50	195

ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด 2.49 W/W

ขีดความสามารถในการทำความเย็นสูงสุด 10.55 KW.

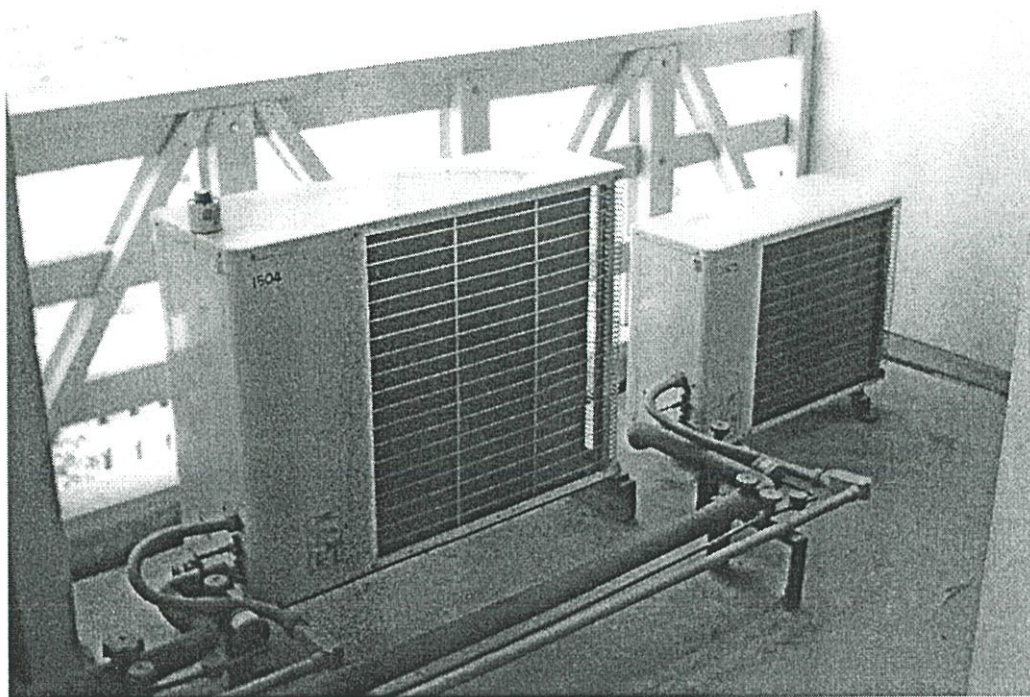
3) เครื่องปรับอากาศ ขนาด 48,000 BTUH.

ระบบไฟฟ้า 380-415 VOLTS ,3 PHASE ,50 Hz.

	จำนวน	RLA	LRA	HP	VOLTS	PH	Hz.	W(input)
COMPRESSOR	1	8.9	65.5	-	380-415	3	50	4430
FAN	1	0.45	0.95	1/15	220	1	50	180

ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด 2.54 W/W

ขีดความสามารถในการทำความเย็นสูงสุด 13.59 KW.



รูปที่ 3.18 รูปแบบคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในอาคาร

### 3.2.3.2 จำนวนและช่วงเวลาการใช้งาน

ในการใช้งานเครื่องปรับอากาศนั้น ส่วนของห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์นั้นมีหลายประเภทดังที่ได้กล่าวมาแล้ว (ดูข้อ 3.2) ทำให้การใช้งานไม่มีความสม่ำเสมอในการใช้งาน ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยในเนื้อหาการเรียนการสอน

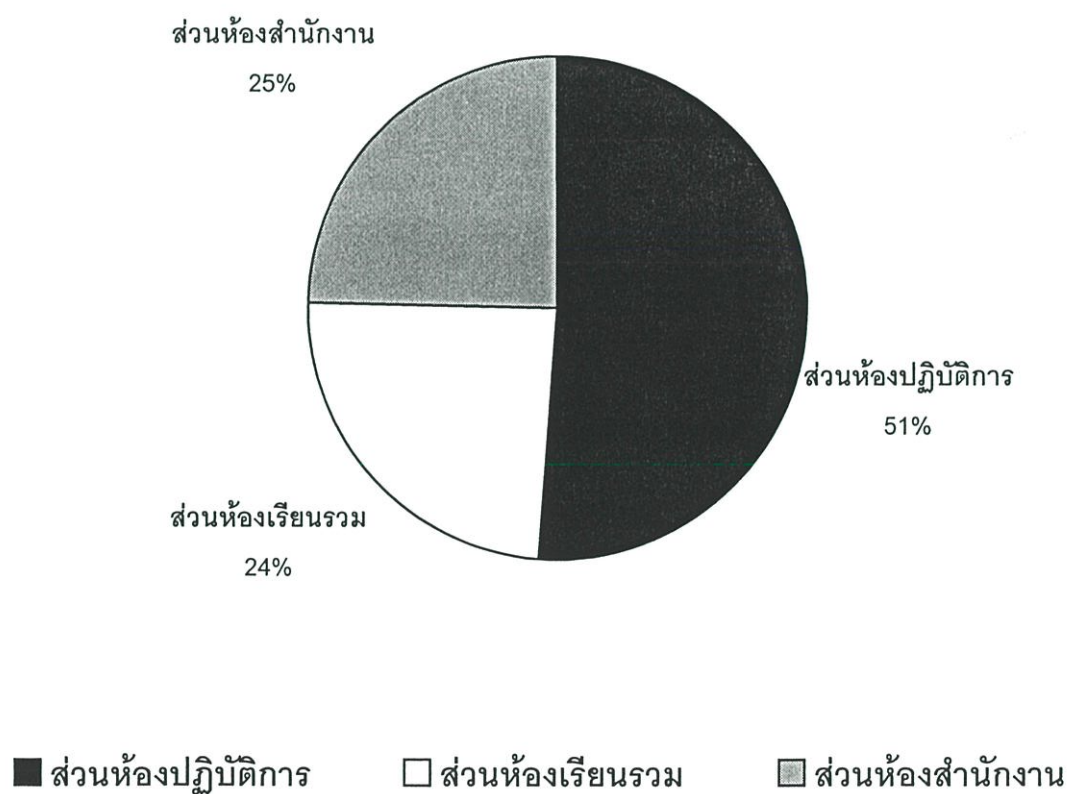
ตารางที่ 3.2 แสดงช่วงเวลาและจำนวนเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

(ส่วนห้องปฏิบัติการและห้องพักอาจารย์)

พื้นที่ใช้สอย	ช่วงเวลาการใช้งาน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	12,000 BTUH.	36,000 BTUH.	48,000 BTUH.	รวม BTUH.	หมายเหตุ
ห้องปฏิบัติการด้านทิศตะวันออก	8.00-16.00 น.	X	8	14	-	600,000	ไม่สม่ำเสมอในการใช้งาน
ห้องปฏิบัติการด้านทิศตะวันตก	8.00-16.00 น.	X	8	14	-	600,000	ไม่สม่ำเสมอในการใช้งาน
ห้องพักอาจารย์และธุรการ	8.00-16.00 น.	8	-	4	2	240,000	

ตารางที่ 3.3 แสดงสัดส่วนเครื่องปรับอากาศและพื้นที่ปรับอากาศ  
การวิเคราะห์สัดส่วนของพื้นที่ เป็นดังนี้

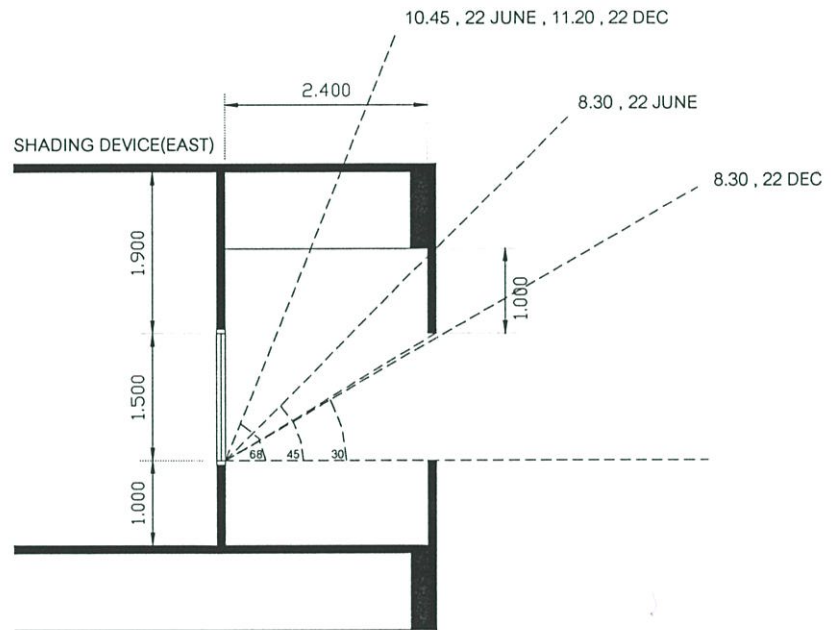
ZONE	พื้นที่	พื้นที่ปรับ อากาศ	ร้อยละ/พื้นที่ ปรับอากาศ ทั้งหมด
1.ส่วนห้องเรียนรวม	4,097	4,097	24.1
2.ส่วนที่เป็นห้องพักอาจารย์และสำนักงาน	4,200	4,200	24.75
3.ส่วนห้องปฏิบัติการ	19,910.4	8,710	51.15
รวม	28,207	17,007	-



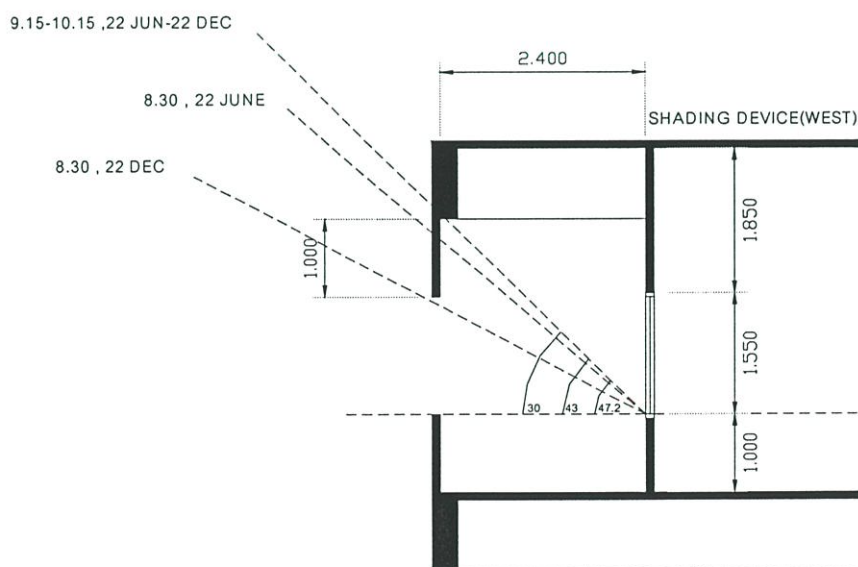
รูปที่ 3.19 สัดส่วนการปรับอากาศในอาคารมหามกุฏ

### 3.2.4 รูปแบบของหน้าต่างและการกันแดด

ระบบการกันแดดของอาคารนั้นจะมีให้เห็นอยู่ที่บริเวณ พื้นที่ใช้สอยที่เป็นห้องปฏิบัติการ เท่านั้น โดยส่วนที่ถือว่าเป็นแผงบังแดดคือส่วนที่มีการเลื่อนกรอบผนังห้องเข้ามาจากภายนอก 2.5 เมตรโดยรอบ



รูปที่ 3.20 แสดงรูปแบบการบังแดดในทิศตะวันตก

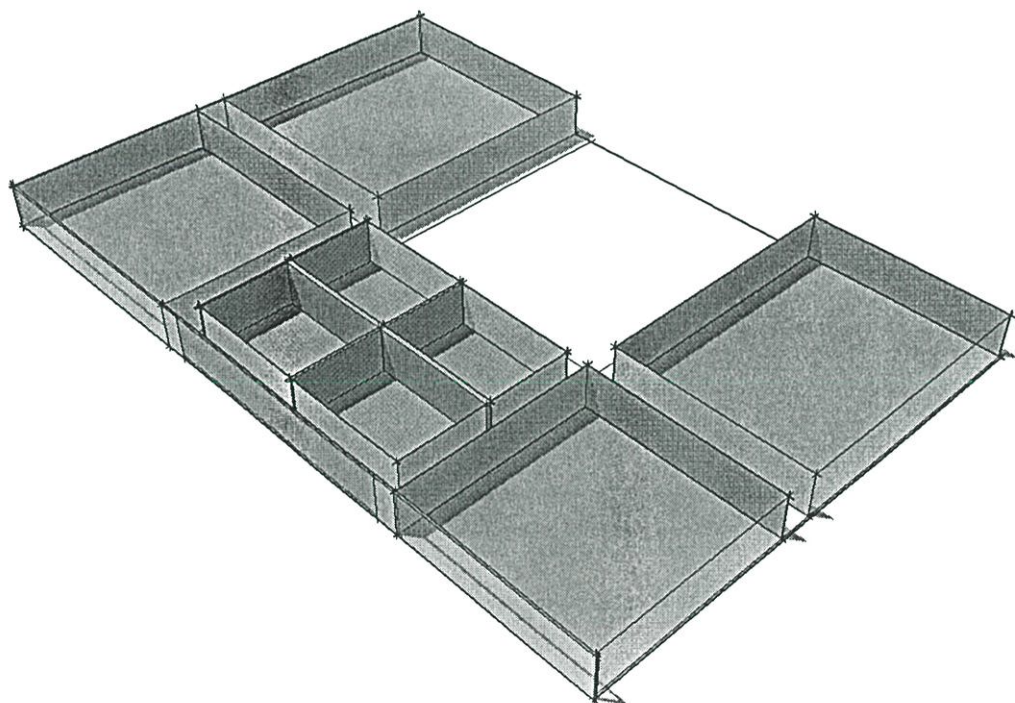


รูปที่ 3.21 แสดงรูปแบบการบังแดดในทิศตะวันออก

### 3.3 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้นในอาคาร

จากข้อมูลข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว ว่าอาคารได้แบ่งรูปแบบพื้นที่ใช้สอยออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนที่เป็นห้องเรียนรวม , ห้องปฏิบัติการและห้องสำนักงาน ในส่วนการศึกษาเรื่องพลังงานการปรับอากาศนั้นถึงแม้ว่าพื้นที่ครึ่งหนึ่งของระบบปรับอากาศทั้งหมด ถูกครอบครองโดยห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ร้อยละ 51 อีกร้อยละ 25 เป็นของห้องสำนักงานและร้อยละ 24 เป็นของห้องเรียนรวมแต่ในการสำรวจพบว่า ในส่วนของปฏิบัติการนั้นมีการใช้งานไม่สม่ำเสมอ เพราะจะใช้งานตามตารางสอน อีกทั้งผนังโดยรอบของห้องมีโอกาสที่จะถูกแสงแดดโดยตรงน้อยมาก เพราะมีการทำผนังให้หลบเข้าไปจากกรอบอาคาร 2.50 เมตร (จากรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20) ปัญหาเรื่องการสูญเสียพลังงานจึงไม่เกิดขึ้นมากนัก

ในส่วนของห้องเรียนรวมชั้น M , 2 , 3 นั้น จากรูปที่ 3.9 จะเห็นลักษณะของห้องบรรยายขนาดใหญ่อยู่ที่มุมทั้ง 4 ด้าน ที่ติดกับผนังด้านนอกโดยตรงแต่การใช้ห้องนั้นก็มีความคล้ายกับส่วนห้องปฏิบัติการที่มีการใช้งานไม่เป็นเวลาขึ้นอยู่กับตารางการเรียนการสอนเท่านั้น



รูปที่ 3.22 แสดงพื้นที่ชั้นห้องเรียนรวม

ในส่วนของห้องสำนักงานซึ่งมีพื้นที่การปรับอากาศเป็นอันดับสอง ส่วนนี้เป็นส่วนของผู้ที่ใช้สอยในอาคารส่วนใหญ่อยู่ประจำ คือตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น. จึงมีการปรับอากาศตลอด ทำให้เหมาะสมแก่การเก็บข้อมูลและปรับปรุง โดยปัญหาหลักที่เกิดขึ้นคือบริเวณผนังทางด้านทิศใต้ของพื้นที่นี้ ขนาดกว้าง 16.20 X 3.50 เมตร เป็นผนังที่ประกอบด้วยอลูมิเนียมสีดำและกระจกสีชาทั้งแผง อีกทั้งไม่มีแผงบังแดดปกคลุม ผลก็คือผู้ที่อาศัยในพื้นที่ไม่สามารถที่จะใช้พื้นที่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และในเรื่องการใช้เครื่องปรับอากาศที่ต้องรับภาระมากกว่าเก่า เนื่องจากความร้อนจากผนัง จึงทำให้พื้นที่ส่วนนี้ ควรมีการศึกษาและปรับปรุง

พื้นที่ ที่ควรต้องมีการปรับปรุง คือ " พื้นที่ส่วนที่เป็นสำนักงานและห้องพักอาจารย์ "

## บทที่ 4

# การจำลองสภาพการใช้พลังงานของอาคารในโปรแกรม คอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการจำลองสภาพการใช้พลังงานคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย จะต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและเก็บข้อมูลที่ได้จากอาคารจริง ซึ่งหลังจากการสำรวจสภาพทางกายภาพจากบทที่ 3 จะได้พื้นที่ที่น่าจะเป็นปัญหาด้านพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ

### 4.1 โปรแกรม DOE 2.1

เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดย Lawrence Berkeley Laboratory University of California เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลอง และตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างละเอียด เพื่อหาข้อบกพร่องและแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของอาคารได้อย่างตรงเป้าหมาย เพราะตัวโปรแกรมจะสามารถแสดง ปริมาณการใช้พลังงานได้เป็นรายชั่วโมง

### 4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองสภาพอาคารในโปรแกรม DOE 2.1

การป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม DOE นั้น จะเป็นการป้อนข้อมูล ไปในส่วนของโปรแกรมที่เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแปลรูปแบบของข้อมูลที่ใส่เข้าไป เรียกว่า BLD (BUILDING DESCRIPTION LANGUAGE) เพื่อที่โปรแกรมจะสามารถอ่านข้อมูลได้ โดยการผ่านส่วนที่เรียกว่า บีแอลดี โพรเซสเซอร์ (BLD PROCESSOR) โดยที่ข้อมูลแต่ละชุดที่ป้อนเข้าไปจะประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

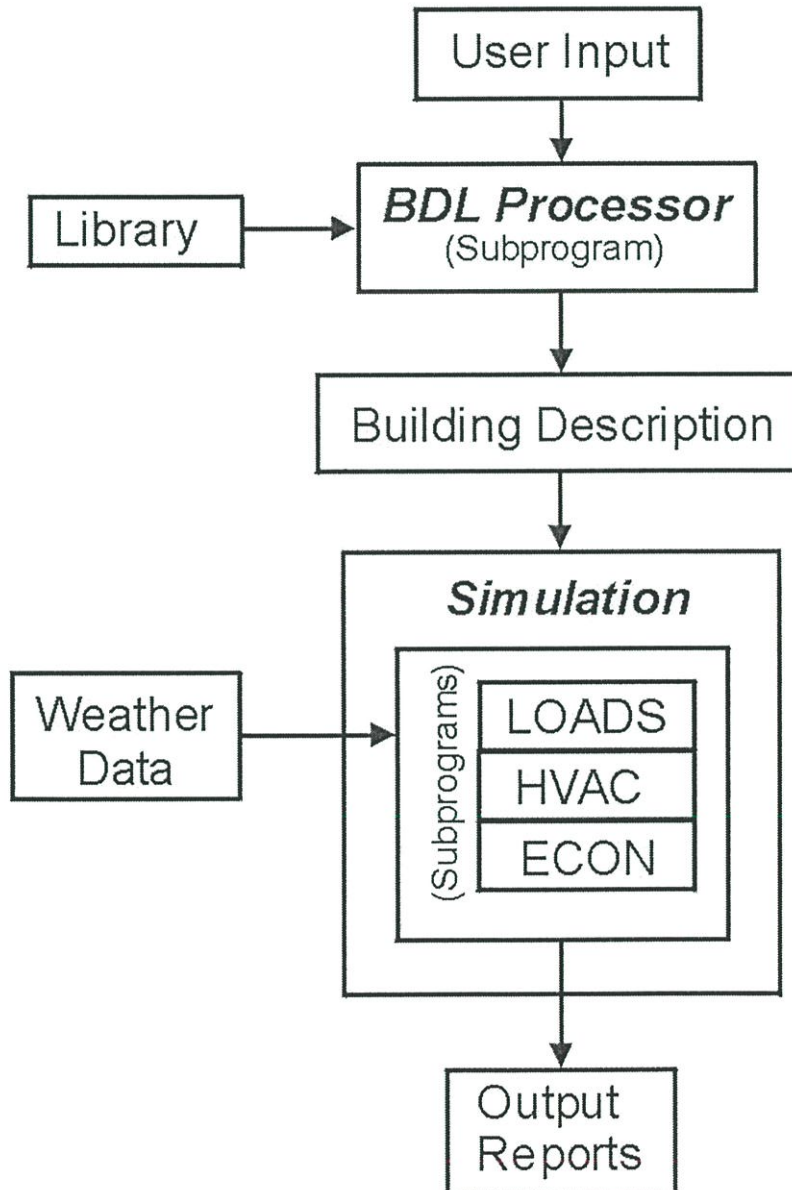
1. ส่วนเริ่มข้อมูล (COMMAND or INSTRUCTION)
2. ส่วนข้อมูล (DATA)
3. ส่วนการหยุดข้อมูล (STOP)

#### BLD PROCESSOR

กระบวนการนี้จะเป็นการอ่านข้อมูลที่เรใส่เข้าไปและทำหน้าที่แปลข้อมูลนั้นๆเป็นรูปแบบภาษาที่โปรแกรมใดสามารถเข้าใจได้ ทั้งยังสามารถคำนวณปัจจัยต่างๆ ที่มีการตอบสนองเมื่อมีการไหลเวียนของความร้อนในผนังขณะหนึ่งและชี้ให้เห็นปัจจัยที่เป็นผลทำให้พื้นที่อาคารร้อนขึ้น

## LOADS

เป็นการจำลองการคำนวณพลังงานความร้อนและภาระการทำความเย็นเป็นรายชั่วโมง โดยการคำนวณนี้ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น สภาพอากาศและแสงอาทิตย์ , ตารางเวลา ผู้ใช้อาคาร , ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง , เครื่องมือเครื่องใช้ , การรั่วซึมของอากาศ , ความร้อนที่ส่งมาจากทางผนัง หลังคาและหน้าต่าง รวมไปถึงระบบการบังแดด



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม DOE

#### 4.3 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็น คือ

- ตำแหน่งของอาคาร
- ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล
- เขตเวลา
- ทิศทางการวางแนวอาคาร
- อุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกรายชั่วโมง
- ความเร็วและทิศทางการลมรายชั่วโมง
- ปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมง
- ตารางการใช้งานของผู้ใช้อาคาร
- ตารางการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร
- อัตราการรั่วซึมของอากาศรายชั่วโมง
- พื้นที่ผิวของอาคารภายนอก , ภายในและพื้นผิวใต้ดิน
- วัสดุที่ใช้ประกอบผนังด้านนอก , ภายในและพื้นใต้ดิน(ผิวอาคาร)
- ตำแหน่งของพื้นที่ผิวภายนอก , ภายในและพื้นผิวใต้ดิน

#### 4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณหาภาระการทำความเย็น

##### 1) ปัจจัยภายนอก

- ความร้อนที่มาจากผนังโดยการนำความร้อน
- ความร้อนที่ผ่านมาจากกระจก
- ความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี
- การรั่วซึมของอากาศ ผ่านทางหน้าต่าง , ประตูและผนัง

##### 2) ปัจจัยภายใน

- จำนวนผู้ใช้อาคาร
- ระบบแสงสว่าง
- เครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ที่ทำการศึกษ

การคำนวณของโปรแกรมนี้ จะต้องสมมติว่าอุณหภูมิภายในพื้นที่ทำการศึกษเป็นอุณหภูมิคงที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับอากาศจะไม่นำมาคิดคำนวณ

## 4.5 ผลการคำนวณพลังงานที่ได้จากการจำลองสภาพอาคาร

### 4.5.1 ค่าพลังงานความร้อนที่เข้ามาสู่อาคาร

การแสดงผลของโปรแกรมโดในหมวดแรกจะแสดงและจำแนกพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร โดยโปรแกรมจะแจ้งเป็น 2 ส่วนคือโหลดความร้อนส่วนที่เป็นพื้นที่ชั้นเดียวและโหลดของพื้นที่รวม พร้อมทั้งรวมค่าโหลดทั้งหมด โดยจะแสดงเป็นทั้งหน่วย BTU/H.SQFT และ กิโลวัตต์

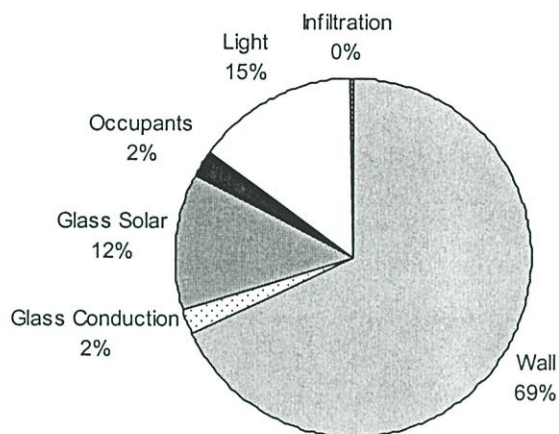
จากการใช้โปรแกรมโดในการคำนวณสภาพการใช้พลังงาน ส่วนที่เป็นพื้นที่ที่ทำการศึกษา

พื้นที่ที่ทำการศึกษา/ชั้น 262 ตารางเมตร  
ปริมาตร 1,181 ลูกบาศก์เมตรเมตร  
วันที่โหลดเกิดขึ้นสูงที่สุด วันที่ 13 กุมภาพันธ์ เวลา 15.00 น.

ตารางที่ 4.1 โหลดพลังงานความร้อนสูงสุด/พื้นที่ทำการการศึกษา 1 ชั้น แยกตามส่วนประกอบ  
(SPACE PEAK LOAD COMPONENT)

ส่วนประกอบอาคาร	พลังงานความร้อน (KBTU/H)	พลังงานความร้อน (KW)	ลำดับ
ความร้อนจากผนัง	65.737	19.253	1
ความร้อนจากหลังคา	0.000	0.000	
ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านกระจก	1.993	0.584	5
ความร้อนจากการแผ่รังสีผ่านกระจก	11.954	3.501	3
ความร้อนจากประตู	0.000	0.000	
ความร้อนจากพื้นผิวด้านใน	0.000	0.000	
ความร้อนจากพื้นผิวด้านล่าง	0.000	0.000	
ความร้อนจากร่างกายของผู้ใช้อาคาร	2.230	0.653	4
ความร้อนจากระบบแสงสว่าง	14.332	4.197	2
ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า	0.000	0.000	
ความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศ	0.243	0.071	6
TOTAL LOAD	96.489	28.259	

TOTAL LOAD/AREA = 34.98 BTU/H.SQFT  
= 110.267 W/M<sup>2</sup>



รูปที่ 4.2 แผนภูมิรูปวงกลมแสดงสัดส่วนของปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

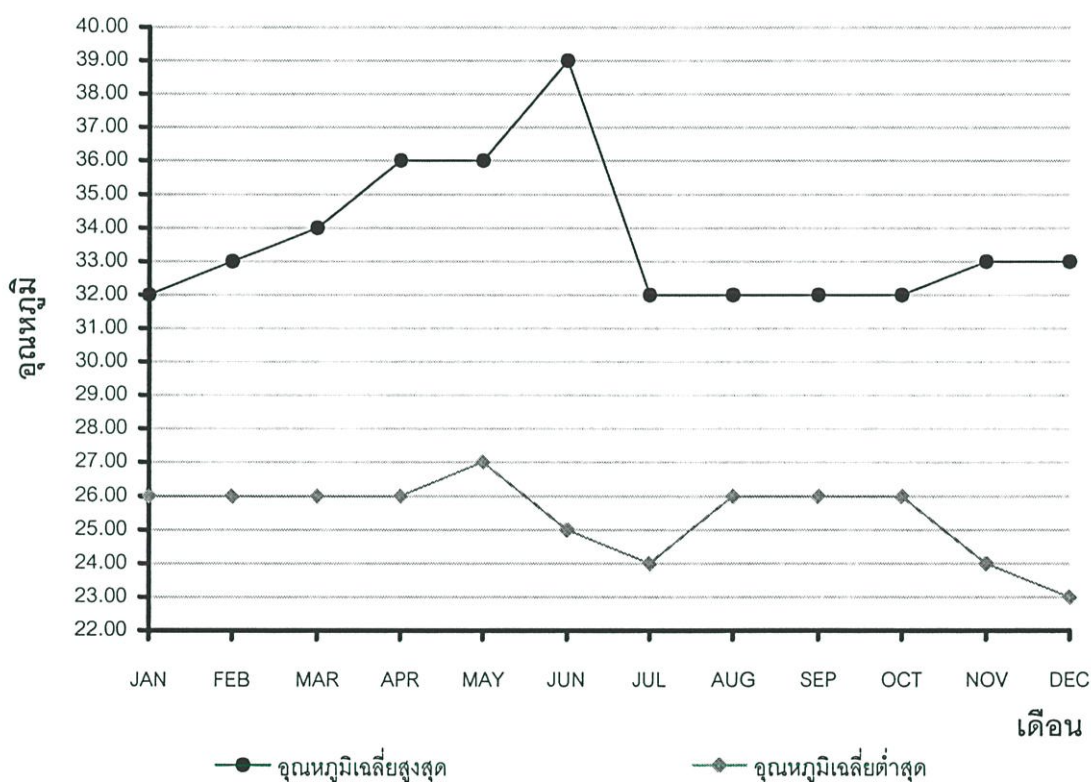
ตารางที่ 4.2 โหลดพลังงานความร้อนรวม 16 ชั้น ในพื้นที่ที่ทำการศึกษแยกตามส่วนประกอบ  
(BUILDING PEAK LOAD COMPONENT)

ส่วนประกอบอาคาร	พลังงานความร้อน (KBTU/H)	พลังงานความร้อน (KW)	ลำดับ
ความร้อนจากผนัง	1051.793	308.044	1
ความร้อนจากหลังคา	0.000	0.000	
ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านกระจก	31.894	9.341	5
ความร้อนจากการแผ่รังสีผ่านกระจก	191.261	56.016	3
ความร้อนจากประตู	0.000	0.000	
ความร้อนจากพื้นผิวด้านใน	0.000	0.000	
ความร้อนจากพื้นผิวด้านล่าง	0.000	0.000	
ความร้อนจากร่างกายของผู้ใช้อาคาร	35.680	10.450	4
ความร้อนจากระบบแสงสว่าง	229.312	67.160	2
ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า	0.000	0.000	
ความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศ	3.884	1.138	6
TOTAL LOAD	1543.825	452.148	

$$\text{TOTAL LOAD/AREA} = 34.98 \text{ BTU/H.SQFT} = 110.267 \text{ W/M}^2$$

จากแผนภูมินี้จะเห็นว่า พลังงานความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ที่ทำการศึกษานั้น เกิดจาก ความร้อนที่ผนังทึบเป็นส่วนใหญ่ 69%, ความร้อนที่เกิดจากไฟฟ้าแสงสว่าง 15% , และทาง กระจก ทั้งความร้อนที่ผ่านเข้ามาและโดยการนำความร้อนของกระจก เท่ากับ 14% ฉะนั้นการลด ความร้อนที่ผนังจึงเป็นการป้องกันความร้อนที่ได้ผลดีที่สุด

#### 4.5.2 อุณหภูมิ



รูปที่ 4.3 แสดงระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดรายเดือน

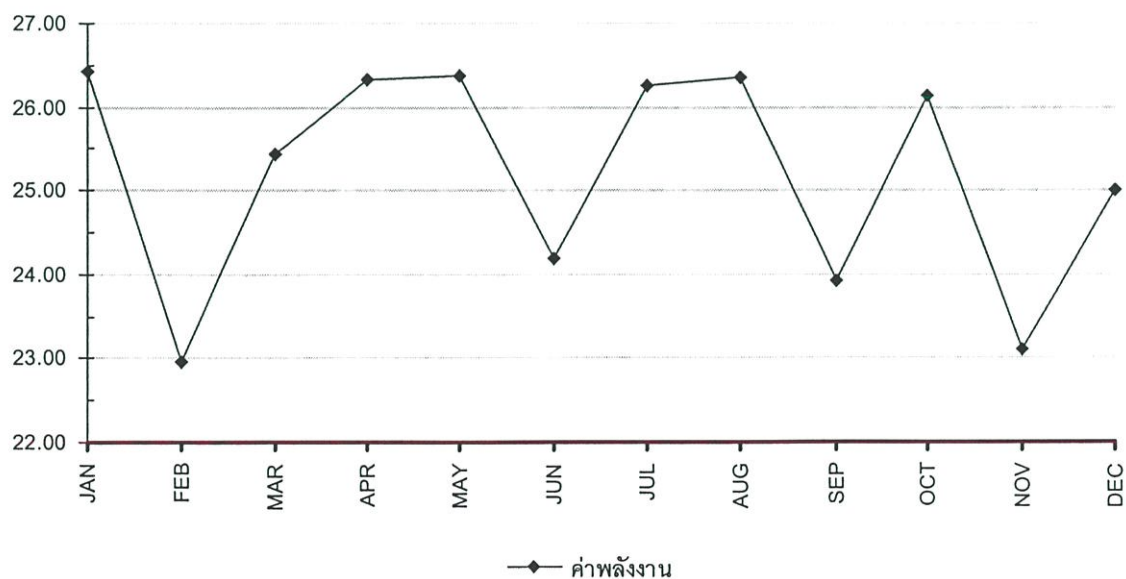
#### 4.5.3 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน

นอกจากนี้โปรแกรมโปรแกรมโต จะแสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานที่พื้นที่ศึกษาใช้ในแต่ละ เดือน พร้อมกับแสดงค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (PEAK LOAD) ด้วย ค่าที่ได้นี้จะเป็ค่าที่ใช้ เป็นตัวเปรียบกับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงานในแต่ละเดือน

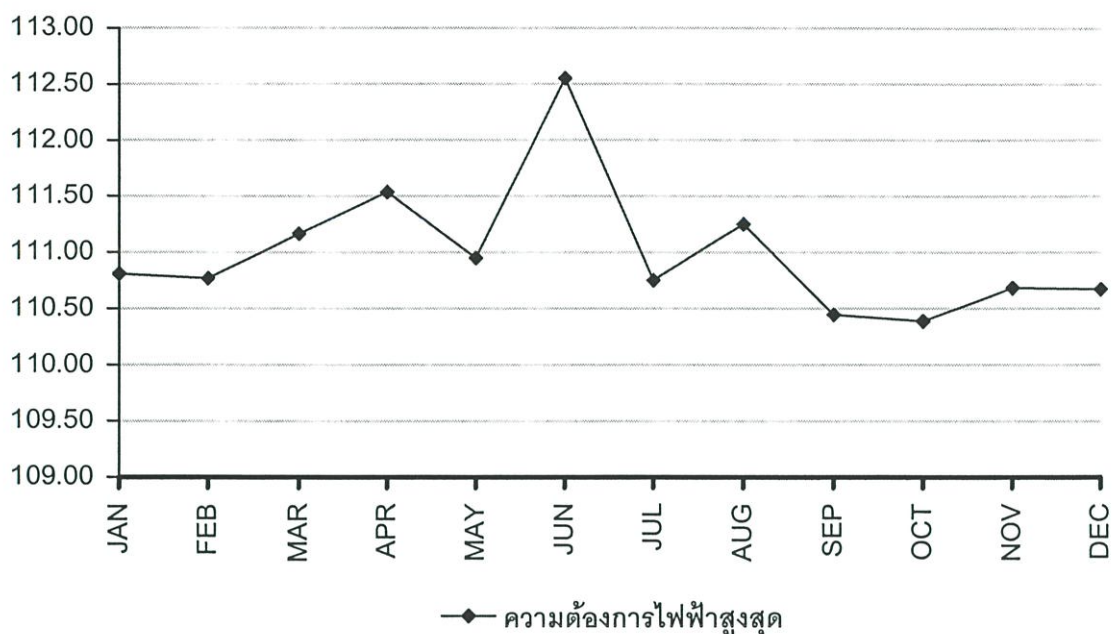
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแยกเป็นรายเดือน

#### MONTHLY PEAK AND TOTAL ENERGY USE

เดือน MONTH	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด PEAK (kWH)
มกราคม	26.427	110.808
กุมภาพันธ์	22.972	110.767
มีนาคม	25.429	111.168
เมษายน	26.317	111.535
พฤษภาคม	26.365	110.951
มิถุนายน	24.185	112.548
กรกฎาคม	26.253	110.752
สิงหาคม	26.350	111.253
กันยายน	23.919	110.443
ตุลาคม	26.130	110.385
พฤศจิกายน	23.098	110.680
ธันวาคม	24.999	110.672
รวม	302.441	384.286



รูปที่ 4.4 แสดงการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.5 แสดงการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของพื้นที่ศึกษา (PEAK)

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 เป็นการใช้กราฟในการแสดงให้เห็นถึงระดับการใช้พลังงานในแต่ละเดือนและปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเดือน

#### 4.6 ปัญหาการใช้พลังงานในอาคาร

เนื่องจากการจัดระบบการตรวจสอบค่าไฟฟ้าในอาคารมีมิเตอร์เพียงแค่ 3 ตัวเท่านั้น โดยแบ่งการวัดพลังงานออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆโดยใช้ตำแหน่งที่ตั้งเป็นหลัก ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบและแบ่งแยกชนิดของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ออกมาได้ ดังนั้นการตรวจสอบปัญหาพลังงานจึงต้องมาจากการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดเท่านั้น

#### ตารางที่ 4.4 แสดงค่าประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

##### ESTIMATE BUILDING ENERGY PERFORMANCE

รูปแบบการใช้พลังงาน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (MWH)
พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็น (SPACE COOL)	26.53
พลังงานที่ใช้ในการเดินเครื่องปรับอากาศ (HVAC AUX)	32.96
พลังงานที่ใช้ในระบบแสงสว่าง (LIGHT)	242.96
รวม	302.44

หมายเหตุ : ในตัวโปรแกรมได้นั้นสามารถที่จะคำนวณปัจจัยด้านพลังงานอื่นๆได้อีก แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะตัดมาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องเท่านั้น

ผลจากการการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร จะเห็นได้ว่าพลังงานจากการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศจะมีอยู่ 2 ส่วนคือส่วนที่ใช้ในการทำความเย็นกับส่วนที่ใช้ในการเดินเครื่องปรับอากาศ และจากตารางจะเห็นข้อสังเกตอีกประการหนึ่ง นั่นคือปริมาณไฟฟ้าที่เกิดจากระบบแสงสว่างนั้นมีปริมาณที่สูงมาก แต่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นส่วนที่การศึกษาครั้งนี้กำหนดให้เป็นตัวแปรที่เป็นที่ส่งผลด้านความร้อนที่กระทำต่อพื้นที่เท่านั้น การศึกษาจึงจะมุ่งเน้นไปที่การลดความร้อนจากตัวแปรในด้านอื่นๆที่มีผลต่อการปรับอากาศและค่าไฟฟ้าที่ลดลง

## บทที่ 5

# แนวทางการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

- ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด (Annual Cooling Load)
- ขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสม
- การปรับตั้งอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ

### 5.1 การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าปรับอากาศโดยไม่ต้องลงทุน

ภาระการทำความเย็นสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่วิจัยเปรียบเทียบกับขนาดเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งไว้

การลดการใช้พลังงานโดยไม่ต้องลงทุน

1. การปรับระดับอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศให้เหมาะสมกับสภาวะความสบาย
2. ลดปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศ
  - 2.1 ลดจำนวนการใช้เครื่องปรับอากาศให้พอเหมาะกับพื้นที่
  - 2.2 ลดช่วงเวลาการใช้งาน

ตารางที่ 5.1 แสดงภาระการปรับอากาศของห้องสำนักงาน  
ลดจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สร้างความร้อนในพื้นที่ปรับอากาศ

พื้นที่ปรับอากาศ	พื้นที่ (เมตร <sup>2</sup> )	ภาระการทำความเย็นสูงสุดที่คำนวณได้ (BTU/H)	ปริมาณการทำความเย็นรวมของเครื่องปรับอากาศทั้งหมด (BTU/H)	ปริมาณการทำความเย็นรวมของเครื่องปรับอากาศที่ควรใช้จริง (BTU/H)
ส่วนสำนักงาน	262	98,809	240,000	168,000
ส่วนสำนักงานทุกชั้น (16 ชั้น)	4,192	-	3,840,000	2,688,000

ในพื้นที่ห้องสำนักงานนี้มีเครื่องปรับอากาศ ดังนี้

เครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 BTU/H. จำนวน 4 เครื่อง = 144,000 BTU/H.

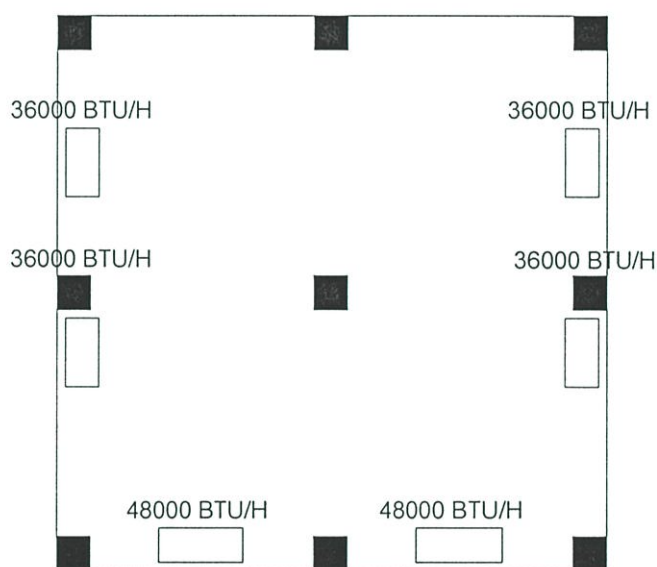
เครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 BTU/H. จำนวน 2 เครื่อง = 96,000 BTU/H.

หมายความว่า สามารถใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 BTU/H. จำนวน 3 เครื่อง จะเท่ากับ 108,000 BTU/H สามารถทำให้ห้องเย็นได้เพียงพอกับความต้องการ แต่เนื่องจากการจัดวางภายในห้อง การคิดการวางเครื่องปรับอากาศจึงมีส่วนสำคัญ จึงควรใช้เครื่องปรับอากาศให้ครอบคลุมพื้นที่ การใช้จึงควรเป็น

$$36,000 \times 2 = 72,000 \quad \text{BTU/H}$$

$$48,000 \times 2 = 96,000 \quad \text{BTU/H}$$

$$\text{รวม} = 168,000 \quad \text{BTU/H}$$



รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งเครื่องปรับอากาศภายในพื้นที่วิจัย

ค่าที่ได้ในการปรับปรุงการใช้ไฟฟ้าแบบไม่ต้องลงทุนนี้ จะนำไปป้อนเป็นข้อมูลใหม่ในการจำลองสภาพการใช้พลังงานใหม่ในโปรแกรมโด เพื่อหาความแตกต่างที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5.2 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารหลังมีการลดการเปิดเครื่องปรับอากาศลง รายละเอียดที่ได้

เดือน MONTH	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด PEAK (kW)	วันที่/ ชม. DR/HR
มกราคม	26.001	108.500	22/15
กุมภาพันธ์	22.597	108.463	28/24
มีนาคม	25.008	108.798	4/16
เมษายน	25.894	109.092	19/17
พฤษภาคม	25.960	108.688	29/11
มิถุนายน	23.804	109.930	19/16
กรกฎาคม	25.887	108.452	15/15
สิงหาคม	25.954	108.863	23/17
กันยายน	23.604	108.193	9/16
ตุลาคม	25.772	108.145	31/24
พฤศจิกายน	22.743	108.388	21/15
ธันวาคม	24.603	108.387	10/15
<b>รวม</b>	<b>297.828</b>	<b>375.347</b>	

จากผลที่ได้จากโปรแกรมโด ในบทที่ 4 ค่าพลังงานรวมที่พื้นที่นี้ใช้ในขณะนี้ยังไม่ได้มีการปรับปรุง มีค่าเท่ากับ 302.441 MWH. แต่ในการลดพลังงานโดยการปิดเครื่องปรับอากาศบางส่วนจะได้ค่าพลังงานที่เสียไป เท่ากับ 297.828 MWH. มีค่าความแตกต่าง 4.613 MWH. และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้เป็นจำนวนเงิน 16,143 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ 1.68 ของค่าใช้จ่ายในพื้นที่กรณีศึกษา

สรุปการลดการเปิดเครื่องปรับอากาศ : การปรับปรุงโดยไม่ต้องลงทุนนี้ สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปได้ร้อยละ 1.68 และสามารถลดค่าใช้จ่ายลงไปได้อีกปีละ 16,143 บาท

## 5.2 การลดพลังงานไฟฟ้าปรับอากาศโดยต้องมีการลงทุน

จากแผนภูมิวงกลมในรูปที่ 4.2 ที่แสดงถึงพลังงานความร้อนที่เข้ามาในอาคารบริเวณศึกษา โดยแผนภูมิจะแสดงถึงปริมาณความร้อนที่เข้ามา พบว่าความร้อนที่เข้ามาทางผนังมากที่สุด การปรับปรุงเพื่อป้องกันพลังงานความร้อนจากภายนอกที่มากกระทบกับผนัง จึงเป็นส่วนที่

ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก อันดับรองลงมาคือการปรับปรุงกระจก ซึ่งแต่เดิมเป็นกระจกตัดแสงสีชา ก็ควรจะต้องการแก้ไขเช่นกัน

การปรับปรุงโดยที่จำเป็นต้องมีการลงทุนนี้ จะเป็นการต่อเติมหรือเปลี่ยนวัสดุของอาคาร โดยที่ ต้องยังคงรูปลักษณะอาคารให้ใกล้เคียงรูปลักษณะอาคารเดิมที่สุด

ตารางที่ 5.3 แสดงสัดส่วนความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ที่ทำการศึกษและวิธีการแก้ไข  
แนวทางการแก้ปัญหา

ส่วนประกอบอาคาร	พลังงานความร้อน (kW)	ร้อยละ
ความร้อนจากผนังทึบ	19.253	69
ความร้อนจากระบบแสงสว่าง	4.197	15
ความร้อนจากการแผ่รังสีผ่านกระจก	3.501	12
ความร้อนจากร่างกายของผู้ใช้อาคาร	0.653	2
ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านกระจก	0.584	2
ความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศ	0.071	0
<b>TOTAL LOAD</b>	<b>28.259</b>	

### 5.2.1 เกณฑ์ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุง

ในการพิจารณาเพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงอาคารนั้น นอกจากจะพิจารณาในด้านเทคนิคการประหยัดพลังงานแล้ว จำเป็นที่จะต้องพิจารณาความเหมาะสมในด้านอื่นอีกด้วย การศึกษาวิจัยชิ้นนี้จึงได้กำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสม ดังนี้

1. แนวทางการปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงานในอาคาร ได้อย่างน้อย 5% ตามประกาศคณะรัฐมนตรี ว่าด้วยเรื่องการประหยัดพลังงานในหน่วยงานราชการ พ.ศ.2543

2. แนวทางการปรับปรุงให้คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ให้ความสำคัญทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยครั้งนี้ ให้หลักการศึกษาทฤษฎีทางด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น คือการศึกษาระยะเวลาดำเนินทุน

3. แนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานมากที่สุด เป็นแนวทางการปรับปรุงเพื่อให้อาคารมีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานสูงสุด โดยการใช้พลังงานน้อยที่สุด

### 5.2.2 แนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ

วิธีที่ 1 ติดตั้งแผงบังแดดอลูมิเนียมสำเร็จรูปอย่างเดียว

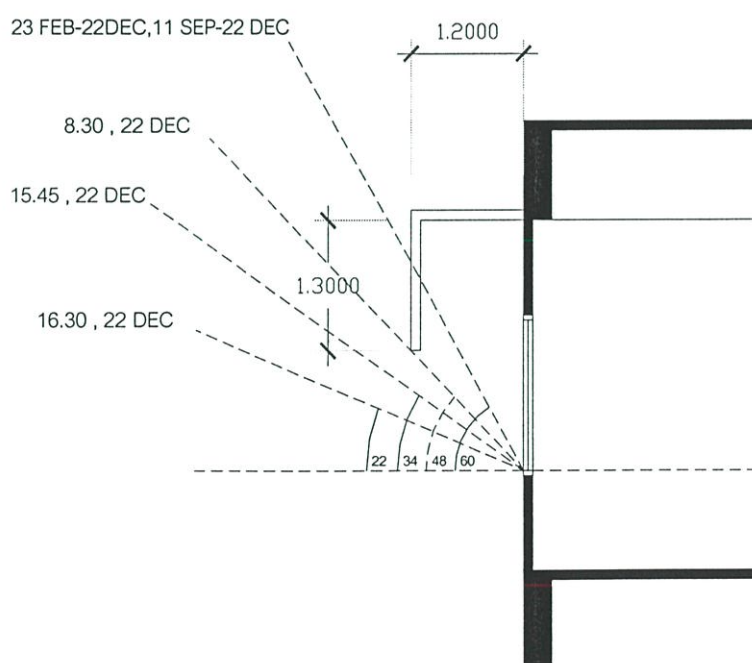
วิธีที่ 2 การใส่แผงบังแดดและใส่ฉนวนใยแก้วกันความร้อนที่ผนัง ในส่วนที่แผงบังแดดไม่ครอบคลุมโดยมีขนาดความหนาและความหนาแน่นแตกต่างกัน

วิธีที่ 3 การเปลี่ยนชนิดของกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อน (REFLECTIVE GLASS) และใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนังทับ

วิธีที่ 4 การเปลี่ยนชนิดของกระจกเป็นกระจกฉนวนความร้อนโลว์-อี (LOW-E GLASS) และใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนังทับ

วิธีที่ 1 ติดตั้งแผงบังแดดอลูมิเนียมสำเร็จรูปอย่างเดียว

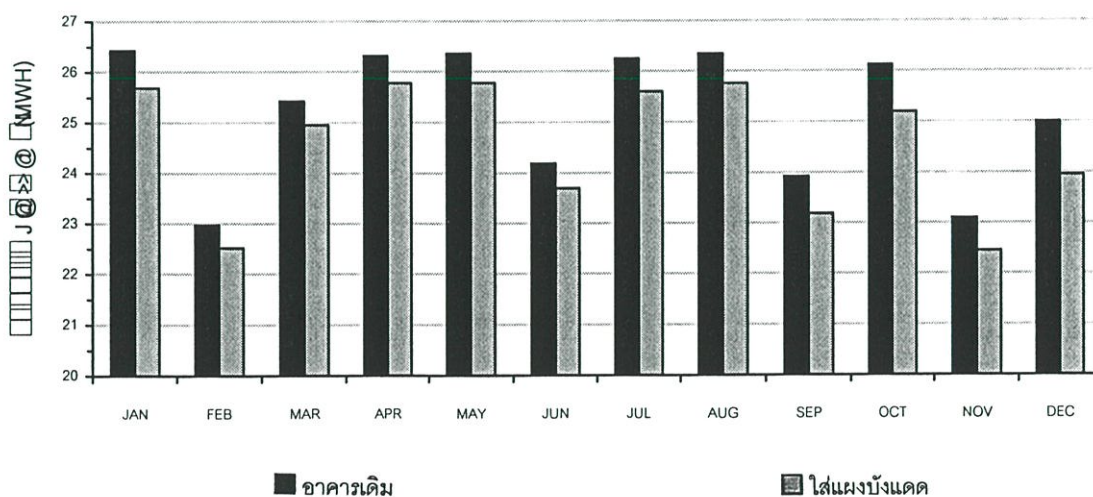
การใส่แผงบังแดดเพิ่มเติม ทางผนังทางด้านที่ติดกับภายนอก ซึ่งอยู่ทางด้านทิศใต้ของตัวอาคาร การใส่แผงบังแดดนี้ เพื่อป้องกันแสงแดดที่จะเข้ามากระทบโดยตรงกับพื้นที่ผนังส่วนที่มีการปรับอากาศ โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการเพิ่มเติมในงานวิจัยนี้จะต้องมีน้ำหนักเบาและติดตั้งสะดวก จึงใช้เป็นแผงบังแดดแบบอลูมิเนียมอบสีสำเร็จรูป ชนิดเกรด ที่หาซื้อได้ทั่วไป ราคาประมาณตารางเมตรละ 1,500 บาท รวมโครงคร่าว



รูปที่ 5.2 แสดงรูปแบบของแผงกันแดดอลูมิเนียมสำเร็จรูป

ตารางที่ 5.4 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนหลังการใส่แผงกันแดดอย่างเดียว(วิธีที่ 1)  
MONTHLY PEAK AND TOTAL ENERGY USE (วิธีที่ 1)

เดือน MONTH	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด PEAK (kW)	วันที่ใช้พลังงาน สูงสุด/ชม. DR/HR
มกราคม	25.686	108.359	22/15
กุมภาพันธ์	22.520	108.384	28/15
มีนาคม	24.955	108.715	14/16
เมษายน	25.783	109.094	19/17
พฤษภาคม	25.786	108.614	23/11
มิถุนายน	23.697	110.105	19/16
กรกฎาคม	25.602	108.303	15/15
สิงหาคม	25.767	108.808	23/17
กันยายน	23.183	108.002	9/16
ตุลาคม	25.200	107.992	30/15
พฤศจิกายน	22.452	108.320	21/15
ธันวาคม	23.964	108.235	11/15
รวม	294.596	375.946	
สามารถลดพลังงานไปได้	2.60 %	ระยะเวลาคืนทุน 44 ปี	



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการใส่แผงบังแดด (วิธีที่ 1)

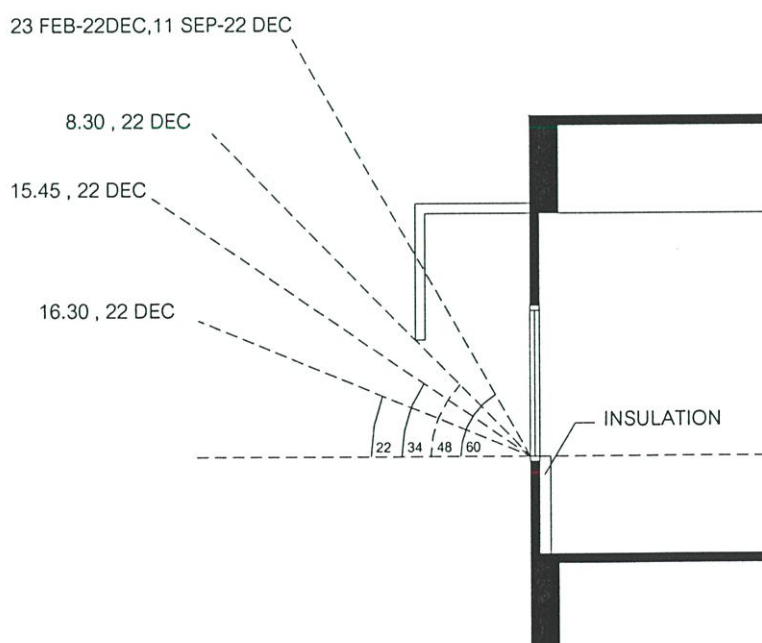
วิธีที่ 2 การใส่แผงบังแดดและใส่ฉนวนใยแก้วกันความร้อนที่ผนัง ในส่วนที่แผงบังแดดไม่ครอบคลุมโดยมีขนาดความหนาและความหนาแน่นแตกต่างกัน

การปรับปรุงแบบที่ 2 นี้ นอกจากที่จะใส่แผงกันแดดบริเวณด้านนอกของตัวอาคารเพื่อกันแสงอาทิตย์โดยตรงแล้ว ยังมีการเพิ่มส่วนที่เป็นฉนวนกันความร้อนเข้าไปด้านในของผนังในส่วนที่แผงกันแดดไม่สามารถที่จะครอบคลุมได้ โดยฉนวนที่นำมาใช้ จะเป็นฉนวนใยแก้ว 3 ขนาดได้แก่

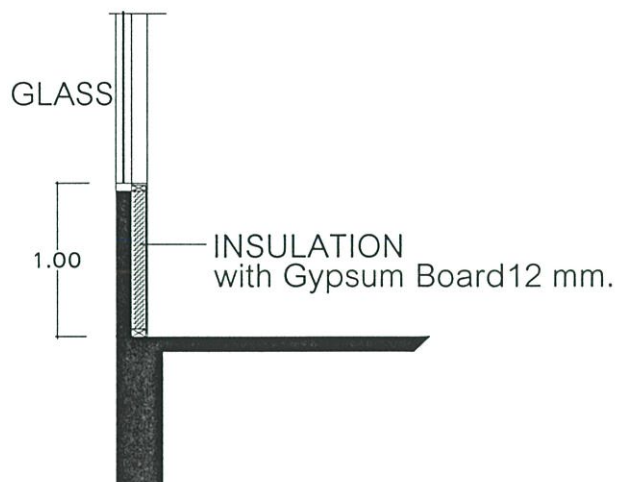
- 2.1 ฉนวนใยแก้ว ความหนา 1 นิ้ว/ความหนาแน่น 16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2.2 ฉนวนใยแก้ว ความหนา 2 นิ้ว/ความหนาแน่น 16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2.3 ฉนวนใยแก้ว ความหนา 2 นิ้ว/ความหนาแน่น 24 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 5.5 ประเภทและขนาดของฉนวนใยแก้วกันความร้อนที่นำมาติดตั้ง

ประเภทของฉนวนใยแก้ว	ค่า $R(m^2-k/w)$	ราคา / $m^2$ (บาท)
ฉนวนใยแก้ว 1"/ 16 $Kg.m^3$	0.67	335
ฉนวนใยแก้ว 2"/ 16 $Kg.m^3$	1.35	385
ฉนวนใยแก้ว 2"/ 24 $Kg.m^3$	1.43	436



รูปที่ 5.4 แสดงแผงกันแดดและฉนวนกันความร้อนที่บริเวณด้านล่าง

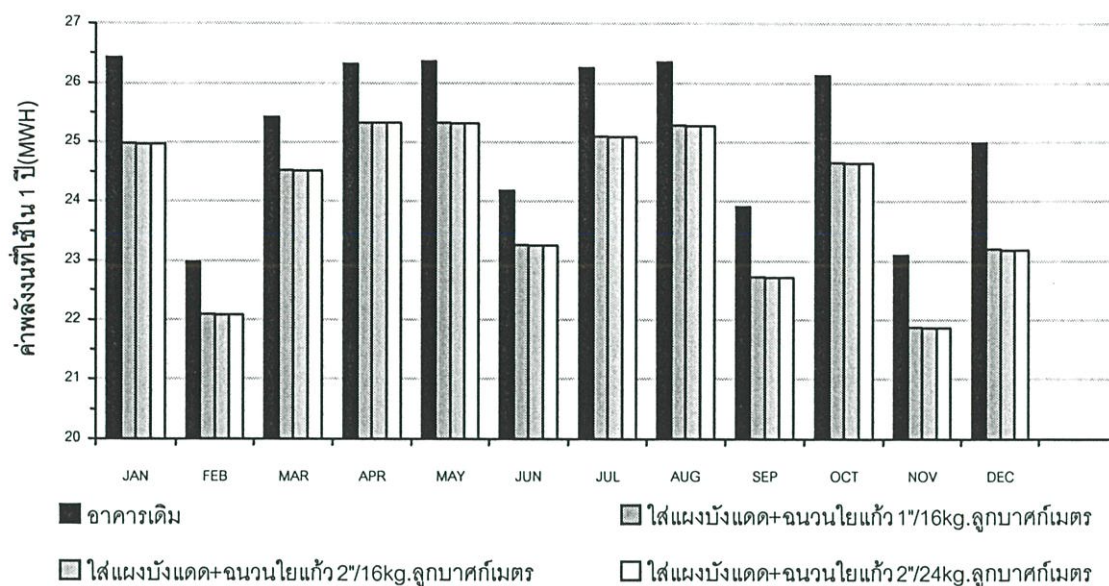


รูปที่ 5.5 แสดงการติดฉนวนกันความร้อนที่บริเวณด้านล่าง

ตารางที่ 5.6 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนหลังการใส่แผงกันแดดและฉนวนกันความร้อนที่ผนังที่บในบริเวณที่ไม่มีแผงบังแดดครอบคลุม

MONTHLY PEAK AND TOTAL ENERGY USE (วิธีที่ 2)

เดือน MONTH	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 2 (ฉนวนกันความร้อน 1"/16 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 2 (ฉนวนกันความร้อน 2"/16 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 2 (ฉนวนกันความร้อน 2"/24 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)
มกราคม	24.986	24.972	24.971
กุมภาพันธ์	22.090	22.082	22.081
มีนาคม	24.528	24.520	24.520
เมษายน	25.332	25.324	25.324
พฤษภาคม	25.330	25.322	25.322
มิถุนายน	23.266	23.258	23.258
กรกฎาคม	25.101	25.093	25.093
สิงหาคม	25.280	25.272	25.272
กันยายน	22.726	22.718	22.718
ตุลาคม	24.663	24.653	24.653
พฤศจิกายน	21.881	21.868	21.867
ธันวาคม	23.201	23.185	23.183
รวม	288.386	288.266	288.261
ลดพลังงานไปได้	4.65%	4.69%	4.69%



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิผลของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการใส่แผงบังแดดและใส่ฉนวนใยแก้วที่ผนังทึบ

จากกราฟ การใส่แผงบังแดดและฉนวนใยแก้วนั้น ให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก โดยที่สามารถที่จะลดการใช้พลังงาน จาก 302.441 MWH/ปี จะให้พลังงานลดไปดังนี้

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานที่เปลี่ยนแปลงและจำนวนเงินที่ลดลงของการปรับปรุงโดยการใส่แผงบังแดดและฉนวนกันความร้อนกรี๊ปซั่มที่ผนังด้านล่าง

วิธีการปรับปรุง วิธีที่ 2	พลังงาน หลังการปรับปรุง (MWH/ปี)	ค่าผลต่าง พลังงาน (MWH/ปี)	จำนวนเงิน ที่ลดลง (บาท)	ลดลง ร้อยละ (%)
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว/ 16 Kg.m <sup>3</sup> )	288.386	14.055	43,154	4.50
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว/ 16 Kg.m <sup>3</sup> )	288.266	14.175	43,517	4.54
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว/ 24 Kg.m <sup>3</sup> )	288.261	14.180	43,529	4.54

สรุป : เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์แล้วปรากฏว่า การปรับปรุงโดยการใส่แผงบังแดดและฉนวนกันความร้อนที่ผนังด้านล่างนั้นลดการใช้พลังงานไปได้สูงสุดเพียง 4.7% ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 5% อีกทั้งระยะเวลาในการคืนทุน ใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 24 ปี

วิธีที่ 3 เปลี่ยนชนิดของกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อน (REFLECTIVE GLAS) และใส่นวนกันความร้อนที่ผนังทึบทั้งหมด

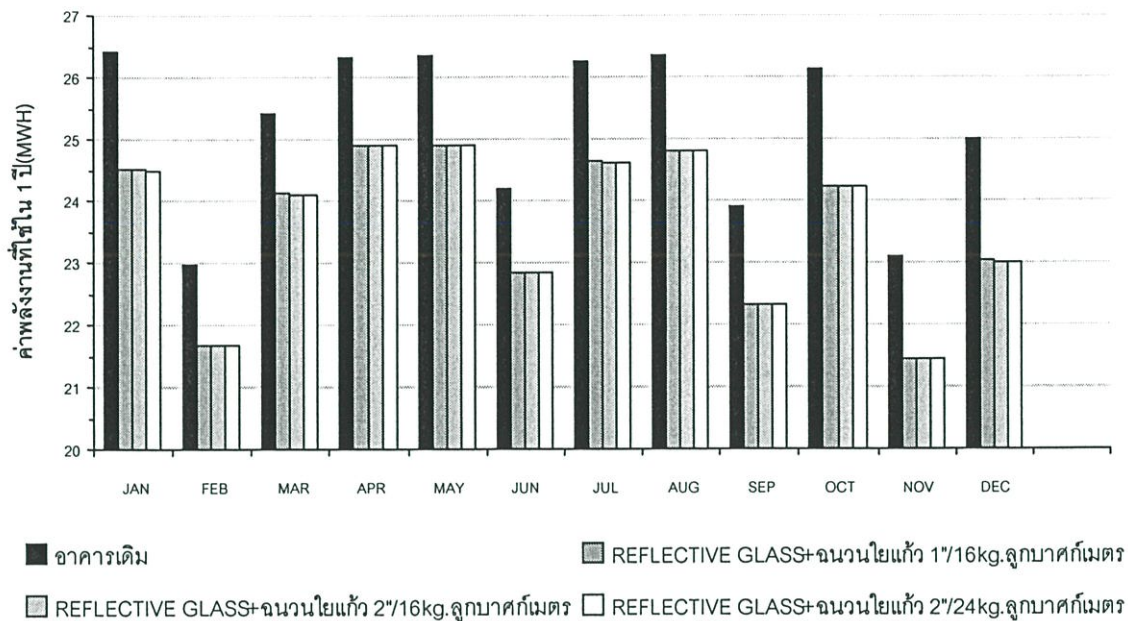
ในกรณีที่การทำแผงบังแดด อาจจะทำให้รูปลักษณะทางสถาปัตยกรรมเปลี่ยนไป การเปลี่ยนชนิดของกระจกน่าจะเป็นอีกทางเลือกในการนำมาพิจารณา โดยการเปลี่ยนกระจกนี้จะทำควบคู่ไปกับการใส่นวนที่ผนังทึบทั้งหมดใส่นวนที่ด้านในที่ผนังอลูมิเนียม ทั้งด้านบนและด้านล่างของกระจกและเปลี่ยนกระจกจากกระจกสีขาวความหนา 6 มม.ไปเป็นกระจกสะท้อนความร้อน 6 มม.

กระจกสะท้อนความร้อน (REFLECTIVE GLASS) นี้จะอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนแสง/ความร้อนของโลหะออกไซด์ที่ฉาบบนผิวหน้าของแผ่นกระจก (ได้ทั้งกระจกใสและกระจกสี) โดยสารที่ฉาบนี้อาจช่วยลดค่า Shading Coefficient (SC) ของกระจกลงมา เช่น กระจกใส SC = 0.96 เมื่อถูกทำเป็นกระจก Reflective แล้ว SC จะเหลือเพียง 0.20 - 0.30 ขึ้นกับชนิดโลหะที่นำมาเคลือบและผู้ผลิตแต่ละราย ทำให้โดยรวมสามารถลดความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านผิวกระจกได้ประมาณ 90% แต่กระจกสะท้อนความร้อนนี้จะไม่สามารถลดค่า U ได้

ตารางที่ 5.8 พลังงานไฟฟ้าหลังการเปลี่ยนกระจกเป็นชนิดสะท้อนความร้อนและใส่นวนกันความร้อนที่ผนังทึบทั้งหมด

MONTHLY PEAK AND TOTAL ENERGY USE ( วิธีที่ 3 )

เดือน MONTH	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 3 (ฉนวนกันความร้อน 1"/16 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 3 (ฉนวนกันความร้อน 2"/16 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 3 (ฉนวนกันความร้อน 2"/24 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)
มกราคม	24.518	24.501	24.497
กุมภาพันธ์	21.691	21.679	21.675
มีนาคม	24.119	24.107	24.103
เมษายน	24.910	24.899	24.895
พฤษภาคม	24.900	24.892	24.888
มิถุนายน	22.848	22.837	22.833
กรกฎาคม	24.635	24.626	24.621
สิงหาคม	24.808	24.796	24.792
กันยายน	22.337	22.328	22.324
ตุลาคม	24.226	24.216	24.212
พฤศจิกายน	21.462	21.447	21.442
ธันวาคม	23.017	23.005	23.002
รวม	283.471	283.334	283.285
ลดพลังงานไฟฟ้าไป	6.27%	6.31%	6.33%



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนกระจกเป็นแบบ Reflective และใส่ฉนวนใยแก้ว

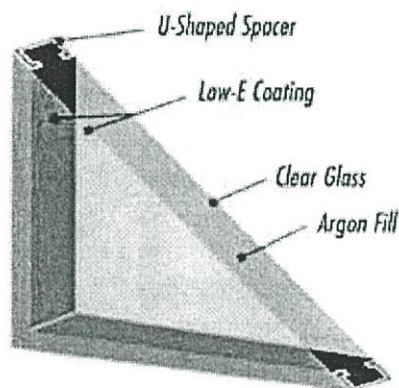
ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานที่เปลี่ยนแปลงและจำนวนเงินที่ลดลงของการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและฉนวนกันความร้อน กรู๊ปซี่มที่ผนังด้านล่าง

วิธีการปรับปรุง	พลังงานหลังการปรับปรุง (MWH/ปี)	ค่าผลต่างพลังงาน (MWH/ปี)	จำนวนเงินที่ลดลง (บาท)	เงินลดลงร้อยละ (%)
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว/ 16 Kg.m <sup>3</sup> )	283.471	18.970	59,417	6.20
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว/ 16 Kg.m <sup>3</sup> )	283.334	19.107	59,913	6.25
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว/ 24 Kg.m <sup>3</sup> )	283.285	19.156	60,063	6.26

สรุป : เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์แล้วปรากฏว่า การปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและฉนวนกันความร้อนที่ผนังทั้งหมดนั้น ลดการใช้พลังงานไปได้ 6.20-6.25% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่พิจารณา คือ 5% อีกทั้งระยะเวลาในการคืนทุน ใช้เวลา 11-13 ปี

วิธีที่ 4 เปลี่ยนชนิดของกระจกเป็นกระจกฉนวนความร้อนโลว์-อี ( LOW-E GLASS ) และใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนังที่บัพทั้งหมด

เช่นเดียวกับวิธีการปรับปรุงในแบบที่ 3 แต่เปลี่ยนจากกระจกสะท้อนความร้อนเป็นกระจกฉนวนความร้อนโลว์-อี แบบ 2 ชั้น โดยด้านนอกเป็นกระจกโฟลตใส หนา 6 มิลลิเมตร และกระจกแผ่นที่อยู่ด้านในเป็นกระจก LOW-E หนา 6 มิลลิเมตรเช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.8 แสดงรูปตัดของกระจกฉนวนความร้อนโลว์-อี ( LOW-E )

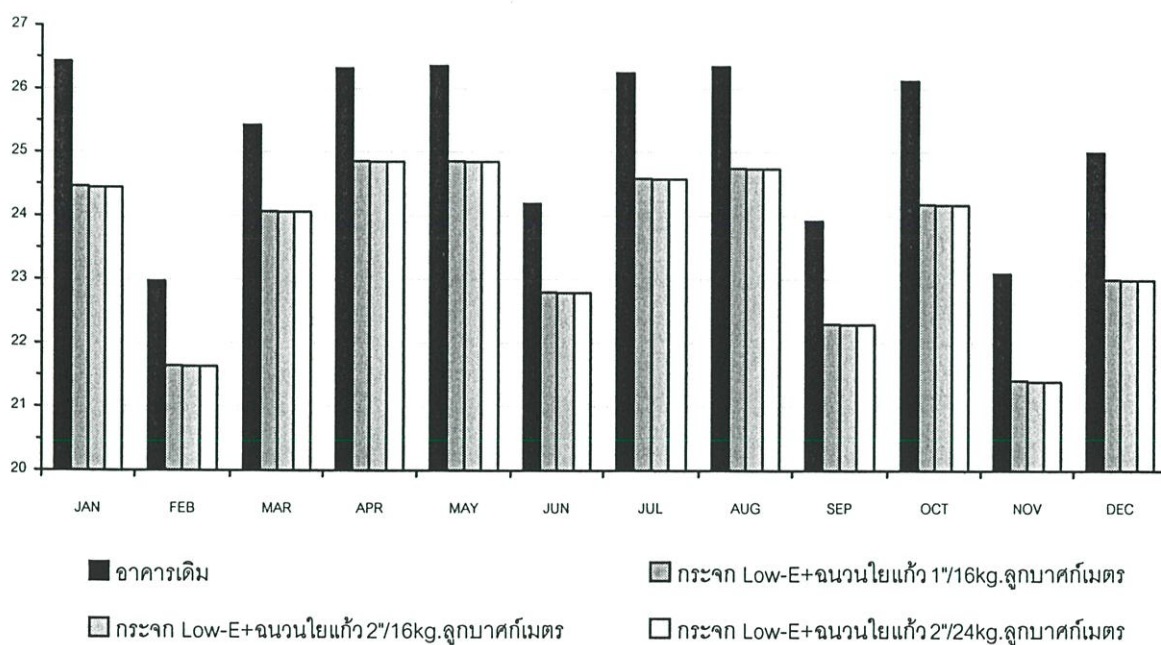
ตารางที่ 5.10 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนหลังการเปลี่ยนกระจกเป็นชนิดฉนวนความร้อนโลว์-อี และใส่ฉนวนใยแก้วกันความร้อนที่ผนังที่บัพ

MONTHLY PEAK AND TOTAL ENERGY USE ( วิธีที่ 4 )

เดือน MONTH	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 4 (ฉนวนกันความร้อน 1"/16 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 4 (ฉนวนกันความร้อน 2"/16 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 4 (ฉนวนกันความร้อน 2"/24 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)
มกราคม	24.465	24.447	24.448
กุมภาพันธ์	21.643	21.631	21.632
มีนาคม	24.070	24.059	24.059
เมษายน	24.863	24.852	24.851
พฤษภาคม	24.855	24.847	24.846
มิถุนายน	22.799	22.789	22.788
กรกฎาคม	24.585	24.575	24.575
สิงหาคม	24.751	24.741	24.741

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

เดือน MONTH	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 4 (ฉนวนกันความร้อน 1"/16 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 4 (ฉนวนกันความร้อน 2"/16 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE วิธีที่ 4 (ฉนวนกันความร้อน 2"/24 Kg.M <sup>3</sup> ) (MWH)
กันยายน	22.298	22.290	22.290
ตุลาคม	24.182	24.173	24.172
พฤศจิกายน	21.418	21.402	21.403
ธันวาคม	23.007	22.994	22.995
รวม	282.935	282.801	282.800
ลดพลังงานไป	6.44%	6.49%	6.49%



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนกระจกเป็นแบบ Low-E และใส่ฉนวนใยแก้วกันความร้อนที่ผนังทึบ

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานที่เปลี่ยนแปลงและจำนวนเงินที่ลดลงของการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและฉนวนกันความร้อนกรุปซัมที่ผนังด้านล่าง

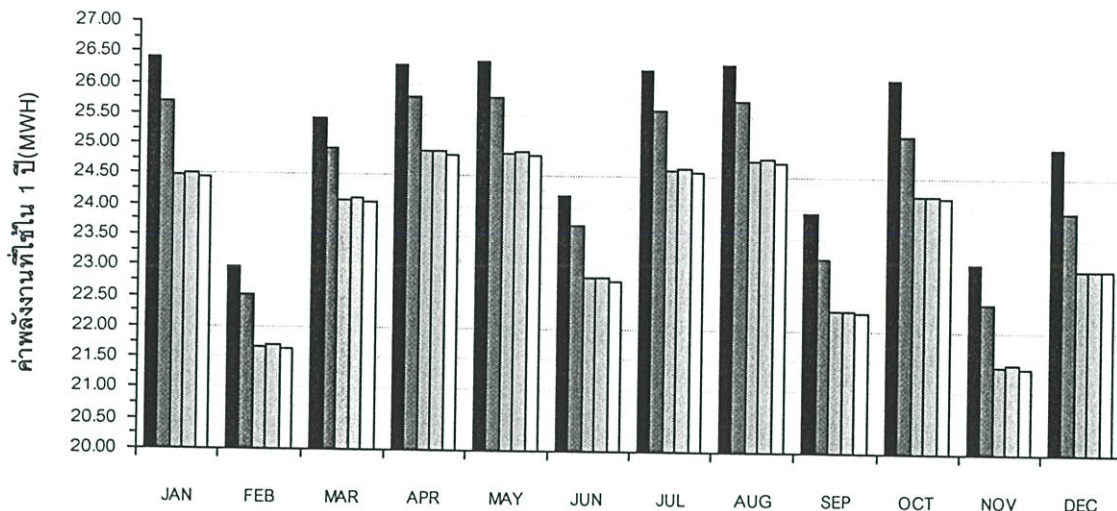
วิธีการปรับปรุง	พลังงานหลังการปรับปรุง (MWH/ปี)	ค่าผลต่างพลังงาน (MWH/ปี)	จำนวนเงินที่ลดลง (บาท)	เงินลดลงร้อยละ (%)
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว/ 16 Kg.m <sup>3</sup> )	282.935	19.506	61,308	6.39
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว/ 16 Kg.m <sup>3</sup> )	282.801	19.640	61,749	6.44
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว/ 24 Kg.m <sup>3</sup> )	282.800	19.641	61,749	6.44

สรุป : เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์แล้วปรากฏว่า การปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกฉนวนความร้อนและใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนังที่บทั้งหมดนั้น ลดการใช้พลังงานไปได้ประมาณ 6.4 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่พิจารณา คือ 5% แต่ระยะเวลาในการคืนทุน ใช้เวลา 23-26 ปี

ตารางสรุปสัดส่วนการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่ลดลงและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

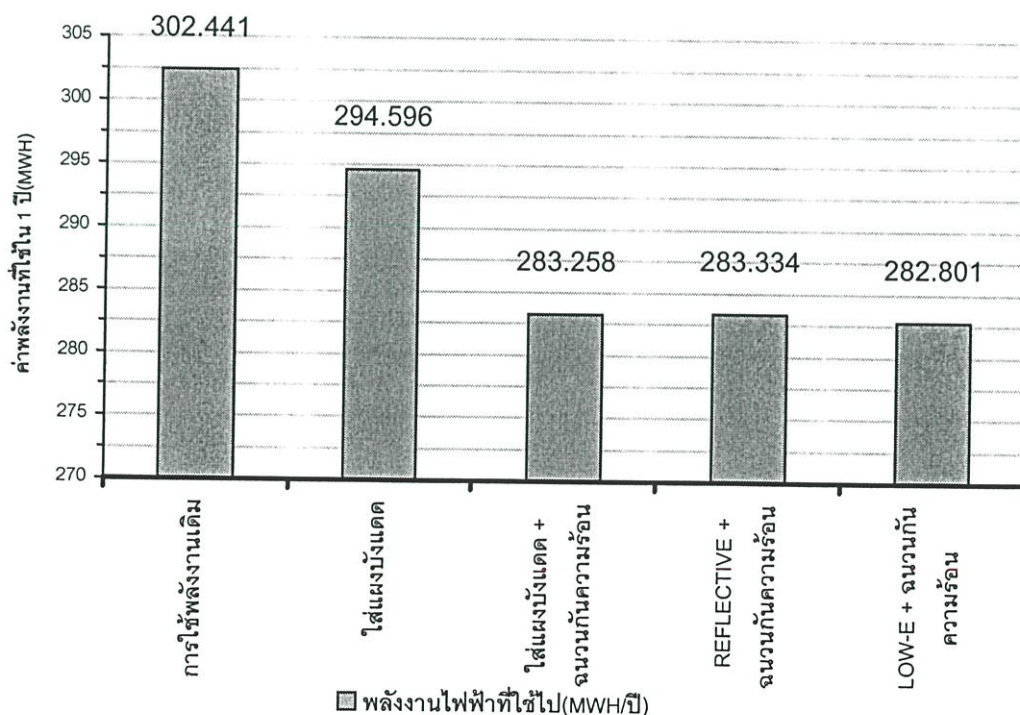
ตารางที่ 5.12 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ หลังมีการปรับปรุงทั้ง 4 วิธี

วิธีการปรับปรุงอาคาร	พลังงานที่ใช้ MWH / ปี	ค่าพลังงานที่ลดลง MWH / ปี (เดิม302.441)	ค่าพลังงานที่ลดลง (%)	ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง (บาท)
วิธีที่ 1 ติดตั้งแผงบังแดดอลูมิเนียมสำเร็จรูปอย่างเดียว				
ใส่แผงกันแดด ทางด้านทิศใต้	294.596	7.845	2.60	836,352
วิธีที่ 2 ติดตั้งแผงบังแดดภายนอกและใส่ฉนวนใยแก้วที่ผนังด้านล่างโดยมีความหนาและความหนาแน่นของฉนวนแตกต่างกัน				
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 1"/16 kg.m <sup>3</sup> )	288.266	14.175	4.50	925,056
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 2"/16 kg.m <sup>3</sup> )	288.261	14.180	4.54	946,598
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 2"/24 kg.m <sup>3</sup> )	283.258	19.183	4.54	975,744
วิธีที่ 3 เปลี่ยนชนิดของกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและใส่ฉนวนใยแก้วที่ผนังที่บ				
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 1"/16 kg.m <sup>3</sup> )	283.471	18.970	6.27	617,549
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 2"/16 kg.m <sup>3</sup> )	283.334	19.107	6.32	664,942
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 2"/24 kg.m <sup>3</sup> )	283.285	19.156	6.33	729,062
วิธีที่ 4 เปลี่ยนชนิดของกระจกเป็นกระจกฉนวนความร้อนโลว์-อีและใส่ฉนวนใยแก้วที่ผนังที่บ				
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 1"/16 kg.m <sup>3</sup> )	282.935	19.506	6.45	1,251,149
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 2"/16 kg.m <sup>3</sup> )	282.801	19.640	6.50	1,298,542
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 2"/24 kg.m <sup>3</sup> )	282.800	19.641	6.50	1,362,662



■ อาคารเดิม ■ ใสแผงบังแดด ■ ใสแผงบังแดด+ฉนวนใยแก้ว ■ กระจก Reflective+ฉนวนใยแก้ว □ กระจก Low-E+ฉนวน

รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบเป็นรายเดือน



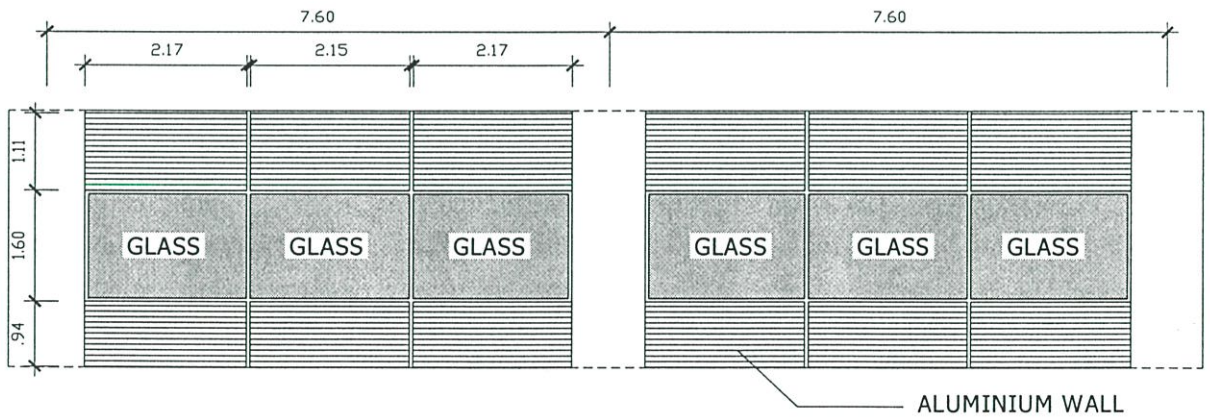
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 ปี

### 5.3 จุดคุ้มทุนในการปรับปรุงอาคาร

ข้อมูลพื้นฐาน



รูปที่ 5.12 แสดงรูปแบบผนังและหน้าต่าง พื้นที่ที่ทำการศึกษา



รูปที่ 5.13 แสดงรูปแบบผนังอาคาร 1 ชั้น

พื้นที่กระจก	=	316.8 ตารางเมตร
พื้นที่ผนังอลูมิเนียมด้านบน	=	253.44 ตารางเมตร
พื้นที่ผนังอลูมิเนียมด้านล่าง	=	211.2 ตารางเมตร

ตารางที่ 5.13 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศหลังมีการปรับปรุง

วิธีการปรับปรุงอาคาร	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี) เดิม 958,060 บาท	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง หลังการปรับปรุง (บาท)	ค่าปรับปรุง (บาท)	ระยะคืนทุน (ปี)
วิธีที่ 1				
ใส่แผงกันแดด ทางด้านทิศใต้	934,287	23,773	836,352	44
วิธีที่ 2				
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 1"/16 kg.m <sup>3</sup> )	914,906	43,154	925,056	24.5
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 2"/16 kg.m <sup>3</sup> )	914,543	43,517	946,598	25
วิธีที่ 2(ฉนวนใยแก้ว 2"/24 kg.m <sup>3</sup> )	914,531	43,529	975,744	26
วิธีที่ 3				
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 1"/16 kg.m <sup>3</sup> )	898,643	59,417	617,549	11
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 2"/16 kg.m <sup>3</sup> )	898,147	59,913	664,942	12
วิธีที่ 3(ฉนวนใยแก้ว 2"/24 kg.m <sup>3</sup> )	897,997	60,063	729,062	13
วิธีที่ 4				
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 1"/16 kg.m <sup>3</sup> )	896,752	61,308	1,251,149	23
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 2"/16 kg.m <sup>3</sup> )	896,311	61,749	1,298,542	24
วิธีที่ 4(ฉนวนใยแก้ว 2"/24 kg.m <sup>3</sup> )	896,311	61,749	1,362,662	26

#### 5.4 สรุปผลการวิเคราะห์และแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อลดความร้อนในพื้นที่

จากการจำลองการปรับปรุงอาคารโดยวิธีต่างๆลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์โด เวอร์ชัน 2.1 แล้วจะเห็นได้ว่า ในแต่ละวิธีจะมีการลดพลังงานที่ใกล้เคียงกันมาก คือลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 4.5 -6 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดค่าไฟฟ้าอันเกิดจากพลังงานปรับอากาศ ได้ ตั้งแต่ 23,000 – 61,000 บาท แต่เมื่อนำมาเทียบกับราคาต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงจะแตกต่างกันมาก เช่นเดียวกัน

การปรับปรุงโดยวิธีการเปลี่ยนกระจกซึ่งจากเดิมเป็นกระจกสีชา เปลี่ยนไปเป็นกระจกฉนวนความร้อน 2 ชั้นที่เรียกว่ากระจก LOW-E จะทำให้สามารถลด ค่าใช้จ่ายของอาคารไปได้มากที่สุดถึง 61,749 บาทต่อปี แต่ทั้งนี้หลังจากมีการคิดคำนวณถึงต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่ต้อง

เสียไปในระหว่างการปรับปรุงและดำเนินการที่ต้องใช้เงินถึง 1,36,662 บาทนั้นเป็นการไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน เพราะต้องใช้ระยะเวลาในการคืนทุนถึง 26 ปี

การพิจารณาแนวทางอื่น ๆ ที่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการเปลี่ยนรูปแบบกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อน หรือ REFLECTIVE GLASS กับฉนวนกันความร้อนหนา  $1\frac{1}{16}$  Kg.M<sup>3</sup> จะเป็นการปรับปรุงที่คุ้มค่าที่สุดและใช้ระยะเวลาคืนทุนไม่นานนัก คือใช้เวลาประมาณ 11 ปี

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัย

### 6.1 สรุปผลการใช้โปรแกรมโด เวอร์ชัน 2.1 กับงานวิจัย

การเลือกใช้โปรแกรมโดในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ อาจจะได้ผลตรงตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในความเป็นจริง แต่ก็มีความคาดเคลื่อนไม่มากนัก ด้วยข้อจำกัดบางประการ ของโปรแกรม ตัวอย่างเช่น ข้อมูลของสภาพภูมิอากาศที่ใช้ในกรประกอบการวิเคราะห์ของโปรแกรม จะเป็นข้อมูลที่ใช้เมื่อปี 1985 (พ.ศ.2528)หรือประมาณ 20 ปีที่แล้ว ซึ่งในปัจจุบันค่าความร้อนและแสงอาทิตย์อาจจะมีเปลี่ยนแปลงไปได้ ส่วนการทำงานในด้านอื่นๆ จะเป็นเรื่องของการทำงานกับโปรแกรมที่ใช้ระบบปฏิบัติการ ดอส (DOS) แต่ในปัจจุบันระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ เวอร์ชันใหม่ๆ จะใช้โปรแกรมตัวนี้ยากมากขึ้น

### 6.2 สรุปผลการวิจัย

จากจุดประสงค์ของการปรับปรุงระบบปรับอากาศของอาคารในส่วนของสำนักงานและห้องพักอาจารย์ คือพยายามให้ค่าใช้จ่ายและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงให้ได้อย่างน้อย 5 เปอร์เซ็นต์ ตามมติของคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ.2543 เรื่องที่ให้หน่วยงานราชการ มีเป้าหมายในการลดพลังงานลง 5 เปอร์เซ็นต์

จึงแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ประเภทคือ

#### 1. วิธีการปรับปรุงอาคารแบบไม่ต้องการลงทุน

เป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยการคำนวณการทำความเย็นในอาคารแล้ว จะได้ค่าภาระการทำความเย็น 98.809 KBTU/H ต่อหนึ่งชั้น แต่ในความเป็นจริง เครื่องปรับอากาศนั้นมีขนาดใหญ่ ถึง 240 KBTU/H จะเห็นได้ว่าปริมาณภาระการทำความเย็นอยู่มาก ดังนั้นเมื่อมีการลดปริมาณเครื่องปรับอากาศลงมาให้ใกล้เคียงกับภาระการทำความเย็นแล้ว คือ 168 KBTU/H(ดูการปรับปรุงอาคารโดยไม่ต้องมีการลงทุน บทที่ 5) จะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงจากเดิม 1.52% และสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายลงไปได้ 16,142.44 บาท หรือ 1.62%

#### 2. วิธีปรับปรุงอาคารแบบที่ต้องการมีการลงทุน

การปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานนี้ เป็นการลงทุนที่จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าในการลงทุน การเลือกวิธีการจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของความร้อนที่เข้ามาในอาคาร ซึ่งในการศึกษาโครงการนี้มีการตั้งสมมติฐานว่า พื้นที่ส่วนที่เป็นสำนักงานละห้องพักอาจารย์เป็น

ส่วนที่ทำให้อาคารสิ้นเปลืองการใช้พลังงานมากที่สุด เนื่องจากเหตุผลทางด้านของกายภาพที่ผนังทางทิศใต้ไม่มีแผงบังแดด ละวัสดุยังเป็นอลูมิเนียมสีดำซึ่งเป็นตัวเก็บและส่งต่อความร้อนได้เป็นอย่างดี อีกทั้งกระจกที่ไม่ได้ช่วยในการสกัดความร้อนอีกด้วย การปรับปรุงที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่ผนังและกระจกซึ่งเป็นต้นเหตุที่เห็นได้ชัดจากการสำรวจและจากการตรวจสอบของโปรแกรมโอดี ความร้อนจากผนัง 69% และความร้อนจากกระจก 14% การปรับปรุงจึงกำหนดออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

- 2.1 การใส่แผงบังแดด ซึ่งสามารถลดพลังงานไปได้ 2.6 % ระยะเวลาคืนทุน 44 ปี
- 2.2 การใส่แผงบังแดดและใส่ฉนวนที่ผนัง
  - 2.2.1 แผงบังแดดและใส่ฉนวนที่ผนัง 1"/16kg.m<sup>3</sup> ลดพลังงาน 4.68 % ระยะเวลาคืนทุน 24.5 ปี
  - 2.2.2 แผงบังแดดและใส่ฉนวนที่ผนัง 2"/16kg.m<sup>3</sup> ลดพลังงาน 4.68 % ระยะเวลาคืนทุน 25 ปี
  - 2.2.3 แผงบังแดดและใส่ฉนวนที่ผนัง 2"/24kg.m<sup>3</sup> ลดพลังงาน 6.34 % ระยะเวลาคืนทุน 26 ปี
- 2.3 การเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนความร้อนและใส่ฉนวนที่ผนัง
  - 2.3.1 กระจกสะท้อนความร้อนและใส่ฉนวนที่ผนัง 1"/16kg.m<sup>3</sup> ลด 6.27% ระยะเวลาคืนทุน 11 ปี
  - 2.3.2 กระจกสะท้อนความร้อนและใส่ฉนวนที่ผนัง 1"/16kg.m<sup>3</sup> ลด 6.32% ระยะเวลาคืนทุน 12 ปี
  - 2.3.3 กระจกสะท้อนความร้อนและใส่ฉนวนที่ผนัง 1"/16kg.m<sup>3</sup> ลด 6.33% ระยะเวลาคืนทุน 13 ปี
- 2.4 การเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกฉนวนความร้อนและใส่ฉนวนที่ผนัง
  - 2.4.1 กระจกฉนวนความร้อนและใส่ฉนวนที่ผนัง 1"/16kg.m<sup>3</sup> ลด 6.45% ระยะเวลาคืนทุน 23 ปี
  - 2.4.2 กระจกฉนวนความร้อนและใส่ฉนวนที่ผนัง 1"/16kg.m<sup>3</sup> ลด 6.50 % ระยะเวลาคืนทุน 24 ปี
  - 2.4.3 กระจกฉนวนความร้อนและใส่ฉนวนที่ผนัง 1"/16kg.m<sup>3</sup> ลด 6.50 % ระยะเวลาคืนทุน 25 ปี

ผลที่ออกมาทำให้ทราบว่า ถึงการเปลี่ยนกระจกจะเป็นกระจกแบบฉนวนกันความร้อนจะทำให้ค่าการใช้พลังงานมีค่าลดลงมากที่สุด แต่เมื่อเทียบกับระยะเวลาการคืนทุนนั้น ใช้เวลาถึง 23-

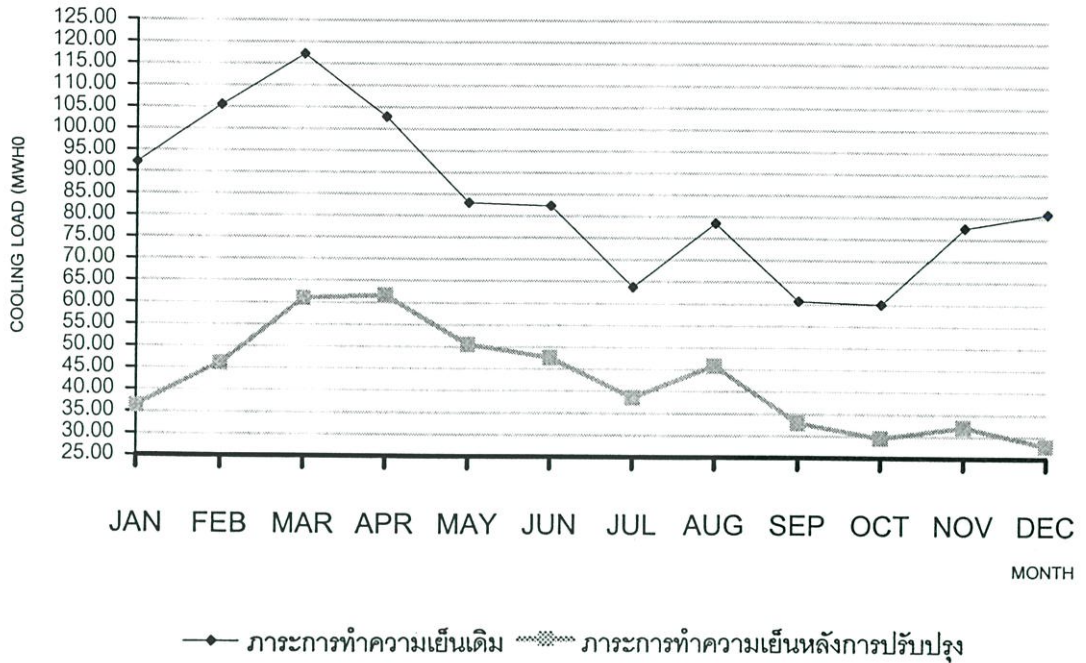
25 ปี เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาแล้วพบว่า การเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกแบบสะท้อนความร้อน และใส่นวนที่ผนัง ขนาด 1”/16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเหมาะสมที่สุด เพราะใช้เวลาคืนทุน เพียง 11 ปี

### 3. การปรับปรุงแบบผสมทั้งสองวิธี

การปรับปรุงแบบผสม คือ การปรับปรุงที่รวมการปรับปรุงแบบลงทุนและไม่ลงทุน เข้าด้วยกัน เพื่อจะให้ได้ผลในการลดการใช้พลังงานให้ได้มากที่สุด

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายเดือนระหว่างพื้นที่ก่อนและหลังการปรับปรุง

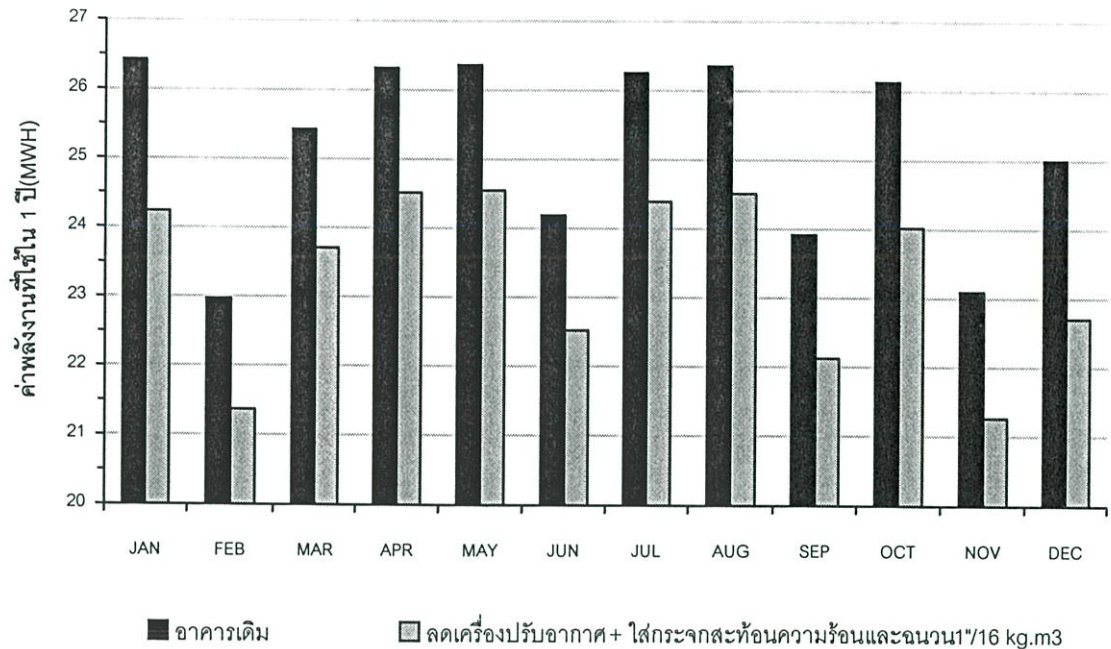
เดือน MONTH	ภาระการทำความเย็น “ก่อน” การปรับปรุง (MWH)	ภาระการทำความเย็น “หลัง” การปรับปรุง (MWH)	ความแตกต่าง (MWH)
มกราคม	92.128	36.308	55.820
กุมภาพันธ์	105.528	46.099	59.429
มีนาคม	117.126	60.973	56.153
เมษายน	102.817	61.647	41.17
พฤษภาคม	83.038	50.523	32.515
มิถุนายน	82.416	47.581	34.835
กรกฎาคม	63.755	38.495	25.26
สิงหาคม	78.529	45.795	32.734
กันยายน	60.710	32.853	27.857
ตุลาคม	60.076	29.468	30.608
พฤศจิกายน	77.620	32.002	45.618
ธันวาคม	80.878	27.814	53.064
<b>รวม</b>	<b>1,004.626</b>	<b>509.569</b>	<b>495.057</b>



รูปที่ 6.1 การเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของพื้นที่วิจัยที่ยังไม่มีการปรับปรุง และที่มีการปรับปรุง

ตารางที่ 6.2 แสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนหลังจากมีการปรับปรุงอาคารแบบผสม

เดือน MONTH	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ TOTAL ENERGY USE (MWH)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด PEAK (kW)	วันที่/ ชม. DR/HR
มกราคม	24.236	101.643	22/15
กุมภาพันธ์	21.368	101.697	28/15
มีนาคม	23.709	101.954	14/16
เมษายน	24.514	102.265	19/17
พฤษภาคม	24.554	102.229	30/16
มิถุนายน	22.529	103.087	19/16
กรกฎาคม	24.388	101.721	25/15
สิงหาคม	24.512	102.017	23/17
กันยายน	22.131	101.383	9/16
ตุลาคม	24.021	102.093	11/16
พฤศจิกายน	21.265	101.637	21/15
ธันวาคม	22.710	101.562	10/15
รวม	279.936	351.981	



รูปที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการใช้พลังงานในอาคารเดิมกับการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงแล้ว

สรุปผลการวิจัย : ผลที่ได้จากการปรับปรุงแบบผสมทำให้อัตรากาการใช้พลังงานรวม มีค่าลดลง จาก 302.441 MWH. เหลือ 279.936 MWH.

- ค่าพลังงานลดลง 22.505 MWH. โดยคิดเป็นร้อยละ 7.43 ซึ่งตรงตามเป้าหมายที่ได้ตั้งเอาไว้
- ระยะการคุ้มทุนเพียง 8.95 ปีหรือประมาณ 9 ปี ลดลงจากวิธีลงทุนแบบเปลี่ยนกระจกสะท้อนความร้อนและใสฉนวนอย่างเดียว 2 ปี

## 6.3 ข้อเสนอแนะ

### 6.3.1 ข้อเสนอแนะทางการออกแบบสถาปัตยกรรม

ในด้านการออกแบบอาคารสูงที่ต้องมีพื้นที่ใช้งานเหมือนกัน ต้องคำนึงถึงระยะเวลาการใช้งานของผู้ใช้งานเป็นสำคัญ ซึ่งในการศึกษาข้างานวิจัยชิ้นนี้ พื้นที่ใช้สอยที่ผู้ใช้อาคาร ใช้เวลาส่วนใหญ่คือส่วนของห้องสำนักงานและห้องพักอาจารย์ ถึงแม้ถ้าเทียบกับพื้นที่อื่นๆ แล้วว่าขนาดพื้นที่การปรับอากาศอาจจะมีไม่มากเท่าแต่ปัญหา ที่เกิดขึ้นกลับชัดเจนกว่า

1. ทิศทางการวางอาคาร ที่ไม่ถูกต้องคือวางพื้นที่ใช้สอยที่มีการปรับอากาศอยู่ตลอดเวลาไปไว้ทางทิศใต้ แล้วห้องน้ำไปอยู่ทางทิศเหนือ
2. วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุที่นำความร้อนทั้งกระจกและผนังอลูมิเนียมที่เป็นต้นเหตุความร้อน ส่วนใหญ่ถึง 69 %
3. เรื่องของการปรับอากาศที่มีขนาดการปรับอากาศที่ใหญ่กว่าความต้องการถึง 2.5 เท่าทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน
4. การไม่มีแผงบังแดดช่วยในการบังแสงอาทิตย์ ทำให้พื้นที่ใช้สอยอาคารรับแสงเต็มที่

### 6.3.2 ข้อเสนอแนะทางด้านการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการจำลองสภาพการใช้พลังงานในพื้นที่ที่ต้องการศึกษา

การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนร่วมในงานวิจัยนั้น สามารถทำให้ผู้ใช้อาคารหรือผู้ที่ต้องการลดการใช้พลังงานเข้าใจ ถึงเหตุของการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นและวางแผนการปฏิบัติในระยะยาวได้ แต่ทั้งนี้ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรมนี้อีกยังมีอยู่

1. โปรแกรมโด เวอร์ชัน 2.1 ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ อาศัยข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพฯ ในปี 1985 หรือปี พ.ศ.2528 มาเป็นฐานข้อมูลในการทำงานของโปรแกรม การคำนวณจึงมีการคลาดเคลื่อน รวมทั้งการประมวลผลด้วย หากต้องการให้มีการประมวลผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด จึงควรมีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลนี้ให้ทันสมัยและใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด
2. หากดูจากการคิดคำนวณการประมาณการใช้ไฟฟ้า (Estimate Building Energy Performance) จะเห็นได้ว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างมีค่ามากกว่าระบบปรับอากาศ แต่เนื่องจากข้อสันนิษฐานของผู้วิจัยและการมุ่งศึกษาในด้านการปรับอากาศจึงวางพลังงานในเรื่องแสงสว่างเป็นตัวแปรคงที่ หากต้องการลดการใช้พลังงานลงอีกควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเหมาะสมของการลดปริมาณดวงไฟหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อลดพลังงานจะทำให้ได้ผลดียิ่งขึ้น

### 6.3.3 ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานเจ้าของอาคารที่ทำการศึกษา

เสนอให้มีการติดตั้งมิเตอร์เพิ่มเติม เนื่องจากที่มีอยู่ในปัจจุบันมีเพียงแค่ 3 มิเตอร์เท่านั้นและไม่สามารถแยกแยะการใช้พลังงานได้ ทำให้การจัดการบริหารด้านพลังงานเป็นไปด้วยความยากลำบาก

## บรรณานุกรม

- เกชา ธีระโกเมน และคณะ. 2539. ความรู้เบื้องต้นงานวิศวกรรมระบบ. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอ็มแอนดีอีจำกัด.
- สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา. 2543. กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร  
สถานศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนเรศวร. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรพล พฤกษ์พานิช. 2529. การปรับอากาศหลักการและระบบ. กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์  
เซ็นเตอร์การพิมพ์.
- ธนาวุฒิ ชุนทอง. 2538. แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารเพื่อลดภาระ  
การถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) และการใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน  
กรณีศึกษา : อาคารไทยประกันชีวิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กรินทร์ ภู่นวล. 2540. การปรับปรุงระบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน  
กรณีศึกษา : อาคารสำนักพหลโยธิน ธนาคารกสิกรไทย จำกัด(มหาชน).  
วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตรีังใจ บุรณสมภพ. 2539. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน.  
กรุงเทพมหานคร : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- ธนิต จินดาวงนิค. 2541. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- สุนทร บุญญาธิการ. 2542. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิต  
ที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กองอนุรักษ์พลังงาน. 2536. คู่มืออนุรักษ์พลังงานในอาคาร.  
กรุงเทพมหานคร : กองอนุรักษ์พลังงาน.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กองอนุรักษ์พลังงาน. 2535. พระราชบัญญัติการส่งเสริมการ  
อนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วิรัช มณีสาร, เว็โท. 2538. ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะอากาศตามฤดูกาลของ  
ภาคต่าง ๆ ในประเทศไทย. เอกสารวิชาการเลขที่ 551.582-02-2538, ISBN : 974-  
7567-25-3, กันยายน.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายโอม ปนาทกุล
วัน/เดือน/ปีเกิด	วันอาทิตย์ที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ.2518
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลลพบุรี
การศึกษาระดับปริญญาตรี	ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต จากมหาวิทยาลัยรังสิต 2541
การศึกษาระดับปริญญาโท	ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทร.	02-911-0498 , 09-203-8852