แนวทางการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงาน ในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

นายนัฐพล จิรัฐติกาลกิจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-5251-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN INTEGRATED DESIGN APPROACH TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY IN SMALL PUBLIC BUILDING

Mr.Nattapon Jirattikalkit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University

Academic Year 2003
ISBN 974-17-5251-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก
โดย	นายนัฐพล จิรัฐติกาลกิจ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจจะกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ฉันทวิลาสวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อรรถจ์ เศรษฐบุตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นัฐพล จิรัฐติกาลกิจ : แนวทางการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก (AN INTEGRATED DESIGN APPROACH TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY IN SMALL PUBLIC BUILDINGS) อ.ที่ปรึกษา: ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ, xxx หน้า. ISBN 974-17-5251-2

ความต้องการใช้สอยอาคารในปัจจุบันมีความซับซ้อนอย่างมาก ทั้งในแง่พื้นที่ใช้สอย ระบบประกอบอาคารและเทคโนโลยีการออกแบบอาคารที่ต้องมีการประสานระบบต่างๆ ที่มีความซับซ้อนมากกว่าการออกแบบอาคารที่ไม่คำนึงถึงการประสานระบบซึ่งก่อให้เกิดผลเสียด้านการใช้พลังงาน งบประมาณ และ ระยะเวลาก่อสร้างที่นานเกินจำเป็น เหตุนี้ การศึกษาวิจัยจึงนำเสนอแนวทางการออกแบบประสานระบบที่เพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคาร โดยมุ่งเน้นการศึกษาหาตัวแปรและแสดงความสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลในการใช้พลังงาน ร่วมกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการประยุกต์ใช้ในการออกแบบสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่เป็นอาคารตัวอย่างซึ่งมีขนาดเหมาะสมและมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประสานระบบครบถ้วน

ตัวแปรและความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานที่ทำการศึกษาวิจัย ได้แก่ การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ โดยนำตัวแปรเหล่านี้มาจัดกลุ่มเพื่อศึกษาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยโปรแกรมโอทีทีวี เวอร์ชั่น 1.0 เอ (OTTVEE Version 1.0a) ผลที่ได้นำมาหาแนวทางในการออกแบบประสานระบบ และทอสอบประยุกต์ในการออกแบบเพื่อแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเปรียบเทียบกับอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่มีขนาดใกล้เคียงกันซึ่งออกแบบด้วยวิธีทั่วไปและการใช้งานที่เหมือนกัน

ผลการศึกษาวิจัย พบว่า กลุ่มตัวแปรต่างๆ มีอิทธิพลต่อการประหยัดพลังงานในอาคารแตกต่างกันดังนี้ สภาพแวดล้อมช่วยลดพลังงานลงได้ 59.5 เปอร์เซ็นต์ การออกแบบอาคารและระบบประกอบอาคารลดลงได้ 58.87 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับอาคารทั่วไป เป็นต้น สำหรับการใช้งานอาคารซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ พบว่าหากใช้ตรงตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบจะเป็นผลดี ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบในการออกแบบพบว่าการออกแบบที่คำนึงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดและประสานระบบเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสมสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมได้ถึง 3.1 เท่าเมื่อเทียบกับอาคารใช้เทคนิคการออกแบบทั่วไป โดยที่ค่าการก่อสร้างเท่าเดิม และผลจากการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของอาคารพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ลดลง 60.0 เปอร์เซ็นต์ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ลดลง 91.42 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างลดลง 42.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาคิดค่าไฟฟ้าพบว่าสามารถประหยัดลงได้ประมาณ 196,650 บาทต่อปี ดังนั้นแนวทางการออกแบบประสานระบบจึงเป็นอีกแนวทางไปสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพและตอบสนองคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคาร ด้วยสถาปนิกที่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแปร และระบบอาคารต่างๆ อย่างเพียงพอ เพื่อสามารถออกแบบประสานระบบได้อย่างเหมาะสม

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนักศึกษา .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2546

##4574144525: MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORD: INTEGRATED DESIGN / ENERGY/ SMALL PUBLIC BUILDING

NATTAPON JIRATTIKALKIT: AN INTEGRATED DESIGN APPROACH FOR INCREASING AN ENERGY MANAGEMENT IN SMALL PUBLIC BUILDING: **PROFESSOR Dr.SOONTORN BOONYATIKARN**, **143pp. ISBN** 974-17-5251-2

In addition, human need for building today is more complicated in terms of area requirements, building systems, and technologies that have an influence on integrated design approach, because of the lack of consideration on design approach as in the past leads to the flaws of buildings such as low energy performance, high construction cost, and long period of construction. The study aims at approach to an integrated design to increase energy by finding important factors and their relationship that have an influence on energy performance of the buildings, then comparison analysis of different influence on energy conservation in the building design with an integrated approach and the normal building. The case study focuses on small public buildings because they have suitable size and all relating factors to the integrated design.

The factors and their relationship in terms of energy efficiency studied in this research are, for example, energy consumption in air-conditioning system, lighting system, and other electrical appliances. The first step is to categorize all factors into groups and compare their influence on buildings with similar size by the use of OTTVEE Version 1.0a. Next step is using the result of the study to find out a proper integrated design approach that can reduce energy consumption in the building. The following process is to design a building accordign to the integrated approach and evaluate its energy efficiency by comparing with other typical buildings in the same size and function.

From the comparison, it is found that different groups of factors have different influence on energy conservation in the building designed with an integrated approach and the normal building as the followings. The environment can reduce energy consumption by 59.5 %. The design and building systems can save energy by 58.87 %. Even for building usage, which is an uncontrollable factor, the energy efficiency is better when the building is used in accordance with its true purpose. Moreover, the result of design comparison analysis shows that the design with consideration on the relationship of all factors and how to integrate them properly can save total energy up to 3.1 times at the same construction cost, compared with typical designed buildings. The OTTV decreases by 60.0 %, RTTV by 91.42 %, and lighting system by 42.9 %. Calculating in terms of electricity cost, the building can save around 196,650 Baht/ year. Accordingly, modern architects should have true and sufficient understanding in these factors and building systems that they can create an integrated design building with high efficiency and superior quality of living at the same time.

Department Architecture Student's signature

Field of study Building Technology Advisor's signature

Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตา กรุณา และความอนุเคราะห์จากบุคคลและสถาบันต่างๆเหล่านี้

1. ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ข้อสังเกต และคำปรึกษาอันเป็นแนวทางที่ให้ประโยชน์และมีคุณค่าอย่างยิ่งต่อการวิจัย
2. ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับอาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยประสานงานเอกสาร และเครื่องที่ใช้ในงานวิจัยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้
3. ขอขอบพระคุณสำหรับคุณกิติศักดิ์ อนันต์พูนผล และคุณณรงค์ฤทธิ์ จิณจันทรวงศ์ ที่ร่วมเป็นกำลังใจและช่วยตรวจสอบวิจารณ์ข้อมูลในการวิจัย เพื่อการพัฒนาผลการวิจัยที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
4. ขอขอบพระคุณสำหรับ คุณภัทราวดี สหพงศ์ คุณนฎา แสนราษฎร์ คุณสฤกา พงษ์สุวรรณ คุณศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ คุณเศรษฐวัฒน์ ศรีวิโรจน์ สำหรับข้อมูลงานวิจัยอันมีประโยชน์และข้อวิจารณ์สำหรับการพัฒนางานวิจัย
5. ขอขอบพระคุณสำหรับ บิดา มารดา คุณมยุรา วิไลนำโชคชัย ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา
6. ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆ สาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ร่วมทุกข์ร่วมสุขตลอดเวลาที่ได้ศึกษาในสถาบันนี้

ประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขออุทิศแก่ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่ทำให้สามารถสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ ..... ญ
สารบัญตาราง ..... ฐ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ **1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.4 สมมุติฐานในการวิจัย 4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
1.7 คำนิยามศัพท์ 6

บทที่ 2 การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง **12**
2.1 แนวทางการออกแบบประสานระบบในอาคาร 12
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน 19
2.3 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร 24
2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของความชื้น 40
2.5 สภาพแวดล้อมในปัจจุบัน 46

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย **58**
3.1 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา 59

3.2 วิธีการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบประสานระบบ 60
3.3 วิธีการแบ่งกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบประสานระบบ 66
3.4 วิธีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร 67
3.5 วิธีการศึกษาประยุกต์ใช้การออกแบบประสานระบบ 69

บทที่ 4 การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้อง **77**
4.1 การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร 77
4.2 การจัดกลุ่มตัวแปรทีมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร 85
4.3 การศึกษารายละเอียดกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม 87
4.4 การศึกษารายละเอียดกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับอาคารและระบบประกอบอาคาร 90
4.5 การศึกษารายละเอียดกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการใช้งานอาคาร 96
4.6 การประยุกต์ใช้แนวทางการออกแบบประสานระบบในการออกแบบ 98
4.7 การศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพด้านพลังงาน 111

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ **115**
5.1 การอภิปรายผลการศึกษา 115
5.2 สรุปผลการวิจัย 118
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม 119

รายการอ้างอิง **122**
ภาคผนวก **125**
ภาคผนวก ก การใช้งานโปรแกรม OTTVEE Version 1.0a 126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ **143**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 ความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อระบบต่างๆในอาคาร 14
รูปที่ 2.2 ระดับของการเชื่อมในการออกแบบประสานระบบ 16
รูปที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน 19
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการพาความร้อนจากจุด A ไปยังจุด B 21
รูปที่ 2.5 การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างโมเลกุลของผิววัสดุ 2 ชิ้น 22
รูปที่ 2.6 แสดงการดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน และการส่งผ่านความร้อน ของวัสดุ 23
รูปที่ 2.7 แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด 32
รูปที่ 2.8 แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยวัสดุ n ชนิด และ มีช่องว่างอากาศภายใน 33
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอน 38
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง 39
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอนติดตั้งร่วมกัน 39
รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของการศึกษาการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการพลังงานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก 59
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนของการรวบข้อมูลและการคัดเลือกข้อมูลให้มีความเหมาะสม
รูปที่ 3.3 แสดงกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร 67
รูปที่ 3.4 แสดงแนวโน้มอิทธิพลของแต่ละกลุ่มตัวแปรที่มีผลต่อกัน 68
รูปที่ 3.5 ผังพื้นของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบ 68
รูปที่ 3.6 รูปด้านของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบ 71
รูปที่ 3.7 รูปด้านของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบ 71
รูปที่ 3.8 รูปด้านของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบ 72
รูปที่ 3.9 ผังพื้นของอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไป 74

รูปที่ 3.10 รูปด้านของอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไป 74
รูปที่ 3.11 รูปด้านของอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไป 75
รูปที่ 4.1 แสดงรูปทรงอาคารที่มีโอกาสเกิดการรั่วซึมของอากาศในระดับที่ต่างกัน..... 92
รูปที่ 4.2 แสดงการกำหนดการควบคุมสภาพวะภายในอาคารตากการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอย 92
รูปที่ 4.3 แสดงการปรับปรุงสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร 101
รูปที่ 4.4 การกำหนดรูปทรงของอาคารโดยการคำนึงอิทธิพลของแสงแดดและการรั่วซึมของอากาศ 102
รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างของหลังคาที่มีการใช้ประโยชน์จากความต้านทานความร้อนในช่องอากาศใต้หลังคาและฉนวนใยแก้วที่มีความหนา 9 นิ้ว 106
รูปที่ 4.6 แสดงการกำหนดพื้นที่ใช้สอยในอาคารให้เหมาะสมกับการปรับอากาศ 109
รูปที่ 4.7 แสดงการประสานระบบในอาคารโดยการใช้แสงธรรมชาติ 110
รูปที่ 4.8 แสดงการประสานระบบในอาคารโดยการใช้ห้องเครื่องด้านล่าง 111
รูปที่ ก1 แสดงหน้าต่างในส่วนข้อมูลทั่วไป ของ OTTVEE Version. 1.0a 128
รูปที่ ก2 แสดงหน้าต่างในส่วนการแก้ไขข้อมูลผนังทึบ 129
รูปที่ ก3 แสดงหน้าต่างในส่วนการแก้ไขข้อมูลผนังโปร่งแสง 130
รูปที่ ก4 แสดงหน้าต่างในส่วนการแก้ไขข้อมูลหลังคาทึบ 133
รูปที่ ก5 แสดงหน้าต่างในส่วนการแก้ไขข้อมูลหลังคาโปร่งแสง..... 134
รูปที่ ก6 แสดงหน้าต่างในส่วนข้อมูลกรอบอาคาร 135
รูปที่ ก7 แสดงหน้าต่างในส่วนคำนวณค่า OTTV / RTTV 135
รูปที่ ก8 แสดงหน้าต่างในส่วนผลการคำนวณพลังงาน 139
รูปที่ ก9 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงรายละเอียดเป็นตัวเลขในแต่ละชั่วโมง 140
รูปที่ ก10 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟเส้นได้ทุกรายละเอียดเป็น 2 วัน ดังรูปคือกราฟของวันที่ 2-3 มกราคม 140
รูปที่ ก11 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟวงกลมแสดงสัดส่วนของภาระต่างๆของระบบปรับอากาศ ในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด..... 141
รูปที่ ก12 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟวงกลมแสดงสัดส่วนของภาคต่างๆจากกรอบอาคาร ในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด..... 141

รูปที่ ก13 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟแท่งแสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารในแต่ละเดือน 142
รูปที่ ก14 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟแท่งแสดงค่าพลังงานสูงสุดในแต่ละเดือน 142

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงรูปแบบความรับผิดชอบของผู้ออกแบบแต่ละระบบต่อการออกแบบอาคารในรูปแบบที่นิยมทั่วไป 2
ตารางที่ 2.1 BSHI Metric แสดงความเป็นไปได้ของการเชื่อมของระบบต่างๆ..... 17
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับผนังที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน..... 26
ตารางที่ 2.3 แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังหรือหลังคาแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์..... 26
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าตัวประกอบแก้สำหรับผนังในทิศต่างๆ..... 28
ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับหลังคาที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน 29
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าตัวประกอบแก้สำหรับหลังคาในทิศต่างๆ 30
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ..... 34
ตารางที่ 3.1 แสดงอาคารที่นำมาเป็นตัวอย่างและสาเหตุที่เลือกมาใช้..... 63
ตารางที่4.1 แสดงการใช้พลังงานรวมในอาคารของอาคารสาธารณะขนาดเล็ก 78
ตารางที่4.2 แสดงสัดส่วนของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารประเภทต่างๆ 80
ตารางที่4.3 แสดงค่าตัวประกอบแก้รังสีดวงอาทิตย์ในทิศทางต่างๆ..... 102
ตารางที่4.4 แสดงเอ็นทัลปีในทิศทางต่างๆ..... 102
ตารางที่4.5 แสดงผลการวิเคราะห์การเลือกทิศของทางเข้าอาคาร..... 103
ตารางที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของกระจกชนิดต่างๆ..... 106
ตารางที่ 4.7 แสดงการใช้พลังงานในอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบเปรียบเทียบกับอาคารทั่วไป..... 113
ตารางที่ 4.8 แสดงการใช้พลังงานการปรับอากาศของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบเปรียบเทียบกับอาคารทั่วไป 114
ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน..... 114

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าก่อสร้างเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไปและ
อาคารที่ออกแบบด้วยวิธีประสานระบบ..... 115

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่4.1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมในอาคารของอาคารสาธารณะขนาดเล็ก 79
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงสัดส่วนของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก 81
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิอากาศผสมที่เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวคอนกรีตกับอุณหภูมิอากาศปกติ พบว่าทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นสูงขึ้นเป็น 38 องศาเซลเซียส 99
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิอากาศผสมที่เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวหญ้าเปียกกับอุณหภูมิอากาศปกติ พบว่าทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นลดลงเป็น 29 องศาเซลเซียส 100
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังชนิดต่างๆ พบว่าผนัง EIFS เป็นผนังที่มีการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด 104
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบการแทรกซึมของความชื้นผ่านผนังชนิดต่างๆ พบว่าผนัง EIFS เป็นผนังที่สามารถป้องกันการแทรกซึมความชื้นได้มากที่สุด 105
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า OTTV , RTTV และไฟฟ้าแสงสว่าง ในอาคารที่ทำการศึกษา..... 112
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า OTTV , RTTV และไฟฟ้าแสงสว่างรวม ในอาคารที่ทำการศึกษา 113

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

การใช้พลังงานในอาคารเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ ซึ่งส่วนหนึ่งของความต้องการใช้พลังงานที่มากเกินความจำเป็นเกิดจากการความไม่เข้าใจของผู้ออกแบบที่รับผิดชอบต่อการออกแบบในระบบประกอบอาคารที่ต่างกัน เช่น งานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้าง การปรับอากาศ เป็นต้นไม่สามารถประสานงานกันได้ ดังนั้นการศึกษาเรื่องแนวทางการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก มีจุดมุ่งหมายที่หาแนวทางการประสานงานระหว่างผู้ออกแบบแต่ละระบบ ให้สามารถทำการออกแบบร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานในอาคาร โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการศึกษาปัญหา

นับแต่อดีตมนุษย์ได้เริ่มมีการพัฒนาขึ้นมา สถาปัตยกรรมได้เป็นตัวแทนแห่งความเจริญและเทคโนโลยีของยุคสมัย ซึ่งมนุษย์ได้พัฒนาความต้องการใช้งานสถาปัตกรรมมาโดยตลอด ในอดีตความต้องการใช้งานในอาคารไม่มีความซับซ้อน มีรูปแบบที่ชัดเจนและระบบประกอบอาคารที่น้อยมาก เช่น มีเพียงเปลือกอาคารและระบบโครงสร้าง ผู้ทำหน้าที่ออกแบบสามารถทำงานได้ด้วยตัวคนเดียวหรือกลุ่มเล็กๆ ที่สามารถจัดการความต้องการทั้งหมดไว้ได้

แต่ในปัจจุบันความต้องการใช้อาคารและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในการก่อสร้างได้เปลี่ยนไป ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและความต้องการทางสังคม ส่งผลต่องานสถาปัตยกรรมต้องสามารถตอบสนองความเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ด้วยการพัฒนาความต้องการใช้งานที่ซับซ้อนและมีระบบประกอบอาคารที่เพิ่มขึ้นจำนวนมาก เช่น ระบบเปลือกอาคาร ระบบโครงสร้าง ระบบปรับอากาศ ระบบสุขาภิบาล และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ส่งผลให้ต้องมีผู้ออกแบบหลายแขนงวิชาในการทำงาน เช่น สถาปนิก วิศวกรโยธา วิศวกรเครื่องกล วิศวกรไฟฟ้า ส่งผลให้ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความสอดคล้องของงานแต่ละระบบ ดังนั้นผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในทุกระบบพอสมควร เพื่อความราบรื่นในการประสานงานกัน

ปัญหาเรื่องการประสานงานที่ไม่มีประสิทธิภาพจึงกลายเป็นปัญหาสำคัญในการออกแบบยุคปัจจุบัน ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองมากเกินความจำเป็น เช่น สิ้นเปลืองพลังงานและเวลามากขึ้นในการทำงานเนื่องจากความขัดแย้งระหว่างระบบ งบประมาณก่อสร้างที่สูงเกินความจำเป็นเนื่องจากความซ้ำซ้อนในการออกแบบ เป็นต้น ในช่วงปลายทศวรรษที่ 70 จึงเกิดแนวความคิดเรื่องการประสานระบบขึ้น โดยเริ่มต้นในสหรัฐอเมริกา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้ผู้ออกแบบทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบต่างๆ ในอาคารและแนวทางในการประสานงาน (Richard D. Rush,1985)

The Building System Integration Handbook ได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมในการออกแบบสถาปัตยกรรมในยุคปัจจุบัน ซึ่งผู้ออกแบบในแต่ละระบบมีหน้าที่รับผิดชอบดังได้แสดงในตารางที่ 1.1 พบว่าการแบ่งหน้าที่ดังกล่าวไม่สามารถทำให้การประสานระบบเกิดประสิทธิภาพเนื่องจากไม่มีผู้ที่ทำหน้าที่ประสานการออกแบบในแต่ละระบบ ผู้ออกแบบแต่ละระบบจึงไม่สามารถทราบถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับระบบอื่นได้

ตารางที่ 1.1 แสดงรูปแบบความรับผิดชอบของผู้ออกแบบแต่ละระบบต่อการออกแบบอาคารในรูปแบบที่นิยมทั่วไป
ที่มา: ดัดแปลงจาก The Building System Integration Handbook (Richard D. Rush, 1985, p.269)

	รูปแบบของอาคาร	ความร้อน	คุณภาพอากาศ	เสียง	แสงและการมองเห็น	การประสานระบบ
สถาปนิก	●			○	○	●
วิศวกรเครื่องกล		●	●			
วิศวกรไฟฟ้า	●				○	
วิศวกรแสงสว่าง	○				●	
วิศวกรระบบเสียง				●		
วิศวกรโครงสร้าง	○					●
มัณฑนากร	●			○	○	●
ที่ปรึกษาพลังงาน		●	○		●	
เจ้าของอาคาร	●					●
ผู้รับเหมา			○			●
ผู้บริหารอาคาร		●	●		○	●
ผู้ใช้อาคาร	○				○	

สัญลักษณ์ : ● หน้าที่ความรับผิดชอบสูงสุดต่อการออกแบบ ○ หน้าที่ความรับผิดชอบรองลงมา

เมื่อนำแนวคิดข้างต้นมาวิเคราะห์การออกแบบอาคารในประเทศไทยพบว่า ในกระบวนการออกแบบโดยทั่วไปยังไม่มีความเข้าใจในการประสานระบบ ซึ่งผลที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือการใช้พลังงานในอาคารจำนวนมาก ซึ่งปัจจุบันการใช้พลังงานในอาคารของประเทศไทยโดยเฉพาะในภาคของที่อยู่อาศัยและภาคธุรกิจมีสัดส่วนที่สูงมาก โดยจากฐานข้อมูลพลังงานในครึ่งปีแรกของปีพ.ศ. 2546สัดส่วนการใช้พลังงานในทั้ง 2 ภาคนี้คิดเป็นร้อยละ 46.2 ของการใช้พลังงานรวมในประเทศ ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 จากปี พ.ศ.2545 (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2546) ทั้งนี้เป็นเพราะผู้ออกแบบโดยส่วนใหญ่ไม่ทราบถึงผลกระทบด้านพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละระบบของอาคาร

ในการวิจัยนี้เป็นการนำร่องของการศึกษาการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคาร และได้คัดเลือกอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่พบเห็นได้จำนวนมากมาเป็นตัวอย่างในการศึกษา เนื่องจากมีขนาดที่เหมาะสมแก่เวลาที่ทำการศึกษา มีระบบประกอบอาคารที่ค่อนข้างครบถ้วน และมีลักษณะเด่นในการใช้พลังงานเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศจากการเข้าออกอาคารที่แตกต่างจากบ้านพักอาศัยทั่วไป ซึ่งเมื่อทำการศึกษาแล้วมีโอกาสในการประยุกต์ตัวแปรที่พบใช้กับอาคารขนาดอื่นได้มากกว่า

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยใน เรื่องการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการพลังงานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก
2. ทำการจัดกลุ่มและแบ่งประเภทของตัวแปรข้างต้น พร้อมหาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรที่เกิดขึ้น โดยมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะอิทธิพลด้านการใช้พลังงานในอาคารระหว่างกลุ่มตัวแปร
3. ประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการพลังงานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก ด้วยการทดลองออกแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็ก และวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารประกอบเป็นแนวทางการประหยัดพลังงานภายในอาคาร ด้วยการประยุกต์แนวความคิดในการออกแบบจริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก จำเป็นต้องศึกษาตัวแปรจำนวนมาก ซึ่งการนำมาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จะต้องใช้ระยะเวลามาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตการศึกษาเพื่อให้ผลตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ดังนี้

1. ในการศึกษาให้ความสำคัญกับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก ที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยเท่านั้น เพื่อความสะดวกและคล่องตัวและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบจริง
2. ศึกษาเฉพาะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประสานระบบในอาคารสาธารณะขนาดเล็กเท่านั้น ส่วนตัวแปรอื่นที่ไม่ได้ปรากฏในอาคารสาธารณะขนาดเล็กจะระบุในข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถวิจัยหรือศึกษาเพิ่มเติมได้อย่างสะดวก
3. เป็นการศึกษาหาข้อมูลประกอบเพื่อหาข้อสรุป ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของเวลาจึงใช้วิธีการสร้างหุ่นจำลองที่มีเหมาะสมประกอบกับการจำลองสภาพ(Simulation) พร้อมใช้กรณีศึกษาจากอาคารจริง เพื่อการเปรียบเทียบและสรุปผล
4. การวิจัยจะประกอบด้วยการคาดการณ์ศักยภาพโดยการค้นหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่กำหนดไว้ และเนื่องจากช่วงเวลาการวิจัยมีจำกัดแต่จำเป็นที่จะต้องหาข้อสรุปให้ครอบคลุมที่ชัดเจนเป็นไปโดยลำบาก ผู้วิจัยจึงเสนอเพียงรูปความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ส่วนระดับความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญนั้นจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

1.4 สมมุติฐานในการวิจัย

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมมนุษย์และศักยภาพในการพัฒนาการออกแบบอาคารในยุคปัจจุบัน จึงมีสมมุติฐานสำหรับการวิจัยคือ

“มีความเป็นไปได้ในการออกแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็ก ที่ผู้ออกแบบสามารถคำนึงถึงอิทธิพลของระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันโดยตรงกับการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยการประสานระบบต่างๆ ในการออกแบบให้เหมาะสม เพื่อการประหยัดพลังงาน ลดต้นทุนในการก่อสร้าง และเพิ่มความสะดวกในการบำรุงรักษา”

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสังเคราะห์ โดยมีการศึกษาหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็กและหาความสัมพันธ์ตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาเพื่อทราบถึงอิทธิพลของตัวแปร จากนั้นจึงทำการทดลองนำตัวแปรที่ค้นพบมาทำการออกแบบเพื่อหาประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนในการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน สามารถกล่าวโดยสรุปดังนี้

1. ค้นหาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกับการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก โดยได้มีการจำกัดลักษณะของตัวแปรดังนี้

1.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา (Study Variable)

1.1.1 ตัวแปรต้น(Independent Variable)

- อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร
- อิทธิพลของรูปแบบของอาคารและเทคนิคการก่อสร้างที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร
- อิทธิพลของการใช้งานอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

1.1.2 ตัวแปรตาม(Dependent Variable)

- จำนวนและลักษณะของตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

1.2 ตัวแปรที่ไม่ได้ทำการศึกษา(Non-study Variable)

- เทคโนโลยีที่มีการพัฒนาขึ้นมาใหม่ระหว่างการวิจัย
- ข้อมูลพื้นฐานด้านสภาพภูมิอากาศ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการวิจัยซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมได้
- ความต้องการพื้นที่ใช้สอยของอาคาร

2. นำตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่ได้ค้นพบในข้อที่ 1 มาจัดการแบ่งกลุ่มเพื่อความสะดวกในการศึกษา

3. หาความสัมพันธ์ของตัวแปรในแต่ละกลุ่ม เพื่อทำการหาอิทธิพลที่มีต่อการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

4. ทดลองนำอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคาร เพื่อหาประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในอาคาร

5. นำอาคารที่ได้ทดลองออกแบบมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับอาคารที่ก่อสร้างด้วยรูปแบบที่นิยมกันทั่วไป เพื่อหาข้อดีและข้อเสียของการออกแบบประสานระบบ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง การออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก ก่อให้เกิดผลประโยชน์อย่างสูงสำหรับผู้ที่ทำการศึกษาและบุคคลทั่วไป โดยสามารถนำผลการวิจัยดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็กให้มีการใช้พลังงานลดลง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ทราบถึงความสัมพันธ์และอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลต่อการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

2. ได้เกณฑ์เพื่อช่วยในการออกแบบและรูปแบบเพื่อเป็นตัวอย่างของการออกแบบประสานระบบที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานสูงกว่าอาคารทั่วไป

3. หน่วยงานราชการและเอกชนที่เกี่ยวข้องสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารที่มีศักยภาพสูงในการประหยัดพลังงาน ส่งผลให้เกิดการพัฒนาในเชิงธุรกิจและการค้า

4. แนวคิดการประหยัดพลังงาน ทำให้ลดการบริโภคและพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ คงสภาพแวดล้อมที่ดีและช่วยพัฒนาพื้นที่สภาพแวดล้อมทรุดโทรมให้ดีขึ้นได้โดยปราศจากมลพิษ

5. สามารถประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆได้ เพราะได้ทำการศึกษาวิจัยตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประสานระบบแล้ว เพียงแต่ผู้นำไปใช้ต้องประยุกต์ให้เหมาะสมกับอาคารที่ได้ทำการออกแบบ

1.7 คำนิยามศัพท์

1. **การประสานระบบ** (Integrated Design) หมายถึง การออกแบบสถาปัตยกรรมโดยการคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ เป็นอย่างดี และได้รับการประสานงานระหว่างผู้ออกแบบในแต่ละสาขาวิชา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียจากการออกแบบ

2. **การลอยตัวของอากาศร้อน** (Stack Effect / Chimney Effect) คือ ปรากฏการณ์ที่อากาศร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น จึงลอยตัวสูงขึ้นไปในอากาศเบื้องบน ทำให้อุณหภูมิ

ของอากาศที่จุดสูงสุดสูงกว่า(ร้อนกว่า) อุณหภูมิที่อยู่ข้างล่าง ในกรณีนี้หากมีช่องเปิดทั้งด้านล่างและด้านบน ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศออกทางส่วนบนสุดของอาคาร และอากาศดังกล่าวจะถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เย็นกว่าจากช่องเปิดด้านล่าง

3. **การหน่วงเหนี่ยวความร้อน** (Thermal Time Lag, Time Lag) ส่วนใหญ่จะนิยมใช้คำว่า “Time Lag” แทนคำว่า “Thermal Time Lag” ในความหมายเดียวกันซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่ความร้อนเคลื่อนที่จากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังหรือหลังคาอาคาร กระบวนการเคลื่อนที่ของความร้อนดังกล่าวอาจเกิดขึ้นล่าช้าออกไปอันเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของมวลสารและความจุความร้อนของผนัง

4. **เขตสบาย หรือ โซนสบาย** (Comfort Zone) เป็นขอบเขตของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อน-หนาวของมนุษย์ โดยทั่วไปหมายถึง โซน (Zone) ที่มนุษย์ตัดสินไม่ได้ว่าร้อนหรือหนาว สภาวะดังกล่าวที่มนุษย์ไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกของมนุษย์ 6 ตัวแปร ได้แก่

1. อุณหภูมิอากาศ (Air temperature)
2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)
3. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)
4. ความเร็วลม (Air velocity)
5. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism rate)
6. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value)

ขณะนี้ยังมีข้อโต้แย้งกันในเรื่องของเขตสบายที่แท้จริงของมนุษย์ บ้างก็มีความเห็นว่า เขตสบายของมนุษย์ที่อยู่ในภูมิภาคหรือโซนที่แตกต่างกันทั่วโลกจะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เขตสบายของคนเมืองหนาวจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเขตสบายของคนเมืองร้อน เป็นต้น ข้อถกเถียงนี้ยังไม่อาจพิสูจน์ได้แน่ชัดนัก แต่ได้มีผู้ทำการวิจัยที่นำกลุ่มตัวอย่างของมนุษย์จากโซนต่างๆ ของโลกมาทำการทดลอง โดยให้กลุ่มบุคคลตัวอย่างปรับสภาพร่างกายให้เป็นปกติก่อนทำการทดลอง ผลการทดลองสรุปได้ว่าเขตสบายของมนุษย์ทุกคนในโลกมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม มีหลายท่านเชื่อว่าเขตสบายของคนเมืองร้อนน่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่าคนเมืองหนาว ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นจริงขอบเขตของเขตสบายก็อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสม

ในการวิจัยนี้ได้ยึดถือเอาเขตสบายที่ได้ทำการศึกษาโดย Olgyay และ Fanger (1967) มาเป็นเกณฑ์ ทำให้ได้ข้อสรุปในเชิงสถิติว่า ขอบเขตของเขตสบายของสมาชิกในครอบครัวค่อนข้างแคบมาก โดยยังไม่ปรากฏว่ามีผู้ใดสามารถบอกได้ว่าในขอบเขตดังกล่าวร้อนหรือหนาวได้แม้แต่คนเดียว ในขณะที่เมื่ออุณภูมิสูงขึ้นเป็น 26 องศาเซลเซียส จะมีบ้างที่เริ่มรู้สึกร้อน (มีนัยสำคัญในเชิงสถิติที่ระดับ 0.05) ทั้งหมดนี้เป็นการวิจัยเบื้องต้นโดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอื่นๆ นอกเหนือจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ คือ

1. เสื้อผ้าที่สวมใส่เป็นชุดลำลองหรือชุดนอนบางๆ
2. ความเร็วลมภายในห้องประมาณ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 50 ฟุตต่อนาที
3. ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกายและสภาพแวดล้อมรอบตัวใกล้เคียงกันมาก
4. กิจกรรมประกอบด้วย การสนทนา การอ่านหนังสือ หรือเดินไปมาแบบปกติ

5. **ความจุความร้อน** (Heat Capacity) หมายถึง ความสามารถในการกักเก็บความร้อนของสสาร ถ้าสสาร 2 ชนิดมีความจุความร้อนต่างกันแล้วจะพบว่า สสารที่มีความจุความร้อนมาก เมื่อได้รับความร้อนก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่าสสารที่มีความจุความร้อนน้อย ในอาคารมีสสารที่จัดว่ามีความจุความร้อนมากหลายชนิด เช่น คอนกรีต หิน อิฐ เป็นต้น สำหรับการประหยัดพลังงานในด้านระบบปรับอากาศพบว่า ห้องใดที่มีค่าความจุความร้อนมาก (เช่น ห้องที่มีผนังทำด้วย ค.ส.ล.) เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศครั้งแรก จะต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศมากกว่าห้องที่มีความจุความร้อนน้อย (เช่น ห้องที่มีผนังทำด้วยไม้อัด หรือ ยิบซั่มบอร์ด) ส่วนใหญ่ในเรื่องของการประหยัดพลังงาน เมื่อกล่าวถึงเรื่องของมวลสาร (Mass) จะพบว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก ก็จะมีความจุความร้อนมากด้วย ดังนั้นบ่อยครั้งจึงมักใช้คำว่า มวลสาร แทนความหมายของคำว่า ความจุความร้อน

6. **ความร้อนแฝง** (Latent Heat) หมายถึง ความร้อนที่ให้หรือดึงออกจากสสาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะ โดยที่อุณหภูมิยังคงที่อยู่

7. **ความร้อนสัมผัส** (Sensible Heat) หมายถึง ความร้อนหรืออุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกได้

8. **ซีโอพี** (COP) เป็นคำย่อภาษาอังกฤษมาจากคำว่า Coefficient of Performance ในด้านที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศ หรือ Energy Output มีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมง (Btu / h) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน

ระบบปรับอากาศ หรือ Energy Input มีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมง ตัวอย่างเช่น ถ้าเครื่องปรับอากาศที่มีความสามารถในการทำความเย็นได้เท่ากับ 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง แต่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นเท่ากับ 1,000 วัตต์ เมื่อแปลงหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมง จะเท่ากับ 1,000 x 3.412 = 3,412 บีทียูต่อชั่วโมง ดังนั้นหมายความว่า เครื่องปรับอากาศเครื่องนี้มีค่า COP เท่ากับ 12,000 / 3,412 = 3.51 เป็นต้น

9. **บีทียู** (Btu) คือ หน่วยที่ใช้วัดพลังงานความร้อน โดยกำหนดให้ปริมาณความร้อน 1 บีทียู หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ ร้อนขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์

10. **เปลือกอาคาร** (Building Envelope) หมายถึง ทุกๆ ส่วนของอาคารที่สัมผัสกับอากาศภายนอก

11. **ผู้ออกแบบ** หมายถึง บุคคลหรือกลุ่มบุคคลซึ่งมีความรู้ ความสามารถ และความเชี่ยวชาญในการออกแบบ โดยการศึกษานี้หมายถึงสถาปนิกและวิศวกรระบบต่างๆ

12. **แผนภูมิไบโอไคลเมติก** (Bioclimatic Chart) เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อแสดงให้เห็นขอบเขตหรือสภาวะที่คนเราไม่รู้สึกร้อนและไม่รู้สึกหนาว แผนภูมิดังกล่าวได้ทำการศึกษาโดย Olgyay ซึ่งกำหนดเงื่อนไขนอกจากตัวแปรอื่นๆ คือ

1. อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมมีค่าเท่ากัน
2. ความเร็วลมค่อนข้างต่ำมาก (จนแทบไม่มีการเคลื่อนไหวของอากาศ)
3. กิจกรรมเป็นแบบปกติ อาทิเช่น นั่งพักผ่อน หรืออ่านหนังสือ
4. เสื้อผ้าที่สวมใส่เป็นแบบลำลอง

13. **ลมจ่าย** (Supply Air) หมายถึง อากาศที่ถูกปล่อยหรือส่งเข้าสู่ห้องหรือพื้นที่โดยใช้วิธีกล

14. **ลูเมน** (Lumen) คือ หน่วยที่ใช้วัดปริมาณพลังงานแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง จากคำจำกัดความ พลังงานแสงสว่าง 1 ลูเมน หมายถึง พลังงานที่ได้จากเทียนมาตรฐานขนาด 1 กำลังเทียนที่ตกกระทบบนพื้นที่ 1 ตารางฟุต โดยมีระยะห่างจากเทียนมาตรฐาน 1 ฟุต จากคำจำกัดความนี้จะ

พบว่า เทียนมาตรฐานขนาด 1 กำลังเทียนจะมีพลังงานแสงสว่างที่เปล่งออกมาเท่ากับ 12.57 ลูเมน หน่วยนี้ใช้เป็นมาตรฐานในการวัดปริมาณแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงทั่วๆไป

15. **สภาวะน่าสบาย** หมายถึง สภาวะที่ร่างกายไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวจนเกินไป หรือร่างกายอยู่ในเขตสบาย

16. **สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน** (Heat Transfer Coefficient หรือ U-value) คือ ปริมาณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการพาต่อหนึ่งองศาของความแตกต่างระหว่างด้านที่ร้อนกว่าไปยังพื้นผิวด้านที่เย็นกว่า ในระบบ SI หน่วยของค่า U เป็นวัตต์ต่อตารางเมตรต่อความแตกต่างอุณหภูมิ 1 เคลวิน($W/m^2.K$) ในขณะที่ในระบบ I-P มีหน่วยเป็นบีทียูต่อตารางฟุตต่อชั่วโมงต่อความแตกต่างอุณหภูมิ 1 องศาฟาเรนไฮต์ ($Btu / ft^2.h.F$)

ในการคำนวณค่า U สามารถหาได้จากส่วนกลับของค่าความต้านทานรวม (ค่า R) โดยที่ค่า R เป็นผลรวมของค่าความต้านทานของผนังทั้งหมดและค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศภายนอก ด้วยเหตุนี้ความเร็วลมจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า R และค่า U ด้วย เนื่องจากเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลงไป ค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย (รายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องนี้สามารถศึกษาจาก ASHRAE Handbook of Fundamental)

17. **สัมประสิทธิ์การบังแดด หรือ ค่า SC** (Shading Coefficient) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังกระจกหรือช่องแสงเข้ามาต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังกระจกใสที่มีความหนา 1/8 นิ้วเข้ามา โดยที่ Reference glass คือ กระจกใสหนา 1/8 นิ้ว ที่มีมุมตกกระทบในแนวตั้งฉาก (Normal Incident Angle) มีค่าการยอมให้แสงผ่าน (Solar Transmission) = 0.86 มีค่าการสะท้อนรังสี = 0.08 และมีค่าการดูดซับความร้อน = 0.06 ดังนั้น กระจกอ้างอิงจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด หรือค่า SC = 1

18. **อากาศภายนอก** (Outside Air) หมายถึง อากาศที่อยู่หรือนำเข้าจากภายนอกอาคาร

19. **อากาศเสีย** (Exhaust Air) หมายถึง อากาศอื่นๆ ที่ไม่ใช่ลมกลับที่จะต้องปล่อยทิ้งออกนอกอาคารโดยวิธีกล

20. **อากาศหมุนเวียน** (Recirculating Air) หมายถึง ส่วนของอากาศจากห้องที่มีการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีกล

21. **อาคารที่ออกแบบโดยอาศัยแนวทางการออกแบบประสานระบบ** หมายถึง อาคารตัวอย่างที่ใช้ทำการศึกษาโดยได้ประยุกต์แนวความคิดการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

22. **อาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไป** หมายถึง อาคารตัวอย่างที่ใช้ทำการศึกษาโดยได้ประยุกต์แนวคิดที่พบเห็นโดยทั่วไป เช่น การใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูน การใช้โครงสร้างเสาและคาน เทคนิคการก่อสร้างที่ไม่สามารถป้องกันสะพานความร้อน เป็นต้น

23. **อาคารสาธารณะขนาดเล็ก** (Small Public Building) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้หมายถึง อาคารที่สามารถให้บุคคลทั่วไปสามารถเข้าไปใช้สอย ซึ่งในหนึ่งวันจะมีการเข้าหรือออกจากอาคารดังกล่าวจำนวนหลายครั้ง โดยมีพื้นที่ใช้สอยไม่เกิน 400 ตารางเมตร ความสูงไม่เกิน 12 เมตร และมีการปรับอากาศภายในอาคาร

24. **อีอีอาร์** (EER) เป็นภาษาอังกฤษย่อมาจากคำว่า Energy Efficiency Ratio ในด้านที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมง (Btu / h) ต่อพลังงานที่ใช้ในการทำความเย็น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) ตัวอย่างเช่น ถ้าเครื่องปรับอากาศที่มีความสามารถในการทำความเย็นได้เท่ากับ 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง แต่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นเท่ากับ 1,000 วัตต์ ก็หมายความว่า เครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นมีค่า EER เท่ากับ 12,000 / 1,000 = 12 เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบประสานระบบ (Integration Design) เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้การออกแบบสถาปัตยกรรมมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีวัตถุประสงค์ในการประสานองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบในอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบที่สูงเกินความจำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานอาคาร ในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นการประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคาร หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการลดความต้องการใช้พลังงานในอาคารที่มากเกินความจำเป็น ดังนั้นสถาปนิกซึ่งเป็นผู้ออกแบบหลักในโครงการจึงต้องมีความรอบรู้อย่างสูงเกี่ยวกับระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารและการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อที่จะสามารถกำหนดเป้าหมายของการใช้พลังงานในอาคารได้ตั้งแต่การออกแบบขั้นต้น

ในการศึกษาทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจึงต้องศึกษาเกี่ยวกับ หลักการประสานระบบ และพื้นฐานการถ่ายเทความร้อนและความชื้น รวมไปถึงการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมในอาคารตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจในการศึกษาต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. แนวทางการออกแบบประสานระบบในอาคาร
2. ทฤษฎีพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน
3. การคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน
4. ทฤษฎีพื้นฐานของความชื้น
5. สภาพแวดล้อมในปัจจุบัน

2.1 แนวทางการออกแบบประสานระบบในอาคาร

ในการศึกษาเรื่องการออกแบบประสานระบบ มีทฤษฎีหรือแนวคิดที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งประกฏในหนังสือ The Building System Integration Handbook ของสถาบันสถาปนิกอเมริกา (AIA) ซึ่งรวบรวมโดย Richard D. Rush ในปี ค.ศ.1985 มีเนื้อหาโดยสรุปได้ดังนี้

2.1.1 กลุ่มงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประสานระบบ

การออกแบบประสานระบบได้ถูกกำหนดโดยสถาบันสถาปนิกอเมริกา แบ่งกลุ่มงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประสานระบบออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

1. ระบบโครงสร้างอาคาร(Building Structure)
2. ระบบกรอบรูปอาคาร(Building Envelope)
3. ระบบประกอบอาคาร(Building Mechanical Systems)
4. ระบบกรอบภายในอาคาร(Building Interior)

2.1.1.1 ระบบโครงสร้างอาคาร

หมายถึง ส่วนประกอบที่ทำให้อาคารสามารถดำรงมั่นคงอยู่ได้ ไม่ว่าอาคารจะออกแบบโดยระบบก่อสร้างใดๆก็ตาม อาทิเช่น ระบบผนังรับน้ำหนัก ระบบเสาและคาน ระบบเปลือกบาง ระบบโครงข้อแข็ง ระบบโครงข้อหมุน เป็นต้น ซึ่งการเลือกระบบโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับปะเภทอาคารและความต้องการของผู้ออกแบบ ซึ่งผู้ที่มีหน้าที่ดูแลระบบโครงสร้างอาคารคือ วิศวกรโครงสร้าง

2.1.1.2 ระบบกรอบรูปอาคาร

ระบบกรอบอาคาร หรือเรียกว่า “ระบบเปลือกอาคาร” หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มอาคารและเป็นสิ่งที่กำหนดรูปร่างหน้าตาของอาคาร มีหน้าที่ป้องกันพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารออกจากสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งในระบบนี้ได้รวมถึง ผนังอาคาร พื้น หลังคา เป็นต้น ซึ่งผู้ที่มีหน้าที่ดูแลระบบกรอบรูปอาคาร ได้แก่ สถาปนิก

2.1.1.3 ระบบประกอบอาคาร

ระบบประกอบอาคารเป็นระบบที่มีความซับซ้อน เนื่องจากมีงานที่หลากหลายลักษณะรวมอยู่ในระบบนี้ เช่น ระบบการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารและระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้า ระบบแสงสว่าง ระบบน้ำใช้และน้ำทิ้ง ลิฟต์ บันไดเลื่อน รวมไปถึงระบบควบคุมอาคาร เป็นต้น ระบบเหล่านี้มักจะเป็นระบบที่ประสานกับระบบอื่นๆได้เป็นอย่างดี ผู้ที่มีหน้าที่ดูแลระบบนี้ๆ ได้แก่ วิศวกรสาขาต่างๆ

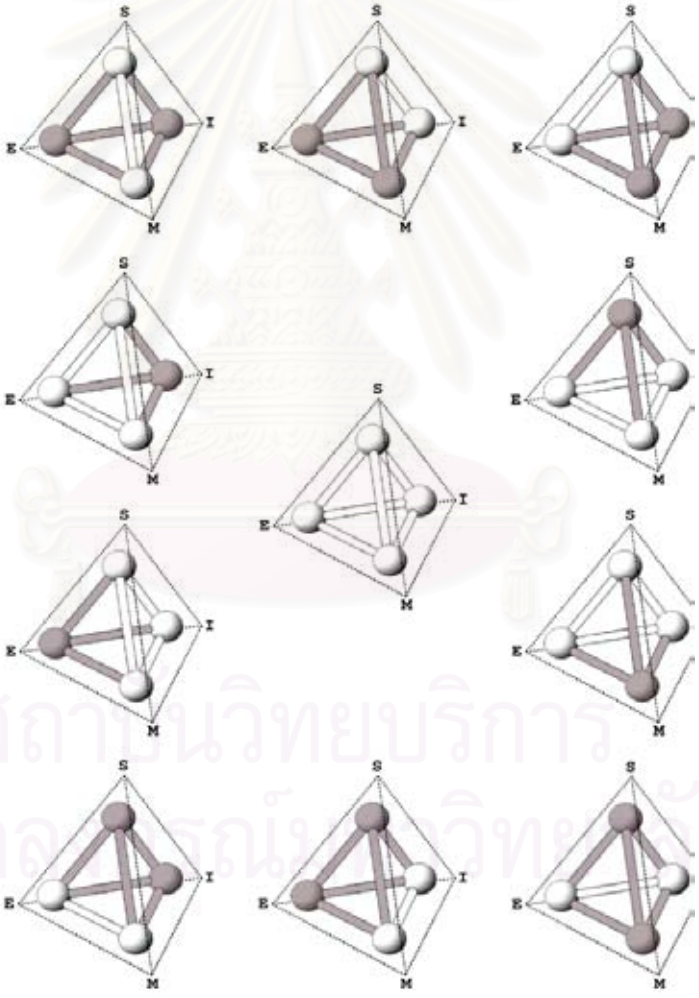
2.1.1.4 ระบบกรอบภายในอาคาร

ระบบกรอบภายในอาคาร หรือ ระบบเปลือกภายในอาคาร ในการศึกษาเรื่องการออกแบบประสานระบบนี้ระบบกรอบภายในหมายความถึงทุกสิ่งทุกอย่างที่สามารถมองเห็นได้ภายในอาคาร ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของผู้ใช้อาคาร (อาจไม่รวมถึงส่วนที่เป็นส่วนระกอบของระบบประกอบอาคาร ยกเว้นที่ผู้ออกแบบตั้งใจให้ระบบนั้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบ

กรอบภายในอาคาร ผู้ที่รับผิดชอบในส่วนนี้จะมีหลากหลายมากอัน ได้แก่ ผู้ตกแต่งภายใน สถาปนิก และวิศวกร

2.1.2 การเชื่อมต่อของระบบต่าง ๆ

จากการศึกษากลุ่มงานของการออกแบบประสานระบบ พบว่า มีกลุ่มงานหลักอยู่ 4 กลุ่มงานด้วยกัน แต่ในการออกแบบจริงนั้นในแต่ละส่วนของอาคารไม่จำเป็นต้องมีกลุ่มงานครบทั้ง 4 กลุ่ม หรืออาจจะมีกลุ่มงานครบทั้ง 4 กลุ่ม แต่ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อในระดับเดียวกันก็ได้เช่นกัน จากการศึกษาพบว่า เราสามารถนำระบบต่างๆมาเชื่อมต่อกันได้ตั้งแต่ 2 ถึง 4 ระบบก็เป็นได้ ซึ่งอาจจะศึกษาความเป็นไปได้ในการประสานระบบจากภาพที่2.1



รูปที่2.1 ความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อระบบต่างๆในอาคาร (Possible Combinations of Building Systems; Richard D. Rush,1985)

จากภาพที่ 2.1 S หมายถึงระบบโครงสร้าง, E หมายถึงระบบกรอบรูปอาคาร, M หมายถึงระบบประกอบอาคาร และ I หมายถึงระบบกรอบรูปภายในอาคาร ส่วนที่เป็นสีขาวหมายถึงส่วนที่ระบบเชื่อมต่อกัน

2.1.3 ระดับการเชื่อมต่อของการออกแบบประสานระบบ

สถาบันสถาปนิกอเมริกา(AIA) ได้แบ่งระดับการเชื่อมต่อออกเป็น 5 ระดับ (Richard D. Rush,1985) ด้วยกันตามลักษณะการเชื่อมต่อทางกายภาพ คือ

1. ระดับห่าง(Remote)
2. ระดับแตะ หรือสัมผัส(Touching)
3. ระดับเชื่อม(Connected)
4. ระดับกึ่งรวม(Meshed)
5. ระดับรวมสนิท(Unified)

2.1.3.1 ระดับห่าง

หมายถึง ไม่มีการสัมผัสกันเลยในทางกายภาพ เช่น ผิวผนังภายในกับผิวผนังภายนอก ซึ่งอยู่ในระบบกรอบรูปอาคารและระบบกรอบรูปภายในอาคาร เป็นต้น

2.1.3.2 ระดับแตะหรือสัมผัส

หมายถึง มีการสัมผัสกันแต่ไม่มีการเชื่อมต่อกันทางกายภาพโดยวัสดุเชื่อมต่างๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ที่ตั้งอยู่บนพื้น โดยไม่มีวัสดุเชื่อมเฟอร์นิเจอร์นั้นให้ติดกับพื้น ซึ่งเฟอร์นิเจอร์อยู่ในระบบกรอบรูปภายในอาคารและพื้นอยู่ในระบบโครงสร้างอาคาร เป็นต้น

2.1.3.3 ระดับเชื่อม

หมายถึง ระบบต่างๆมีการสัมผัสกันและเชื่อมต่อกันด้วยวัสดุเชื่อม เช่น การเชื่อมไฟฟ้า(Welds), โบลท์ (Bolts) เป็นต้น ซึ่งการเชื่อมต่อดังกล่าวเป็นการเชื่อมต่ออย่างถาวร ตัวอย่างเช่นการทำฝ้าเพดานที่มีการห้อยโครงคร่าวของฝ้าเพดานกับโครงหลังคา โดยการใช้ลวดสลิงและโบลท์ยึดสลิงกับโครงหลังคา ซึ่งสลิงนั้นเป็นส่วนหนึ่งของฝ้าเพดานที่อยู่ในระบบกรอบรูปภายในอาคาร และโครงหลังคาเป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้าง เป็นต้น

2.1.3.4 ระดับกึ่งรวม

หมายถึง ระบบต่างๆมีการใช้พื้นที่ในการวางระบบร่วมกัน เมื่อมองในทางกายภาพอาจจะพบว่าเหมือนระบบนั้นอยู่ในระดับของการเชื่อม แต่ความพิเศษก็คือการใช้พื้นที่ร่วมกันเพื่อลดการสูญเสียพื้นที่โดยไม่จำเป็นและทำให้ระบบต่างๆสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างสะดวก

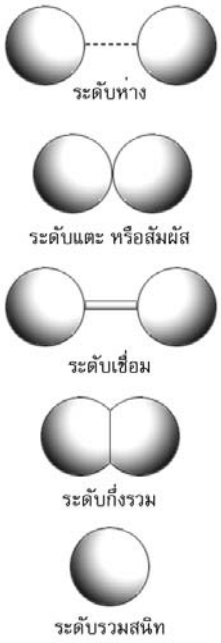
และง่ายต่อการดูแลรักษา ตัวอย่างของการเชื่อมในระดับนี้มีให้พบเห็นมากมาย เช่นการทำช่องท่อ(Shaft) การเดินท่อใต้ฝ้าเพดาน เป็นต้น

ความยากของการเชื่อมในระดับนี้ คือความเป็นไปได้และประสิทธิภาพในการรวมระบบ บางครั้งพบว่าเมื่อมีการรวมระบบในระดับนี้แล้ว อาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงไปได้ เช่น การรวมระบบท่อน้ำใช้กับระบบสายไฟในช่องท่อเดียวกันเป็นสิ่งที่อันตรายและไม่ควรทำอย่างยิ่ง เพราะน้ำอาจจะทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงต้องพิจารณาความเป็นไปได้ในการรวมระบบด้วย

2.1.3.5 **ระดับรวมสนิท**

หมายถึง การรวมระบบในระดับสูงที่สุด ด้วยการออกแบบให้เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ตัวอย่างมีให้พบเห็นอยู่โดยทั่วไป เช่น หัวจ่ายระบบปรับอากาศที่เป็นส่วนหนึ่งของฝ้าเพาดาน หรือหลอดไฟที่เป็นส่วนหนึ่งของฝ้าเพดาน (ระบบประกอบอาคารรวมกับระบบกรอบภายในอาคาร) ผนังCurtain Wall ซึ่งเป็นทั้งระบบโครงสร้างอาคารและระบบเปลือกอาคาร เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าการเชื่อมในระดับนี้ก็มีให้พบเห็นอยู่โดยทั่วไป แต่สิ่งสำคัญคือประสิทธิภาพของการรวมระบบ ที่จะทำให้ระบบที่รวมกันนั้นมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงที่สุด



รูปที่ 2.2 (ซ้าย) ระดับของการเชื่อมในการออกแบบประสานระบบ (Richard D. Rush,1985)

จากภาพเป็นการแสดงสัญลักษณ์ ของการเชื่อมต่อระบบในระดับต่างๆกัน ซึ่งระดับของการเชื่อมแบบ ระดับห่าง ระดับแตะและระดับเชื่อมนั้น สามารถพบเป็นได้โดยทั่วไปในการออกแบบ โดยที่ผู้ออกแบบอาจจะตั้งใจหรือไม่ก็ได้ ในขณะที่ระดับการเชื่อมแบบระดับกึ่งรวม และระดับรวมสนิทนั้น ผู้ออกแบบต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษ หมายความว่า ผู้ออกแบบตั้งใจให้มีการเชื่อมต่อระบบในระดับนี้ และผู้ออกแบบเองก็ต้องมีความรู้ความเข้าใจในระบบที่ต้องการเชื่อมเป็นอย่างดี

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการเชื่อมระบบต่างๆเข้าด้วยกันนั้น พบว่าทุกระบบสามารถเชื่อมต่อกันได้แต่ในบางระบบและบางระดับ การเชื่อมต่อนั้นไม่สามารถเป็นไปได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่2.1

ตารางที่2.1 BSHI Metric แสดงความเป็นไปได้ของการเชื่อมของระบบต่างๆ

	ระดับห่าง	ระดับแตะ	ระดับเชื่อม	ระดับกึ่งรวม	ระดับรวมสนิท
S+E		●	●		●
S+M			●	●	
S+I		●	●		●
E+M			●	●	
E+I	●	●	●		●
M+I			●	●	●

ช่องที่มีสัญลักษณ์ ● หมายความว่ามีความเป็นไปได้ที่จะมีการเชื่อมระบบในระดับที่ต้องการ

ที่มา: The Building System Integration Handbook

ประสิทธิภาพ (Performance) ของอาคารขึ้นอยู่การออกแบบองค์รวมผสมผสานจนเกิดความสำเร็จ จากตารางที่ 2.1 พบว่า ความสัมพันธ์ของสี่กลุ่มระบบกับความลึกของการรวมระบบของอาคารแต่ละประเภท ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบประสานระบบครบทุกกลุ่มระบบ แต่การออกแบบควรจะมีความลึกในการออกแบบประสานระบบให้ได้ถึงระดับที่5 คือ ระดับรวมสนิท จึงจะถือว่าประสบความสำเร็จในการออกแบบประสานระบบ (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2545) โดยปกติแล้วอาคารทั่วไปก็มักจะมีการประสานระบบอยู่แล้ว แต่อาจจะอยู่ในระดับที่1 ,2 หรือ3 หากต้องการให้มีการประสานระบบอย่างจริงจังแล้วอาจจะอยู่ในระดับที่ 4 หรือ 5 หมายความว่าผู้ที่มีหน้าที่ในระบบต่างๆได้ทำการปรึกษาหารือกันในการออกแบบ

ในแง่สถาปัตยกรรมเราใส่ใจว่าการออกแบบประสานระบบ จะมีผลกระทบต่อรูปทรงอาคารภายนอกหรือกรอบรูปอาคาร และกรอบรูปภายในหรือไม่ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าทั้งกระทบและบางครั้งกระทบแต่ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะมากนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของอาคาร การออกแบบประสานระบบจึงเป็นการสร้างรูปลักษณ์ (Form Giver) เป็นองค์ประกอบพิเศษของรูปลักษณ์หรือไม่ก็ได้ (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2545)

จากหนังสือเรื่อง The Building Systems Integration Handbook พบว่า ปัญหาที่สำคัญซึ่งทำให้การออกแบบประสานระบบไม่ประสบผลสำเร็จในอาคารทั่วไป เป็นเพราะไม่สามารถประสานงานกันได้ระหว่างผู้รับผิดชอบระบบต่างๆ ได้แก่ วิศวกร สถาปนิกและผู้ตกแต่งภายใน ซึ่งผู้เขียนได้กล่าวอย่างชัดเจนว่า บ่อยครั้งแค่ไหนที่ผู้ที่รับผิดชอบในระบบต่างๆได้ร่วมปรึกษากันในการออกแบบ ซึ่งโดยมากผู้ออกแบบมักจะแยกกันคิดซึ่งเมื่อได้รับแผนผังอาคารจาก

สถาปนิกแล้ว ก็มักจะไม่ได้พบปะกันอีกจนกระทั่งออกแบบเสร็จสิ้นแล้ว จึงทำให้ระบบต่างๆไม่สามารถประสานกันได้อย่างลงตัว

2.1.4 บทสรุปของการการออกแบบประสานระบบ

จากการศึกษาเรื่องการออกแบบประสานระบบ เพื่อให้การออกแบบมีประสิทธิภาพสูงที่สุด สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของแนวคิดได้ดังต่อไปนี้

ข้อดีของการออกแบบประสานระบบ

1. ช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้งานอาคารสูงขึ้นได้ เนื่องจากเมื่อระบบต่างๆได้รับการออกแบบให้ประสานกันแล้ว จะช่วยให้การทำงานของระบบต่างๆทำได้ง่ายขึ้น
2. ทำให้สะดวกในการดูและบำรุงรักษา เพราะเมื่อมีการรวมระบบและจัดระบบให้เรียบร้อยแล้ว ผู้ที่ทำหน้าที่บำรุงรักษาสามารถเข้าถึงระบบได้อย่างง่ายดาย และหากเป็นระบบที่ต้องดูแลรักษาร่วมกันและนำมาประสานกัน จะทำให้การดูแลรักษาเป็นไปได้อย่างง่ายดาย
3. ช่วยในการประหยัดงบประมาณในการก่อสร้าง เพราะเมื่อมีการประสานระบบต่างๆเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะระดับรวมสนิทแล้ว จะช่วยให้ประหยัดวัสดุในการก่อสร้าง สะดวก และรวดเร็วยิ่งขึ้น

ข้อเสียของการออกแบบประสานระบบ

1. ต้องการผู้ออกแบบที่มีความรู้และความเข้าใจในระบบต่างๆเป็นอย่างดี หรืออาจจะต้องการผู้ที่สามารถประสานงานกับผู้ที่ทำการออกแบบระบบต่างๆได้
2. การออกแบบประสานระบบโดยผู้ที่ไม่มีความรู้อย่างแท้จริง หารทำการประสานระบบในระดับที่ลึกมากอาจจะทำให้ผลงานที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพ และอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้

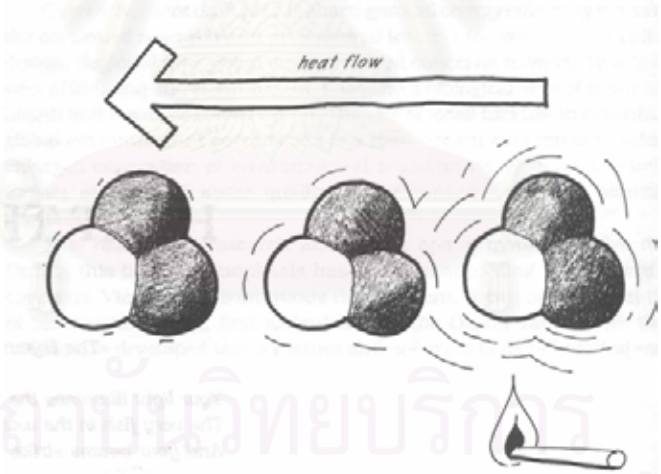
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนมีหลักการพื้นฐานคือจะเคลื่อนที่จากสสารที่ร้อนสู่สสารที่เย็นกว่าเสมอ และถ้าสสารใด ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้วก็จะไม่มีการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนมีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

2.4.1 **การนำความร้อน** (conduction)

การนำความร้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากบริเวณที่ร้อนกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลมากกว่า ไปสู่บริเวณที่เย็นกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลช้ากว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดในทุกทิศทาง และจะไม่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงของโลก วัสดุจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล วัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะนำความร้อนได้มาก ดังวัสดุโลหะ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมาได้แก่คอนกรีตและอิฐ ส่วนวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้จะมีค่าการนำความร้อนน้อยกว่า



รูปที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (Moore, Fuller,1993: 8)

อากาศหรือก๊าซชนิดต่าง ๆ จะเป็นตัวนำความร้อนที่แย่ที่สุด ทำให้อากาศเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี อย่างไรก็การนำความร้อนไม่สามารถผ่านไปยังที่ ๆ ไม่มีโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างสูญอากาศได้ ความสามารถในการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิววัสดุ ความหนาวัสดุ พื้นที่สัมผัสโดยตรงกับความร้อน และช่วงเวลาที่สัมผัสนั้น เป็นต้น ค่าที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อน ได้แก่

2.4.1.1 **สัมประสิทธิ์การนำความร้อน** (conductivity: k) หน่วย W/m·°K หรือ Btu·in/(ft^2·h·F) คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนา ช่วงเวลา พื้นที่ และค่าความแตกต่างอุณหภูมิหนึ่ง ๆ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใช้ในการวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ เช่น คอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 12.0 Btu·in/(ft^2·h·F)หมายความว่า คอนกรีตขนาด 1 ตารางฟุตหนา 1 นิ้ว มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสองด้านคอนกรีตเท่ากับ 1.0 F แล้วจะมีการนำความร้อน 12.0 Btu ผ่านในวัสดุใน 1 ชั่วโมง

2.4.1.2 **ความนำความร้อน** (conductance: C) หน่วย W/m^2·°K หรือ Btu/(ft^2·h·F) คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนาที่กำหนดในช่วงเวลา 1 หน่วย โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 หน่วย ค่าความนำความร้อนนั้นคล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแต่หน่วยของการวัดจะกำหนดตายตัว เช่น คอนกรีตหนา 3 นิ้วมีค่าความนำความร้อนเท่ากับ 4.0 Btu/(ft^2·h·F) (ซึ่งมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหารด้วยความหนา 3 นิ้ว) หมายความว่าถ้าคอนกรีตหนา 3 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางฟุต มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก 1.0 F จะมีการนำความร้อน 4 Btu ผ่านวัสดุใน 1 ชั่วโมง

$$C = k / \text{ความหนาวัสดุ}$$

2.4.1.3 **ความต้านทานความร้อน** (resistance: R, R-value) หน่วย m^2·°K/W หรือ (ft^2·h·F) /Btu คือส่วนกลับของค่าความนำความร้อน เป็นค่าที่นิยมใช้ในการกำหนดค่าฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ค่า R-value ที่มากขึ้นยิ่งแสดงถึงค่าความเป็นฉนวนที่มีมาก

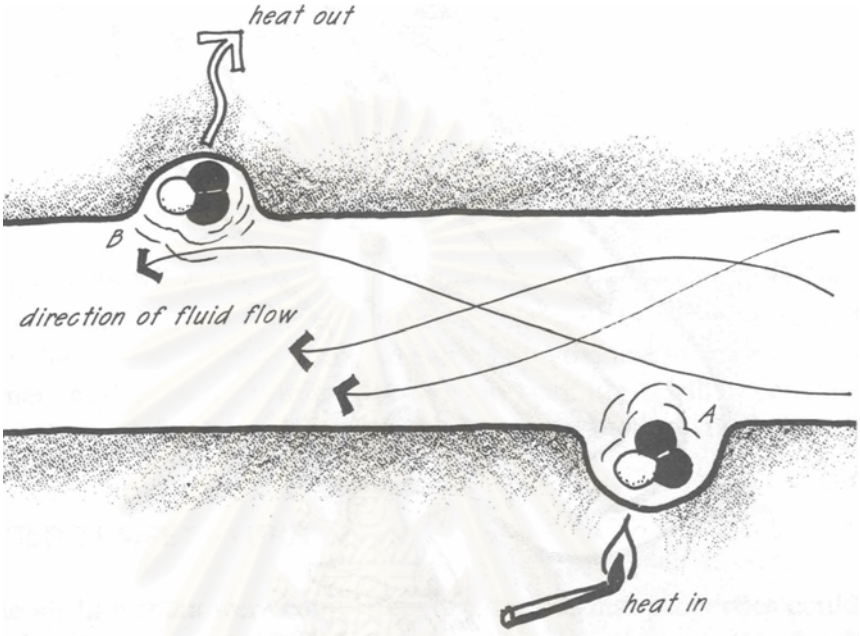
$$R = 1 / C$$

2.4.1.4 **สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน** (thermal transmittance: U) หน่วย W/m^2·°K หรือ Btu /(ft^2·h·F) คือหน่วยของการวัดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาในอาคารในช่วงเวลาหนึ่ง และพื้นที่หนึ่ง เป็นส่วนกลับของค่า R

$$U = 1/\sum R$$
$$= 1 / (R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n)$$

2.4.2 **การพาความร้อน** (convection)

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านตัวกลาง เช่น อากาศและน้ำ เมื่อสสารถูกทำให้ร้อนโมเลกุลจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้นและแตกกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ ก่อให้เกิดการขยายตัวของสสารนั้น ๆ โดยของแข็งจะมีการเพิ่มปริมาตรขึ้น ของเหลวและก๊าซจะมีความหนาแน่นต่ำลงและลอยตัวขึ้น



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการพาความร้อนจากจุด A ไปยังจุด B (Moore, Fuller, 1993: 17)

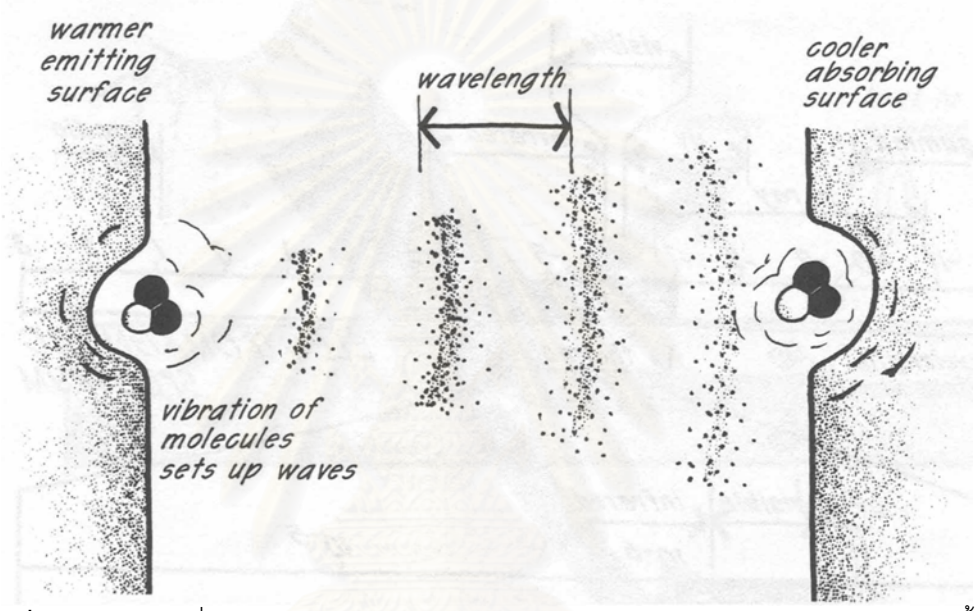
จากรูปการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อน A ไปด้านเย็น B มีการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกจนมากระทบที่จุด A ความร้อนนี้จะถ่ายเทไปที่อากาศและพาความร้อนผ่านอากาศไปยังจุด B

ความแตกต่างของการนำความร้อนและการพาความร้อน คือความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของโมเลกุล การนำความร้อนนั้นโมเลกุลจะไม่เปลี่ยนตำแหน่งแต่จะเคลื่อนย้ายพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปยังโมเลกุลใกล้เคียง ส่วนการพาความร้อนพลังงานจะถูกถ่ายเทไปโดยโมเลกุลจะนำไปด้วยตัวเอง

2.4.3 **การแผ่รังสีความร้อน**

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อโมเลกุลของสสารเกิดการเคลื่อนไหวจะคายพลังงานคลื่นออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีความร้อนจึงเป็นการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่าเช่นเดียวกับการนำความร้อน แต่การแผ่รังสีความร้อนสามารถส่งความร้อนผ่านสุญญากาศได้

2.4.3.1 **การเคลื่อนที่หรือการสั่นของโมเลกุล** พื้นผิวของสสารจะก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนผ่านตัวกลางได้เร็วเท่ากับความเร็วแสง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะช้าลงเมื่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นคลื่นรังสีความร้อน โดยเมื่อความร้อนเคลื่อนที่ผ่านของแข็ง อากาศ หรือสุญญากาศไปจนกระทบพื้นผิววัสดุอีกด้าน จะสะสมพลังงานความร้อนในด้านนั้น ๆ และทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวมากขึ้นจนอุณหภูมิสูงขึ้น และคายความร้อนออกมา การแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทุกทิศทาง และไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ 2.5 การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างโมเลกุลของผิววัสดุ 2 ชิ้น (Moore, Fuller,1993: 13)

2.4.3.2 **ความยาวคลื่น** อุณหภูมิโมเลกุลของพื้นผิววัสดุสามารถให้ความร้อนที่วัดได้เป็นค่าความยาวคลื่น (wave length) หรือความถี่คลื่น (frequency) ได้ โมเลกุลของพื้นผิวแต่ละชนิดจะมีการเคลื่อนไหว หรือการสั่นที่แตกต่างกัน และแผ่รังสีความร้อนออกมาในความเร็วที่คงที่ การเคลื่อนไหวดังกล่าวจะทำให้เกิดความถี่ของคลื่นการแผ่รังสี โมเลกุลที่เคลื่อนที่เร็วที่สุดหรือร้อนที่สุดจะคายคลื่นรังสีสั้น ๆ ออกมา เช่น คลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์จะเป็นคลื่นสั้น (ประมาณ 0.4-4.0 micron, 1 micron = 10^{-6} เมตร) และโมเลกุลที่เคลื่อนที่ช้า ๆ จะคายรังสีคลื่นยาวซึ่งมีความยาวคลื่น 8-50 micron

เมื่อพลังงานการแผ่รังสีความร้อนกระทบพื้นผิว พื้นผิวนั้นจะสามารถดูดซับ (absorption:α) ความร้อน และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งจะทำให้ผิววัสดุอุ่นขึ้น และสามารถสะท้อนความร้อน (reflection:β) นั้นกลับไปได้ ถ้าวัสดุมีคุณสมบัติที่ความร้อนสามารถ

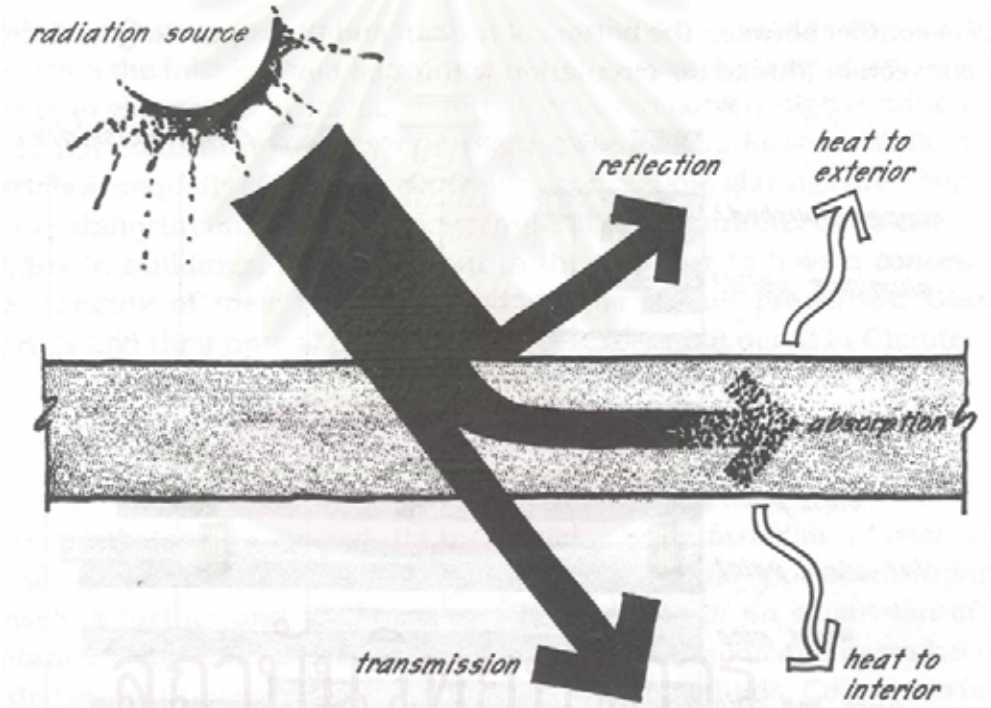
ผ่านไปได้ ความร้อนจะทะลุผ่าน (transmission:τ)ชั้นวัสดุออกไป ค่าการดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน และการทะลุผ่านของความร้อนนั้นไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0-1.0 ค่าของคุณสมบัติ 3 ส่วนรวมกันจะเท่ากับ 1

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$

เมื่อ α คือ ค่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ

β คือ ค่าการสะท้อนความร้อนของวัสดุ

τ คือ ค่าการส่งผ่านผ่านของความร้อนของวัสดุ



รูปที่ 2.6 แสดงการดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน และการส่งผ่านความร้อน ของวัสดุ (Moore, Fuller,1993: 15)

2.4.3.3 **การคายความร้อน** (emissivity: ε)

ค่าการคายความร้อนเป็นหน่วยการวัดความสามารถของผิววัสดุที่จะคายรังสีความร้อนออกมาในอุณหภูมิที่กำหนด ค่าการคายความร้อนสามารถวัดได้เป็น 0.0 ในกรณีที่วัสดุไม่มีการคายความร้อน ไปจนถึง 1.0 ซึ่งเป็นการคายความร้อนที่สูงที่สุด เทียบได้กับวัสดุจำลอง

Black body ในอุณหภูมิต่าง ๆ กันจะพบว่าค่าการคายความร้อนจะเท่ากับค่าการดูดซับความร้อน (Kirchhoff's law)

$$\varepsilon = \alpha \text{ (black body)}$$

เมื่อ α คือ ค่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ

ε คือ ค่าการคายความร้อนของวัสดุ

วัสดุที่ผิวไม่มันหรือไม่เป็นโลหะ (non metallic) จะมีความสามารถคายความร้อนได้มากกว่าวัสดุโลหะ เนื่องจากมีพื้นผิวที่ช่วยคายความร้อนได้มาก ส่วนวัสดุสีเข้มจะสามารถดูดซับความร้อนได้ดีทำให้มีอุณหภูมิสูงได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่วัสดุสีอ่อนจะสะท้อนความร้อนได้ดีทำให้มีอุณหภูมิผิวลดต่ำลงได้รวดเร็ว

2.3 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร

โดยใช้วิธีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มีหลักเกณฑ์ดังนี้

2.3.1 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนังด้านนอกแต่ละด้านหรือส่วนของหลังคาด้านนอกแต่ละด้านที่ตรงกับบริเวณของอาคารที่มีการปรับอากาศ สำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศ การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารจะต้องไม่เกินกว่า 45 Watt/m^2

2.2.1.1 **ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน** ($OTTV_i$) ที่หันสู่ทิศทางต่างกัน คำนวณได้จากสมการ

$$OTTV_i = (U_w)(1- WWR)(TD_{eq})+(SC)(WWR)(SF)+(U_f)(WWR)(\Delta T)$$

โดยที่

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (Watt/m^2)

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (Watt/m^2.^oC)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (หรือผนังโปร่งแสง) ($Watt/m^2.C$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทย ค่านี้คือ 5 ^{o}C

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ ($Watt/m^2$)

2.3.1.2 **ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร** (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้ว ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) คำนวณได้จากสมการ

$$OTTV = \frac{(A_{01})(OTTV_1) + (A_{02})(OTTV_2) + ... + (A_{0i})(OTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + ... + A_{0i}}$$

โดยที่

A_{0i} คือ พื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (m^2) ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา ($Watt/m^2$)

เพื่อป้องกันการสะท้อนรังสีอาทิตย์สู่อาคารอื่นเกินขอบเขต ห้ามใช้กระจกที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์เกินกว่า 0.2

2.3.1.3 **ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า** คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังภายนอกและภายใน ที่ก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง ผลต่างของอุณหภูมินี้รวมผลจากการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ที่ผิวของผนัง และอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอกอาคาร มวลของวัสดุผนัง คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีผลต่อลักษณะและค่าฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังนั้น ค่าฟลักซ์ความร้อนดังกล่าวสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q = (U_W)(TD_{eq}) \qquad (Watt/m^2)$$

โดยที่

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าใช้ค่าตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับผนังที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน (คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536: 15)

มวลของผนัง Kg / m^2	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)**				
	0.1 <0 - 0.2>	0.3 <0.2 - 0.4>	0.5 <0.4 - 0.6>	0.7 <0.6 -0.8>	0.9 <0.8 -1.0>
0 - 125	14	15	16	17	18
126 - 195	11	12	13	14	15
เกินกว่า 195	9	10	11	12	13

ตารางที่ 2.3 แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังหรือหลังคาแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536: 16)

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	**วัสดุผนังหรือหลังคา**	**สีที่ใช้ทาภายนอก**
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง [α < 0.2]	- ผิววัสดุที่ฉาบด้วยดีบุก - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียม	- สีสะท้อนแสง
2. วัสดุที่มีผิวอ่อน [0.2 < α < 0.4]	- อิฐเคลือบเป็นมันขาว - เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	- แลคเกอร์สีขาว - สีเงิน - สีขาวเป็นเงา
3. วัสดุที่มีผิวสีปานกลาง [0.4 < α < 0.6]	- วัสดุที่ทาสีอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว	- สีเขียวอ่อน - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเหลืองปานกลาง - สีส้มปานกลาง

ตารางที่ 2.3(ต่อ) แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังหรือหลังคาแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536: 16)

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	วัสดุผนังหรือหลังคา	สีที่ใช้ทาภายนอก
	- กรวดล้างสีขาว	- สีเขียวปานกลาง
4. **วัสดุที่มีผิวค่อนข้างเข้ม** [0.6 < α < 0.8]	- คอนกรีตไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส - หินล้างสีเทา	- สีแดง - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเทาอ่อน - สีสนิมแก่ปานกลาง
5. **วัสดุที่มีผิวสีเข้ม** [0.8 < α < 1.0]	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย - คอนกรีตสีน้ำตาล - วัสดุมุงหลังคาสีเขียว - หินชนวนสีเทาแกมน้ำเงิน - อิฐสีแดง - อิฐแสตฟฟอร์ดสีน้ำเงิน - คอนกรีตสีดำ	- สีน้ำเงินแก่หรือสีเขียวแก่ - สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม - สีน้ำตาลแก่ - สีโอลีฟเข้ม - สีดำ - แลคเกอร์สีน้ำเงินแก่ - สีเทาแก่ - แลคเกอร์สีดำ - สีดำธรรมดา - สีดำเรียบมาก

2.3.1.4 **ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์** (SF) คือค่าของผลจากฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผ่านหน้าต่าง ค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์สำหรับผนังแนวตั้งในทิศทางต่างๆ คือ

$$SF = 160 \quad (Watt/m^2)$$

ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์สำหรับผนังเอียงในทิศต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน คำนวณได้จากสมการ

$$SF = (160)(CF) \quad (Watt/m^2)$$

โดยที่ CF = ค่าตัวประกอบแก้ (Correction Factor) สำหรับผนังเอียงหนึ่งๆ ในทิศทางตาราง ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าตัวประกอบแก้สำหรับผนังในทิศต่างๆ

ทิศ มุมเอียง	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
70°	1.06	1.24	1.52	1.63	1.63	1.60	1.48	1.22
75°	0.96	1.14	1.42	1.52	1.50	1.48	1.38	1.12
80°	0.87	1.05	1.32	1.40	1.37	1.37	1.28	1.02
85°	0.78	0.96	1.22	1.29	1.24	1.25	1.17	0.93
90°	0.70	0.87	1.12	1.17	1.11	1.13	1.03	0.84

2.3.2 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร

พระราชบัญญัติส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารจะต้องไม่เกินกว่า 25 Watt/m^2

2.3.2.1 **ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน** ($RTTV_i$)

คำนวณได้จากสมการ

$$RTTV_i = (U_r)(1- SRR)(TD_{eq})+(SC)(SRR)(SF)+(U_s)(SRR)(\Delta T)$$

โดยที่

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่พิจารณา (Watt/m^2)

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ (Watt/m^2.°C)

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น (Skylight to Roof Ratio)

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคาส่วนทึบ

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง (Watt/m^2.C)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทย ค่านี้คือ 5 °C

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องรับแสง

SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (Watt/m^2)

2.3.2.2 **ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา** (RTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้ว ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) คำนวณได้จากสมการ

$$RTTV = \frac{(A_{01})(RTTV_1) + (A_{02})(RTTV_2) + ... + (A_{0i})(RTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + ... + A_{0i}}$$

โดยที่

A_{0i} คือ พื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา (m^2)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา ($Watt/m^2$)

2.3.2.3 **ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา** มีความหมายในทำนองเดียวกันกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับหลังคาที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน (คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536: 19)

มวลของหลังคา Kg / m^2	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)**			
	0.1 <0 - 0.2>	0.3 <0.2 - 0.4>	0.5 <0.4 - 0.6>	0.6 **และมากกว่า** <0.6 - 1.0>
0 - 50	20	24	28	32
50 - 200	16	20	24	28
เกินกว่า 200	12	16	20	24

สำหรับหลังคาที่มีอุปกรณ์บังแดดที่มีการระบายอากาศ เช่น กรณีหลังคา 2 ชั้น ยกระดับจากกันให้ใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าช่องที่ 1 (α = 0.1) คูณด้วย 0.8 รายการวัสดุและสีทาผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ในตารางที่ 2-2

2.3.2.4 **ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์** (SF) สำหรับหลังคาที่รับแสงในแนวระดับจะขึ้นอยู่กับมุมเอียงของหลังคาในทิศต่างๆ และในการคำนวณหาค่า SF จึงต้องอาศัยค่าตัวประกอบปรับแก้ CF ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ คือ

$$SF = (370)(CF) \quad (Watt/m^2)$$

โดยที่ CF = ค่าตัวประกอบแก้ (Correction Factor) สำหรับหลังคา ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าตัวประกอบแก้สำหรับหลังคาในทิศต่างๆ

ทิศ มุมเอียง	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	0.98	0.99	0.99	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99
10°	0.96	0.97	0.99	1.01	1.02	1.01	0.99	0.97
15°	0.93	0.95	0.98	1.01	1.02	1.00	0.98	0.95
20°	0.90	0.93	0.97	1.00	1.02	1.00	0.96	0.92
25°	0.87	0.90	0.95	0.99	1.01	0.98	0.94	0.89
30°	0.83	0.86	0.93	0.98	0.99	0.97	0.92	0.86
35°	0.78	0.83	0.90	0.96	0.97	0.95	0.89	0.82
40°	0.74	0.79	0.87	0.93	0.95	0.92	0.86	0.78
45°	0.69	0.75	0.84	0.90	0.92	0.89	0.83	0.74
50°	0.64	0.71	0.81	0.87	0.88	0.86	0.79	0.70
55°	0.59	0.66	0.77	0.83	0.84	0.82	0.76	0.66
60°	0.54	0.62	0.73	0.79	0.80	0.78	0.72	0.61
65°	0.50	0.58	0.69	0.75	0.75	0.73	0.68	0.57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมพระราชบัญญัติส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ได้กำหนดไว้ดังนี้

2.3.3.1 **สัมประสิทธิ์การนำความร้อน** (k) ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัสดุใดๆ สามารถพิจารณาได้จาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนภายใต้สภาวะที่คงที่อันหนึ่ง คือ ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านวัสดุพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ความหนา 1 หน่วย ใน 1 หน่วยเวลา โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน 1 หน่วย ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีหน่วยเป็น $W/m.^{o}C$

2.3.3.2 **ความนำความร้อน** (C) ค่าความนำความร้อนของวัสดุใดๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$C = \frac{k}{\Delta X}$$

ΔX คือ ความหนาของวัสดุ (m)

C คือ ค่าความนำความร้อน ($W/m^{2}.^{o}C$)

2.3.3.3 **ความต้านทานความร้อน** (R) ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ คือส่วนกลับของค่าความนำความร้อนซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{1}{C} = \frac{\Delta X}{k}$$

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน ($m^{2}.^{o}C/W$)

2.3.3.4 **ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ** (air film) ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนระหว่างผิววัสดุใดๆ กับอากาศที่อยู่โดยรอบ ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศนิ่งที่ผิวของวัสดุนั้น ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

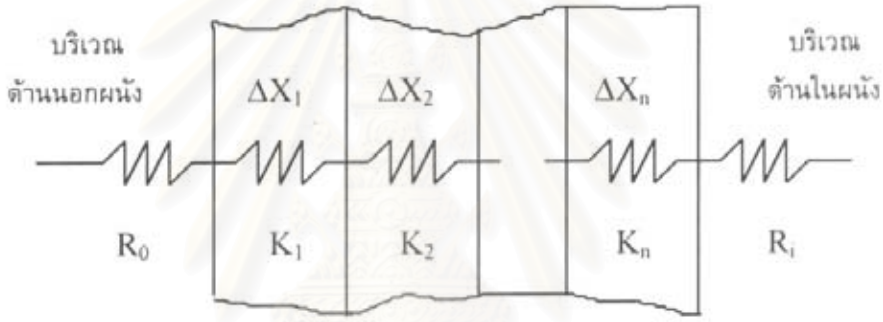
1. ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกของอาคาร (R_o)

2. ความต้านทางความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านในของอาคาร (R_i)

3. ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ที่อยู่ภายในช่องว่างอากาศของผนังหลังคาและเพดาน (R_a)

2.2.3.5 **ความต้านทานความร้อนรวม** (R_T) การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง หลังคาและเพดาน (R_T) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด สามารถคำนวณโดยวิธีการดังต่อไปนี้

ก. ในกรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุ n ชนิด



รูปที่ 2.7 แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด

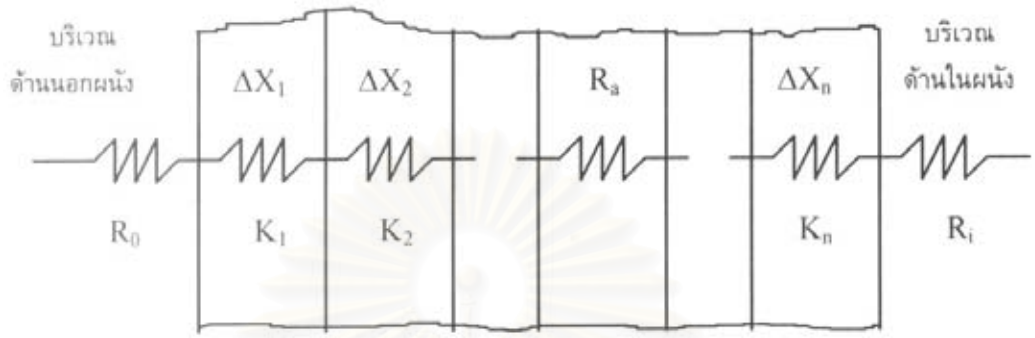
$$R_T = R_0 + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + ... + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i$$

$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, ..., \Delta x_n$ คือ ความหนาของวัสดุที่อาคารประกอบขึ้นเป็นผนังชนิดที่ 1, 2, 3, ...n ตามลำดับ

$k_1, k_2, k_3, ..., k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชนิดที่ 1, 2, 3,..., n ตามลำดับ

R_0, R_i คือ ความต้านทางความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกและด้านในของผนังอาคารตามลำดับ

ข. ในกรณีที่ผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังหลังคาและเพดาน (R_T) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ สามารถคำนวณโดยวิธีการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยวัสดุ n ชนิด และ มีช่องว่างอากาศภายใน

$$R_T = R_0 + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \ldots + R_a + \ldots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i$$

R_a คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายในช่องว่างอากาศของผนัง

2.2.3.5 **สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม** (U) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม ($W/m^2.^oC$) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$U = \frac{1}{R_T}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ (คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536: 56)

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น $kg \cdot m^{-3}$	ค่า k $W \cdot m^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}$
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	1,860	0.198
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	720	0.108
3	วัสดุมุงหลังคาที่ทำด้วยแอสฟัลท์	2,240	1.226
4	บิตุเม็น (bitumen)		1.298
5	อิฐ		
	(a) แห้ง และฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสด	1,760	0.807
	(b) ความชื้น 6%	1,872	1.211
	(c) ผนัง (ไม่ฉาบปูน)		1.154
6	คอนกรีต	2,400	1.442
7	คอนกรีต ชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่างๆ	960	0.303
		1,120	0.346
		1,280	0.476
8	แผ่นไม้ก๊อก	144	0.042
9	แผ่นไฟเบอร์ (Fiber board)	264	0.052
10	ไฟเบอร์กลาส (ดูใยแก้ว)		
	(a) แบบม้วน (Blanket)	10 - 24	0.038
	(b) แบบแผ่น (Rigid board)	32 - 48	0.033
	(c) แบบท่อสำเร็จ (Rigid pipe sections)	56 - 80	0.038
11	แผ่นกระจก	2,512	1.053
12	ใยแก้ว สานเป็นแผ่น หรือสอดไส้อยู่ระหว่างวัสดุอื่น 2 แผ่น (แห้ง)	32	0.035
13	แผ่นยิบซั่ม	880	0.191
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด		
	(a) มาตรฐาน	1,024	0.216
	(b) ปานกลาง	640	0.123

ตารางที่ 2.7 (ต่อ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ (คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536: 56)

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น $kg \cdot m^{-3}$	ค่า k $W \cdot m^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}$
15	โลหะ		
	(a) โลหะผสมอลูมิเนียม แบบธรรมดา	2,672	211
	(b) ทองแดง ที่มีขายเชิงพาณิชย์	8,784	385
	(c) เหล็กกล้า	7,840	47.6
16	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	32 - 104	0.035 - 0.032
17	วัสดุใช้ฉาบหรือปิดผิว		
	(a) ยิบซั่ม	880	0.191
	(b) ปูนฉาบ น้ำหนักเบา	300	0.036
	น้ำหนักขนาดกลาง	1104	0.274
	(c) เพอร์ไลท์	616	0.115
	(d) ปูนผสมทราย	1,568	0.533
	(e) เวอร์มิคูไลท์	640 - 960	0.202 - 0.303
18	โพลีสไตรีน เบ่งขยายตัว	16	0.035
19	โพรียูรีเทน โฟม	24	0.024
20	วัสดุทำพื้น PVC	1,360	0.173
21	ดินอัดหลวม (ร่วนซุย) ความชื้น 1%	1,200	0.375
22	หิน		
	ทราย	2,000	1.298
	แกรนิต	2,640	2.927
	หินอ่อน	2,640	1.298
23	กระเบื้อง หลังคา	1,890	0.836
24	ไม้		
	ไม้เนื้ออ่อน	608	0.125
	ไม้เนื้อแข็ง	720	0.138
	ไม้อัด	528	0.138

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 **(ต่อ)** แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ (คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536: 57)

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น $kg \cdot m^{-3}$	ค่า k $W \cdot m^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}$
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดทรายอัดหยาบหลวม	80 - 112	0.065
26	ไม้อัดชีพบอร์ด	800	0.144
27	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	400	0.086
28	หินล้าง	2,245	0.155
29	กรวดล้าง	2,244	0.155
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดทรายอัดหยาบหลวม	80 - 112	0.065

2.3.4 **ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด**

สูตรการคำนวณค่า OTTV ต้องอาศัยค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ คือค่าเฉลี่ยรายปีของฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามในกรณีทั่วไป หน้าต่างของอาคารอาจประกอบด้วยกระจกที่มีความหนาไม่เท่ากับ 3 มิลลิเมตร และอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดด้วย ดังนั้น การคำนวณฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านหน้าต่างจำเป็นต้องมีตัวประกอบเพื่อปรับให้สอดคล้องกับผลดังกล่าว ตัวประกอบที่ใช้ปรับนี้ เรียกว่า สัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งกำหนดว่าคือ “อัตราส่วนของฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านระบบหน้าต่างซึ่งอาจประกอบด้วยกระจก และอุปกรณ์บังแดดต่อฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆ”

ในระบบหน้าต่าง ซึ่งประกอบด้วย กระจก และอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกเอง (SC_1) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SC = (SC_1)(SC_2)$$

2.2.4.1 **สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก** สามารถใช้ค่าที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต เมื่อมีการประเมินตามวิธีมาตรฐานที่แสงตกกระทบทำมุม 45 องศา กับแนวตั้งฉากกับกระจก

2.4.4.2 **สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด** สามารถคำนวณได้จากการพิจารณาดังต่อไปนี้

ก. เมื่อรังสีอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วยรังสีตรง และรังสีกระจาย ตกกระทบหน้าต่างและพื้นที่บางส่วนของหน้าต่างเกิดเงาขึ้น พื้นที่ในส่วนนี้จะได้รับพลังงานจากรังสีกระจาย และสำหรับบริเวณพื้นที่ที่ไม่เกิดเงาจะได้รับพลังงานจากรังสีอาทิตย์ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งสามารถแสดงได้รูปสมการ

$$\begin{aligned} Q &= A_e \times I_T + A_s \times I_d \\ &= A_e \times (I_D + I_d) + A_s \times I_d \\ &= A_e \times I_D + (A_e + A_s) \times I_d \\ &= A_e \times I_D + A \times I_d \end{aligned}$$

โดยที่

Q หมายถึง ปริมาณกำลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนหน้าต่าง (W)

I_D หมายถึง ฟลักซ์รังสีตรงดวงอาทิตย์ (W/m^2)

I_d หมายถึง ฟลักซ์รังสีกระจายดวงอาทิตย์ (W/m^2)

I_T หมายถึง ฟลักซ์รังสีรวมดวงอาทิตย์ (W/m^2)

ซึ่ง $I_T = I_D + I_d$

A_e หมายถึง พื้นที่หน้าต่างส่วนที่ไม่เกิดเงา (m^2)

A_s หมายถึง พื้นที่หน้าต่างส่วนที่เกิดเงา (m^2)

A หมายถึง พื้นที่หน้าต่างทั้งหมด (m^2)

ซึ่ง $A = A_e + A_s$

ข. สำหรับในกรณีของหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหนา 3 มิลลิเมตร พื้นที่ A ตารางเมตร ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆ ปริมาณกำลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ (Q') จะมีค่า

$$Q' = A \times I_T$$

สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2) หาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$SC_2 = \frac{Q}{Q'}$$

$$= \frac{A_e \times I_D + A \times I_d}{A \times I_T}$$

$$= \frac{(A_e/A) \times I_D + I_d}{I_T}$$

กำหนดให้ $G = \frac{A_e}{A}$

จะได้ว่า $SC_2 = \frac{G \times I_D + I_d}{I_T}$

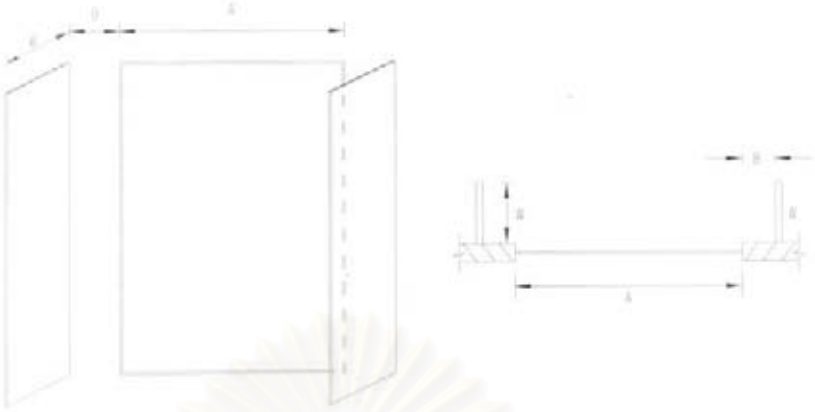
ตัวแปร G ที่ปรากฏในสมการ สามารถคำนวณได้โดยอาศัยข้อมูลลักษณะเชิงกายภาพของระบบหน้าต่าง และข้อมูลทิศทางของดวงอาทิตย์ ดังการพิจารณาต่อไปนี้

<u>กรณีของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอน</u>

รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>กรณีของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง</u>



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง

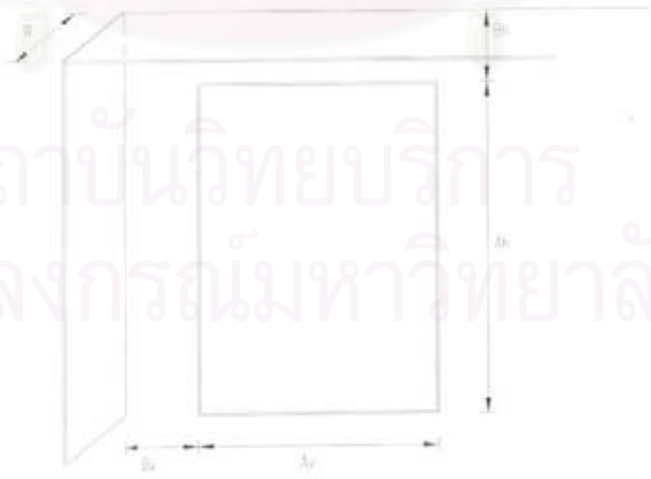
<u>กรณีของอุปกรณ์บังแดดทั้ง 2 ชนิด ติดตั้งร่วมกัน</u> ค่าตัวแปร G สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$G = G_1 \times G_2$$

โดยที่

G_1 หมายถึง ตัวแปร G ในกรณีที่เป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอน

G_2 หมายถึง ตัวแปร G ในกรณีที่เป็นอุปกรณ์บังแดดแนวตั้ง



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอนติดตั้งร่วมกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2) จะต้องคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยตลอดปี แต่ในการคำนวณค่า OTTV ความถูกต้องแม่นยำของค่า SC_2 ไม่ได้เป็นตัวแปรสำคัญ จึงอนุโลมเพื่อความสะดวกในการคำนวณค่า OTTV กำหนดให้เฉลี่ยจากค่า SC_2 รายวันของวันที่ 21 มีนาคม, 22 มิถุนายน, 23 กันยายน และ 22 ธันวาคม ของปี

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของความชื้น

การถ่ายเทความชื้นซึ่งอยู่ในรูปของไอน้ำนั้น มีรูปแบบที่หลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1) ความแตกต่างของความดันอากาศ หรือ แรงโน้มถ่วงของโลก
2) แรงดูดความชื้นภายในช่องว่างของเนื้อวัสดุ
3) ความแตกต่างของค่าความจุความชื้น
4) การเคลื่อนตัวของไอน้ำในอากาศที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศ
5) ความแตกต่างของความดันไอน้ำ

โดยกระบวนการถ่ายเทความชื้นสกัดกั้นการถ่ายเทความชื้นสามารถทำได้ด้วยการติดตั้งฉนวนป้องกันความชื้น (Vapor Retarder) เพื่อลดความแตกต่างของความดันอากาศ หรือแรงโน้มถ่วงของโลก นอกจากนี้การป้องกันการถ่ายเทความชื้นที่เกิดจากกระบวนการแรงดูดความชื้นภายในมวลสาร และการเคลื่อนตัวของไอน้ำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศก็เป็นกระบวนการที่สำคัญเพราะสามารถนำความชื้นเข้ามาในอาคารได้เป็นจำนวนมากเช่นกัน

2.4.1 การถ่ายเทความชื้นโดยแรงดูดความชื้น

ภายในรูพรุนของวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1 μm โมเลกุลของไอน้ำในวัสดุจะสร้างแรงดึงระหว่างผิวของโมเลกุลด้วยกัน ซึ่งแรงดูดความชื้นดังกล่าวสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$s = 2\frac{\sigma COS\theta}{r}$$

เมื่อ s = แรงดูดความชื้น (capillary suction)

σ = แรงดึงผิวของของน้ำ (surface tension of water)

θ = มุมสัมผัส (contact of wetting angle)

r = รัศมีส่วนโค้งของผิว (radius of the capillary)

โดยมุมสัมผัส(contact of wetting angle) มุมระหว่างส่วนผิวหน้าของของเหลวที่เห็นเป็นเส้นโค้ง ซึ่งภายในวัสดุที่มีการดูดซับความชื้น (hydrophilic) มุมสัมผัสจะมีค่าน้อยกว่า 90° และสำหรับวัสดุที่ไม่ดูดซับความชื้น (hydrophobic) มุมสัมผัสจะอยู่ระหว่าง 90°-180° และการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เกิดจากความแตกต่างของแรงดูดความชื้น เมื่อแรงดูดความชื้นมีค่ามากกว่าแรงตึงผิวของน้ำ และในส่วนของแรงตึงผิวของน้ำนั้น เป็นส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นโดยความแตกต่างของแรงตึงผิวจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ในสภาวะ isothermal และ nonisothermal แม้ว่าปริมาณแรงดูดความชื้นจะมีจำนวนน้อย แต่กระบวนการถ่ายเทความชื้นยังคงดำเนินการอยู่ ทั้งในส่วนกระบวนการของของเหลว และไอน้ำ ซึ่งในส่วนของกระบวนการที่เกิดจากไอน้ำนั้นจะเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัว (vapor saturation pressure) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามกฎของทอมส์สัน (Thomson's law)จากสมการ

$$p'' = p' \exp(s/\rho RT) = p' \exp(2\sigma \cos\theta / r\rho RT)$$

เมื่อ p'' คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุ

p' คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวในบรรยากาศ

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ

R คือ ค่าคงที่สถานะก๊าซของไอน้ำ)

T คือ อุณหภูมิองศาสมบูรณ์

จากสมการแสดงให้เห็นว่าความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณสูงกว่าช่องว่างที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากไอน้ำจากช่องว่างขนาดใหญ่จะแพร่กระจาย(Diffusion)ไปสู่ช่องว่างที่เล็กกว่า และจากสมการแสดงให้เห็นว่าความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุจะต่ำลงเมื่อวัสดุมีอุณหภูมิลดลง เพราะไอน้ำจะแพร่กระจาย(Diffusion)จากช่องว่างที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ช่องว่างที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ถ้าความดันไอน้ำของบรรยากาศเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้น (Equilibrium) เทียบเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุ จะสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$s = \rho RT \ln\phi$$

เมื่อ ϕ คือ ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศ

และการถ่ายเทความชื้นสามารถแสดงให้เห็นได้ในลักษณะสมการของ suction pressure gradient

$$W_m = -k_m \frac{d_s}{d_x}$$

เมื่อ w_m คือ water flux

k_m คือ water permeability coefficient

2.4.2 การถ่ายเทความชื้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศ (air movement)

การถ่ายเมทความชื้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$w = W\rho v$$

เมื่อ w คือ water vapor flux (flow per unit area)

W คือ อัตราส่วนความชื้น (humidity ratio)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (density of air)

v คือ ความเร็วลม (airflow velocity)

การเคลื่อนที่ของอากาศและการแพร่ความชื้น (vapor diffusion) จะสามารถนำความชื้นเข้ามาในอาคารได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในอาคารแสดงว่าการติดตั้งแผงกำบังลม และการติดตั้งฉนวนกันความชื้นยังคงมีความจำเป็นสำหรับการป้องกันการแทรกซึมความชื้นแก่อาคาร

2.4.3 การแพร่ความชื้น (water vapor diffusion)

ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศสามารถแพร่กระจายผ่านอากาศ รวมถึงวัสดุต่างๆของอาคาร ความชื้นสามารถแพร่กระจายผ่านพื้นที่ที่ต่อเนื่องกัน รวมถึงพื้นผิวที่เกิดการควบแน่นได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดความแตกต่างของความดันความชื้น ตัวอย่างเช่น พื้นผิวกระจกที่เย็นเป็นต้น เมื่อความชื้นสามารถเคลื่อนที่ผ่านวัสดุต่างๆเข้ามาในอาคารแล้วจะเข้ามาผสมกับอากาศภายใน ซึ่งสามารถคำนวณหาการแพร่ความชื้นที่ผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ (Water vapor diffusion flux) ตามสมการของ Fick's law

$$W = -\mu \frac{d_p}{d_x}$$

เมื่อ w คือ การแพร่ความชื้นที่ผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ (water vapor flux)

μ คือ water vapor permeability

p คือ ความดันความชื้น (water vapor pressure)

x คือ ระยะทางการแพร่ความชื้น (distance along flow path)

2.4.3 การวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น

ในการวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น (moisture content and transfer measurement) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

2.4.3.1 การดูดซับความชื้นของวัสดุ (sorption isotherm)

ค่าของการดูดซับความชื้นของวัสดุจะสัมพันธ์กับสมดุลความชื้นของวัสดุ (equilibrium moisture content หรือ EMC) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ ค่าความจุความชื้น (moisture content หรือ MC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณ (มวล) ของน้ำในวัสดุต่อมวลของวัสดุในสภาวะแห้ง (dry Mass) ในเบื้องต้นการพิจารณาค่าการดูดซับความชื้นจำเป็นที่จะต้องทราบอุณหภูมิและปริมาณความชื้นของสภาพแวดล้อม จากนั้นจึงนำวัสดุที่ต้องการทดสอบไปตั้งไว้ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว เพื่อให้วัสดุทำการดูดซับความชื้นจากสภาพแวดล้อมดังกล่าวจนเข้าสู่สภาวะสมดุลของความจุความชื้น คือ เป็นสภาวะที่เกิดความสมดุลของความชื้นในวัสดุกับความชื้นของสภาพแวดล้อม ผลที่ได้รับจากการวัดพบว่า พฤติกรรมของการดูดซับความชื้นของวัสดุแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อวัสดุดูดซับความชื้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุลความชื้นแล้ว ผลที่ปรากฏอาจจะพบทั้งปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้น (adsorption Isotherm) หรือลดลง (desorption Isotherm)

การควบคุมความชื้นของสภาพแวดล้อมจะต้องอาศัยเครื่องปรับอากาศ หรือการใช้สารเคมีจำพวกเกลือ (salt Solution) ความแม่นยำในการวัดความชื้นโดยการใช้สารเคมีนั้นจะต้องใช้สารจำพวกเกลือหลายๆชนิดผสมกัน ซึ่งใน ASTM Standard E 104 ได้อธิบายไว้ว่าความแม่นยำในการวัดจะพิจารณาจากค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ การทำให้วัสดุที่ต้องการทดสอบแห้งจะใช้วิธีการอบแห้งด้วยเตาอบหรือวิธีการทำให้แห้ง (disccant drying) ซึ่งวิธีการทำให้แห้งนั้นจะทำให้ความชื้นในวัสดุสามารถระเหยออกมาได้ดีกว่าการใช้ตู้อบ

สำหรับวัสดุที่ต้องใช้เวลานานๆในการเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้น เช่น ต้องใช้เวลาเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือน จะทำให้เกิดข้อจำกัดในการวัด เนื่องจากจะมีการระเหยของไอน้ำที่สะสมในเนื้อวัสดุระหว่างกระบวนการเข้าสู่สภาวะสมดุลดังกล่าว ดังนั้น จึงควรพิจารณาเลือกขนาดของวัสดุทดสอบที่เหมาะสมเพื่อจะได้ลดระยะเวลาในการระเหยของไอน้ำในเนื้อวัสดุ

2.4.3.2 การแทรกซึมของความชื้นในวัสดุ (Vapor Permeability)

ค่าการแทรกซึมความชื้นผ่านช่องว่างในวัสดุที่สามารถวัดได้นั้นเป็นคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นของวัสดุมีหน่วยเป็น perm โดย 1 perm จะเท่ากับปริมาณไอน้ำจำนวน $5.72 * 10^{-11}$ กิโลกรัม (ประมาณ $1.26 * 10^{-12}$ ปอนด์) ที่ถ่ายเทผ่านพื้นผิว 1 ตารางเมตร ในเวลา 1

วินาที โดยมีผลต่างของความดันไอน้ำเท่ากับ 1 ปาสคาล (Pa) และสามารถอธิบายได้โดยอาศัยกฎของฟิกด์ (Fick's Law) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$W_v'' = -\mu \frac{d_p}{d_x}$$

เมื่อ

W_v'' = มวลของไอน้ำที่แทรกซึมผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ต่อช่วงเวลา หน่วย $gr/h.ft^2$

μ = Vapor Permeability หน่วย gr.in/h.Hg

$\frac{d_p}{d_x}$ = Vapor Gradient หน่วย in.Hg/in

พฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นสามารถประมาณได้โดยการพิจารณาจากความหนาของวัสดุและทิศทางการเคลื่อนตัวของไอน้ำ ซึ่งในกระบวนการวัดค่าการแทรกซึมของความชื้นผ่านช่องว่างในวัสดุสามารถวัดได้จากการทดสอบวัสดุ ด้วยวิธีการต่างๆดังนี้

1) Dry cup method
2) Wet cup method
3) Modified cup test

โดยในการพิจารณาค่าการแทรกซึมความชื้นของวัสดุต่างๆ เมื่อใช้การทดสอบด้วยวิธี **dry Cup** และ **wet Cup** ไม่สามารถนำผลการทดสอบมาพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยของการแทรกซึมความชื้นที่นำมาแสดงเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้เนื่องจากในการทดสอบนั้นจะใช้วิธีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยสำคัญ ส่วนการทดสอบด้วยวิธี **modified cup test** จะสามารถแสดงผลเป็นปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ได้ ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ไอน้ำที่ถูกดูดซับออกมาจากกระบวนการทดสอบถูกแทนที่ด้วยสารประเภทเกลืออิ่มตัวทำให้สามารถอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอร์เซนต์

สำหรับการวัดวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความชื้นสูงนั้นขีดจำกัดของอัตราการกระจาย (diffusion) ของไอน้ำผ่านอากาศในกระบวนการเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาค่า air film resistance ซึ่งจะมีนัยยะสำคัญต่อการต้านทานการถ่ายเทความชื้นของวัสดุ โดยในการทดสอบวัสดุที่มีคุณสมบัติการถ่ายเทความชื้นสูงๆนี้จำเป็นต้องใช้การบันทึกค่าการทดสอบอัตราการกระจายความชื้นผ่านช่องว่างอากาศทุกๆช่องจึงจะทำให้สามารถวัดผลได้เที่ยงตรงมากขึ้น

2.4.3.3 **การแทรกตัวของไอน้ำ** (Liquid Diffusivity)

การแทรกตัวของไอน้ำในวัสดุต่างๆเป็นการเคลื่อนตัวตามรูพรุน หรือช่องว่างในวัสดุซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$w_t'' = pD_t \frac{d_y}{d_x}$$

เมื่อ w_t'' = มวลของไอน้ำที่แทรกซึมผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ต่อ 1 หน่วยเวลา หน่วย lb/h.ft^2

ρ = ความหนาแน่นของไอน้ำ (liquid density) หน่วย lb/ft^3

D_t = ค่าการแทรกซึมผ่านของไอน้ำ หน่วย ft^2/h

$\frac{d_y}{d_x}$ = moisture content Gradient หน่วย ft^{-1}

โดยที่ ค่าการแทรกซึมผ่านของไอน้ำ (D_t) จะขึ้นอยู่กับค่าความจุความชื้น (moisture content) ของวัสดุแต่ละชนิด

2.5 สภาพแวดล้อมในปัจจุบัน

สภาพแวดล้อมในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปจากอดีต ดังนั้นในการการออกแบบจึงต้องทราบถึงอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 สภาพภูมิอากาศท้องถิ่น

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจในภาพภูมิอากาศในท้องถิ่นที่จำทำการออกแบบเป็นอย่างดี โดยเฉพาะในประเทศไทยที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นซึ่งมีลักษณะเด่นคืออุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศซึ่งมีความแปรปรวนที่ค่อนข้างสูง (ข้อมูลเดือนเมษายนเฉลี่ยแล้วอยู่ในช่วงระหว่าง 25 – 35 องศาเซลเซียส) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์นั้นก็มีลักษณะเช่นเดียวกันคือความชื้นโดยเฉลี่ยในอากาศสูงและมีความแปรปรวนที่สูงมาก (ข้อมูลเดือนเมษายนเฉลี่ยแล้วอยู่ในช่วงระหว่าง4 0 – 95 เปอร์เซ็นต์) และสภาพแวดล้อมในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปจากในอดีตอย่างมาก ดังนั้นผู้ออกแบบจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการออกแบบดังต่อไปนี้

2.5.1.1. **อิทธิพลของลมและอุณหภูมิ** จากการศึกษาพบว่า การนำอิทธิพลจากลมและอุณหภูมิอากาศมาใช้ในอาคารจะเป็นประโยชน์อย่างมาก โดยเฉพาะในอาคารที่ใช้ระบบธรรมชาติ (Passive Building) โดยอาศัยเทคนิคการระบายอากาศผ่านอาคารโดยตรง

(Cross Ventilation) แต่ผู้ออกแบบต้องพึงระวังในการใช้ประโยชน์จากลม เนื่องจากสภาพแวดล้อมในปัจจุบันอุณหภูมิอากาศโดยรอบ (Ambient Temperature) มีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นเป็นอย่างมาก ดังนั้นการนำลมมาใช้ในอาคารต้องพิจารณาประกอบด้วย หากอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงกว่าภายในอาคารก็ไม่ควนนำมาใช้ประโยชน์

สำหรับกรณีของสภาพภูมิอากาศในกรุงเทพมหานครจะพบว่า ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม เป็นช่วงเวลาที่ภูมิอากาศเหมาะสมและเอื้ออำนวยต่อการใช้ประโยชน์จากอิทธิพลของลม รองลงไปคือช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ สำหรับในช่วงเดือนอื่นๆ ที่เหลือนั้นพบว่า สภาพอากาศโดยทั่วไปมีความชื้นค่อนข้างสูงมาก

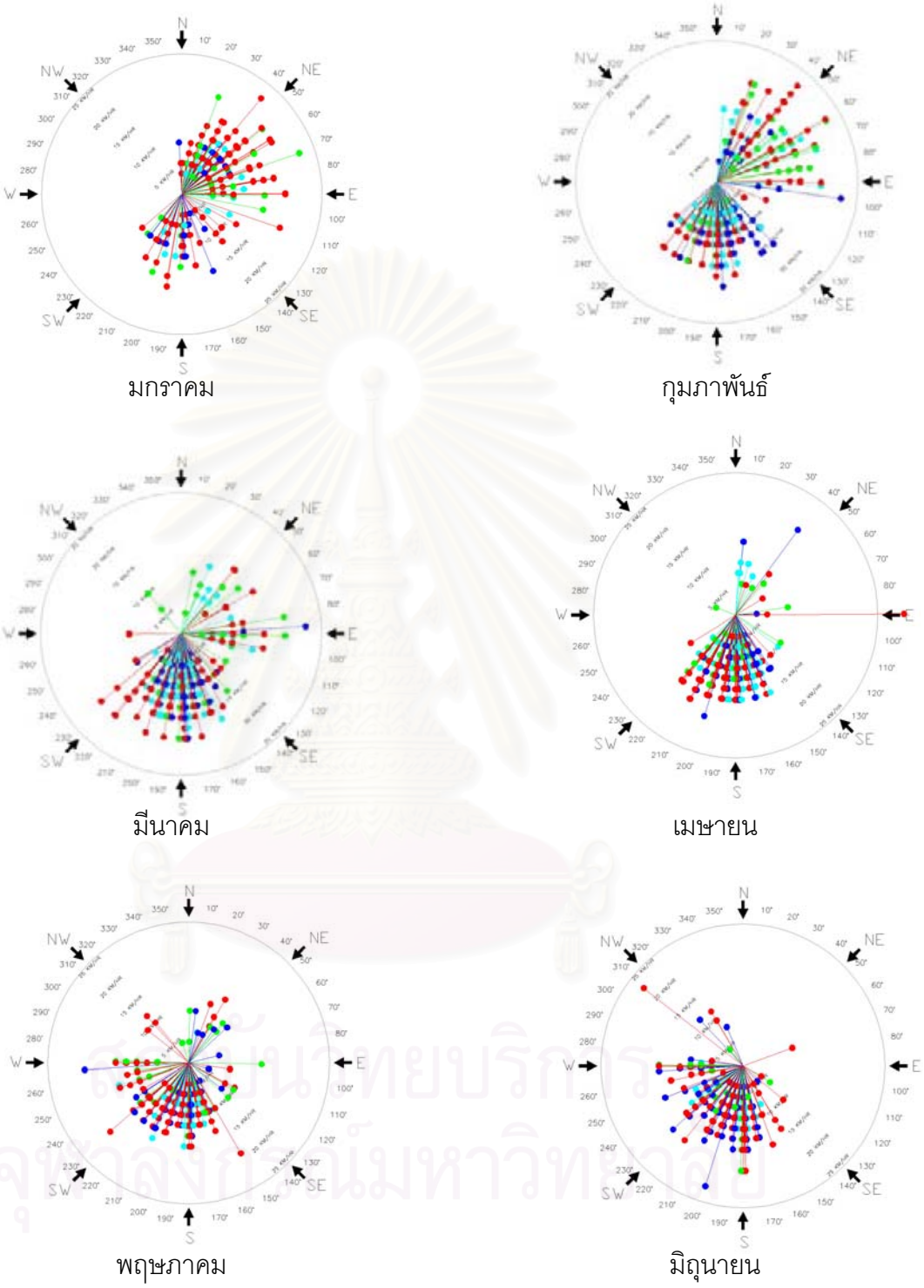
แต่ในกรณีของอาคารที่ใช้ระบบเครื่องกล (Active Building) การใช้ประโยชน์จากลมเป็นสิ่งที่ต้องระวังเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากลมจะประกอบไปด้วยอิทธิพลของเอ็นทาลปี (Sensible Heat and Latent Heat) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่สูงมาก ซึ่งเป็นผลจากอิทธิพลของเอ็นทาลปี ดังนั้นในกรณีที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ จึงควรหลีกเลี่ยงอากาศที่มีความชื้นสูงเป็นอย่างยิ่ง

จากการศึกษาทิศทางของลมประกอบกับความเร็วลม โดยอาศัยข้อมูลอ้างอิงในปี พ.ศ. 2538 พบว่าสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ คือ

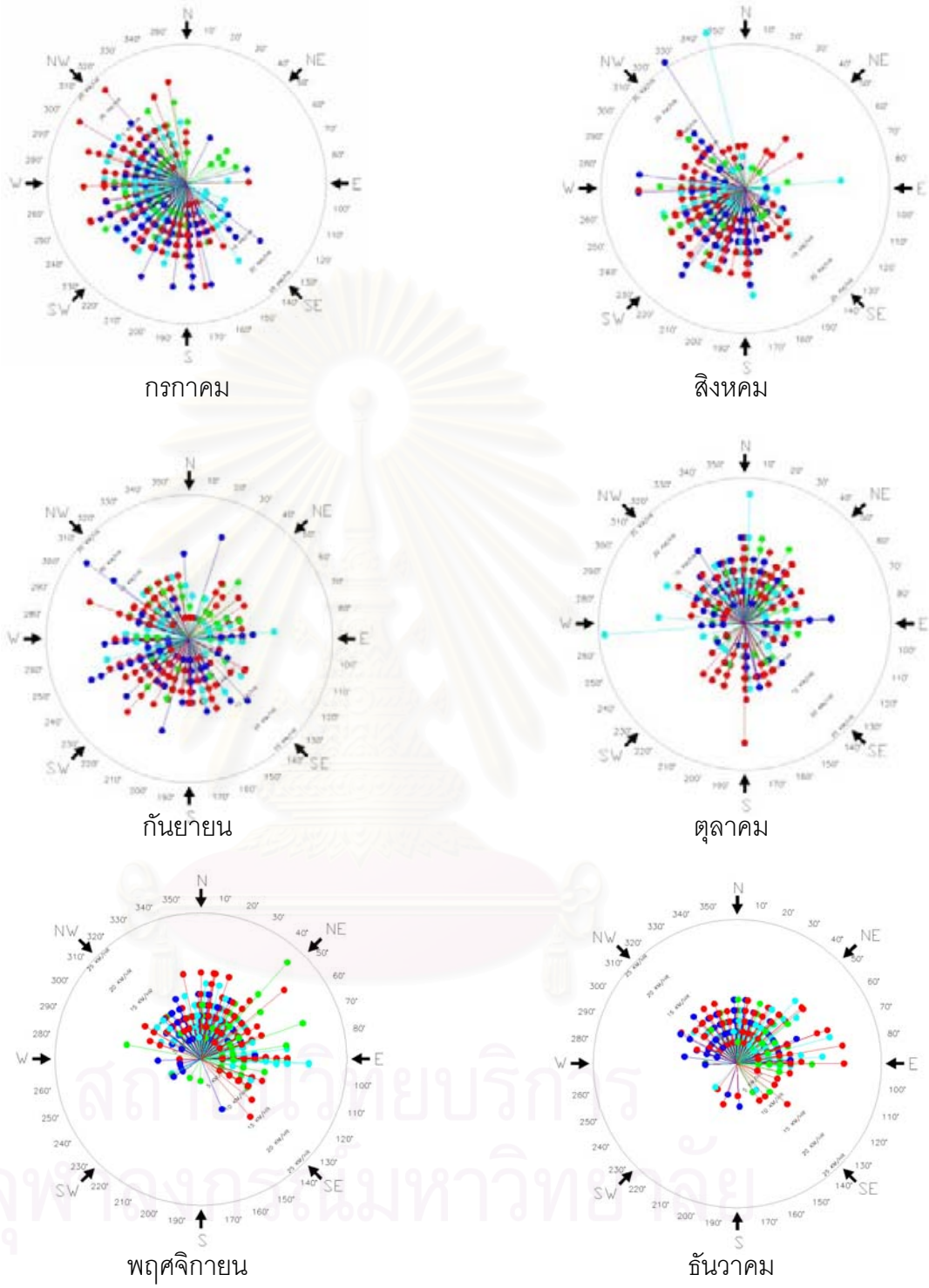
1. กลุ่มเย็นชื้นปานกลาง คือ เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ รวม 2 เดือน
2. กลุ่มร้อนชื้นมาก-ลมใต้ คือ เดือนมีนาคม เมษายน พฤษภาคม และ มิถุนายน รวม 4 เดือน
3. กลุ่มร้อนชื้นมาก-ลมแปรปรวน คือ เดือนกรกฎาคม สิงหาคม กันยายน และตุลาคม รวม 4 เดือน
4. กลุ่มเย็นแห้ง คือ เดือนพฤศจิกายน และ ธันวาคม รวม 2 เดือน

ทิศทางลมและความเร็วลมได้แสดงในแผนภูมิที่ 4.1 และแผนภูมิที่ 4.2 ผู้ออกแบบอาคารต้องพิจารณาการเลือกใช้อิทธิพลของลมให้เหมาะสม จากการศึกษาแม้จะพบว่า ทิศทางของลมที่พัดมาส่วนมากจะมาจากทิศใต้ถึงทิศตะวันตกเฉลียงใต้เป็นส่วนใหญ่ แต่ลมในทิศดังกล่าวจะมีระดับเอ็นทาลปีที่สูงมาก (ให้ศึกษาประกอบกับเรื่องอิทธิพลของความชื้น)

จากการศึกษาพบว่าข้อควรระวังอื่นในการใช้อิทธิพลของลมคือระดับความเร็วลมที่ใช้งานต้องสัมพันธ์กับกิจกรรม โดยปกติแล้วกิจกรรมที่ต้องการความสงบ เช่น การทำงานอ่านหนังสือ ต้องการความเร็วลมที่ต่ำกว่ากิจกรรมทั่วไป เช่น การเดิน นั่งเล่น หรือออกกำลังการซึ่งยอมให้มีความเร็วลมที่สูงกว่าได้



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงทิศทางและความเร็วลมรายชั่วโมง 6 เดือนแรก ของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2538 (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงทิศทางและความเร็วลมรายชั่วโมง6 เดือนหลัง ของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2538 (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)

2.5.1.2. **อิทธิพลของความชื้น** ความชื้นของอากาศจากภายนอกอาคารยังสามารถผ่านเข้ามาภายในอาคารได้หลายทาง ซึ่งมีอิทธิพลสำคัญจากความแตกต่างของค่าแรงดันไอ ซึ่งในกรณีของอาคารไม่ปรับอากาศอาจมีผลกระทบด้านพลังงานไม่มากแต่จะมีผลกระทบต่อวัสดุอื่นๆเช่น สิ่งของเสียหาย สีหลุดร่อน ผู้ใช้อาคารไม่มีความสบายตัว ปัญหาเชื้อรา เป็นต้น แต่ในกรณีปรับอากาศจะส่งผลกระทบด้านพลังงานอย่างสูงมากเนื่องจากต้องใช้พลังงานในการลดความชื้นสูงมาก (ผลกระทบด้านพลังงานจะกล่าวในหัวข้ออิทธิพลของเอ็นทาลปี ตัวอย่างเช่น

- **ความชื้นที่แทรกซึมผ่านผนังอาคาร** โดยปกติวัสดุทุกชนิดสามารถถูกความชื้นแทรกซึมเข้ามาได้แทบทั้งสิ้น แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความพรุนของวัสดุประกอบกับความดันที่ผิวภายนอกเป็นสำคัญ ซึ่งในประเทศไทยในอากาศจะมีความชื้นที่สูงมากทำให้มีโอกาสเกิดความชื้นแทรกซึมผ่านผนังได้สูง จากการศึกษาวัสดุที่นิยมใช้ในประเทศไทยพบว่าวัสดุที่ความชื้นสามารถแทรกซึมเข้ามาได้สูงสุดคือ ผนังก่ออิฐมวลเบา ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังก่ออิฐฉาบปูน2ชั้น และผนังระบบฉนวนภายนอก ตามลำดับ (สุวิชา เบญจพร 2544)

- **ความชื้นที่รั่วซึมผ่านขอบประตูหน้าต่างและช่องเปิด** ในระบบการก่อสร้างทั่วไปในประเทศไทยส่วนใหญ่มักจะมีช่องว่าง รูรั่ว และรอยแยกที่อยู่ระหว่างขอบประตูหน้าต่างกับส่วนประกอบของอาคารค่อนข้างมาก ถึงแม้จะปิดประตูหน้าต่างสนิทแล้วก็ตาม เมื่อมีความแตกต่างของแรงดันอากาศระหว่างบริเวณใต้ลมและเหนือลมเกิดขึ้น จะทำให้อากาศรั่วซึมผ่านผนังและรอยแยกต่างๆ เข้ามาภายในอาคารเป็นปริมาณมาก ในอาคารหลายๆ หลังพบว่าพลังงานที่ต้องสูญเสียในการรีดความร้อนและความชื้นเหล่านี้อาจมากกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการปรับอากาศจากการศึกษาช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ช่องเปิดบานเกร็ด บานเปิด บานเลื่อนและบานติดตายตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานต่อปีเป็นจำนวนมาก (ศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ 2544)

- **ความชื้นจากการเปิด-ปิดประตูหน้าต่าง** เมื่อมีการเปิดประตูหน้าต่างรับลมหรือเปิดเข้า-ออกจากตัวอาคารในขณะที่ภายนอกมีลมแรงพบว่า จะต้องสูญเสียพลังงานไปในการยอมให้อากาศจากภายนอกเข้ามาภายในอาคารเป็นปริมาณมาก ดังนั้นในการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงการป้องกันความชื้นในลักษณะนี้ เช่น การวางทิศทางของประตูทางเข้า-ออกหลักของอาคารควรอยู่ในทิศที่มีอิทธิพลของลมต่ำหรือใช้ประตู 2 ชั้น

- **ความชื้นจากการสะสมของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง** จากการศึกษาพบว่า เมื่อเปิดอาคารทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ ความร้อนและความชื้นจากภายนอกอาคารจะสะสมอยู่ภายในเนื้อวัสดุต่างๆ ภายในอาคาร เช่น ผนัง พื้น หรือวัสดุภายในอื่นๆ และต้องใช้พลังงาน

ปริมาณมากเพื่อลดความร้อนและความชื้นที่สะสมอยู่ในวัสดุก่อสร้างเหล่านี้ จึงควรปิดอาคารในช่วงที่มีความชื้นสูงมากกว่าการเปิดอาคารทิ้งไว้ตลอดทั้งวัน

- **ความชื้นที่สะสมในวัสดุตกแต่งภายในและเครื่องเรือน** การใช้วัสดุตกแต่งภายในอาคารตลอดจนเครื่องเรือนและเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เช่น พรมบางชนิด ผ้าม่าน โซฟา หนังสือเก่าๆ และอุปกรณ์ที่มีค่าการดูดซับความชื้นสูงจะพบว่า เมื่อเปิดอาคารทิ้งไว้ความชื้นจะสะสมอยู่ภายในวัสดุประเภทนี้เป็นจำนวนมาก

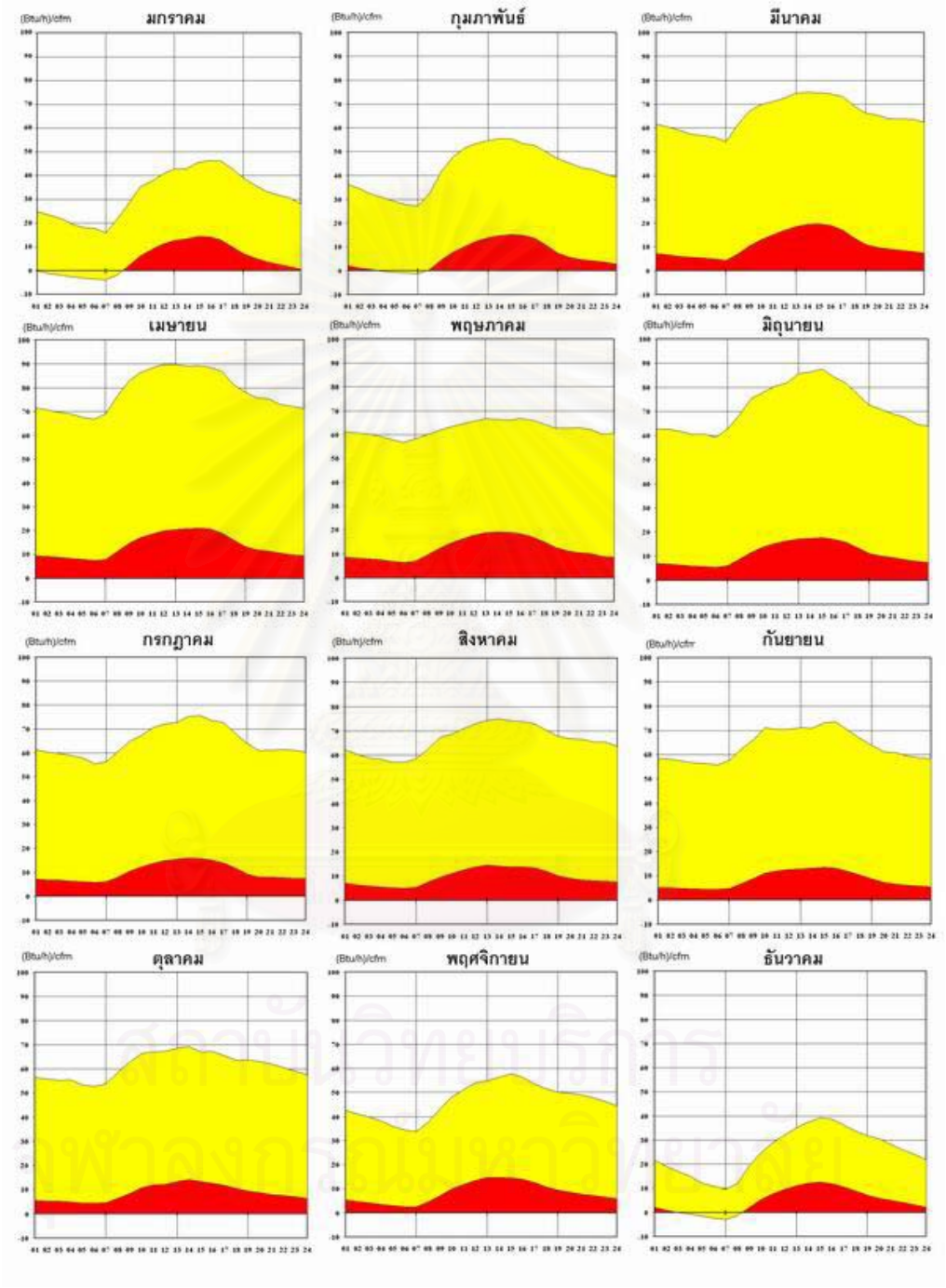
2.5.1.3. **อิทธิพลของระดับเอ็นทาลปี** เมื่อนำอากาศจากภายนอกมาปรับสภาพให้อยู่ในสภาวะสบายภายในห้องปรับอากาศ จะต้องใช้พลังงานจำนวนมหาศาลในการลดความชื้นในรูปของความร้อนแฝง (Latent load) และลดอุณหภูมิในรูปของความร้อนสัมผัส (Sensible load) หากจะเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ เมื่อนำเอาอากาศจากภายนอกมาปรับสภาพให้อยู่ในระดับที่ต้องการภายในอาคารโดยใช้ระบบปรับอากาศ พบว่า พลังงานส่วนใหญ่ต้องใช้ในการลดความชื้นมากกว่าลดอุณหภูมิให้กับอากาศหลายเท่า โดยมีปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ในเวลากลางวันและกลางคืนแตกต่างกันไม่มากนักเนื่องมาจากอิทธิพลของความชื้นที่สะสมอยู่ในอากาศ ซึ่งแสดงในแผนภูมิที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับอากาศ ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าตลอดทั้งปีจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานในการลดความชื้น (สีเหลือง) มากกว่าความร้อน (สีแดง) มากกว่าถึงประมาณ 3 เท่า

2.5.1.4. **อิทธิพลจากดวงอาทิตย์** ความร้อนจากดวงอาทิตย์หรือแสงแดดนั้นนับว่ามีอิทธิพลอย่างมากในการออกแบบอาคาร ซึ่งในประเทศไทยเองการออกแบบพยายามในการป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่ ทั้งในอาคารที่ใช้ระบบธรรมชาติและระบบเครื่องกล เนื่องจากความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่อิทธิพลสูงมากต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยในผนังทึบ (Opaque Wall) แสงแดดจะมีอิทธิพลต่อการนำความร้อน ส่วนในผนังโปร่งแสงหรือช่องเปิด (Transparent Wall) จะมีอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนเพิ่มด้วย ดังนั้นการออกแบบจึงต้องมีการป้องกันแสงแดดอย่างเต็มที่ โดยในการออกแบบต้องคำนึงถึง

- มุมและทิศทางของแดด ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากแผนภูมิดวงอาทิตย์ (Sun Chart) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากแผนภูมิคือ มุมยกของดวงอาทิตย์ (Solar Attitude) มุมวนแนวราบ (Solar Azimuth) และมุมเงาแดด (Profile Angle) เพื่อหาเทคนิคและระยะการบังแดดที่เหมาะสม

- การป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งอาจจะใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การใช้ส่วนยื่นของอาคาร การออกแบบแผงกันแดด .

โดยปกติแล้วในการออกแบบการกันแดด ผู้ออกแบบให้ความสำคัญต่อการป้องกันแดดแก่หน้าต่างและช่องเปิด เนื่องจากความร้อนในส่วนนี้มีมากกว่า



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้น (สีเหลือง) และลดอุณหภูมิให้กับอากาศ (สีแดง) (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)

2.5.1 สภาพภูมิอากาศบริเวณที่ตั้ง

2.5.1.1 การเลือกใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่

ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทยนั้น การมีต้นไม้ขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยลดความรุนแรงของอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะต้นไม้อาศัยพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์และสภาพแวดล้อมในการดำรงชีวิต โดยการดูดเอาน้ำจากใต้ดินขึ้นมาแปรสภาพให้เป็นไอน้ำผ่านออกทางปากใบ กระบวนการดังกล่าวเรียกว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงต้องใช้พลังงานความร้อนประมาณ 2.3 เมกะจูล (2,200 บีทียู) เพื่อทำให้น้ำ 1 ลิตรเปลี่ยนเป็นไอ ดังนั้น อาจประมาณการได้ว่าในช่วงเวลากลางวัน (12 ชั่วโมง) ถ้าหากต้นไม้ขนาดใหญ่ต้นหนึ่งสามารถดูดน้ำจากดินขึ้นมาแล้วแปลงสภาพน้ำให้เป็นไอในอัตราประมาณ 65 ลิตรต่อวัน ต้นไม้ต้นนั้นจะมีความสามารถในการลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมเทียบเท่ากับเครื่องปรับอากาศ 1 ตันหรือประมาณ 12.66 เมกะจูลต่อชั่วโมง (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง)

จากการที่ต้นไม้ใหญ่แต่ละต้นสามารถช่วยลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมได้มาก ดังนั้นถ้าต้องการใช้ประโยชน์จากการมีต้นไม้ใหญ่อย่างเต็มที่ ควรสร้างสภาพแวดล้อมเบื้องบนอาคารให้ปกคลุมด้วยต้นไม้ใหญ่ เพราะนอกจากจะช่วยบังเงาให้แก่อาคารแล้วยังทำให้เกิดการระเหยของน้ำยกตัวอย่าง เช่น การสร้าง Roof Garden แบบสวนป่าเขตร้อน ซึ่งจะช่วยแปรสภาพรังสีจากดวงอาทิตย์ให้กลายเป็นไอน้ำก่อนที่จะผ่านลงมายังอาคาร การเลือกใช้ต้นไม้ประเภทต่างๆ อย่างเข้าใจ เช่น ใช้ต้นไม้สูงเพื่อกรองแดดหรือสกัดกั้นแสงแดดจากด้านบน โดยมีพุ่มใบของต้นไม้เป็นตัวแปรสภาพแวดล้อมให้เย็น จากการใช้รากดูดน้ำและคายน้ำที่ใบ ผลที่ได้ก็คือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่เหนือและใต้พุ่มใบ โดยที่บริเวณด้านใต้พุ่มใบจะมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าอุณหภูมิด้านบนเหนือพุ่มใบมาก

การใช้ต้นไม้ขนาดใหญ่และขนาดกลางปลูกในบริเวณรอบๆ อาคาร นอกจากจะช่วยให้สภาพแวดล้อมใต้ต้นไม้นั้นๆ เย็นกว่าอากาศภายนอกทั่วไปเนื่องจากกระบวนการการสังเคราะห์แสงแล้ว ใบของต้นไม้ยังช่วยกรองแสงแดดที่จะส่องลงมายังผิวดินโดยตรง เป็นการป้องกันการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากแสงแดดโดยตรง และช่วยในการบังแสงแดดที่จะส่องเข้าสู่ช่องเปิดของตัวอาคารในบางมุม หรือบางเวลา

แนวทางพิจารณาในการออกแบบ

อิทธิพลของต้นไม้ใหญ่อาจช่วยทำให้อุณหภูมิใต้ต้นไม้เย็นลงในช่วงกลางวัน แต่ในเวลากลางคืนอุณหภูมิใต้ต้นไม้จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในบริเวณที่โล่งแจ้ง เพราะในที่โล่งแจ้งซึ่งร้อนกว่าใต้ต้นไม้ในเวลากลางวันนั้น เมื่อถึงเวลากลางคืนจะมีการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับ

ท้องฟ้าได้ดีกว่าอากาศใต้ต้นไม้ ทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถพัฒนาต่อเนื่องเป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อนำความเย็นที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น การนำน้ำค้างมาใช้ภายในนวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคต ดังนั้นในการเลือกใช้ต้นไม้ใหญ่จึงต้องคำนึงถึงความหนาของพุ่มใบ เพราะถ้าต้นไม้รอบๆ บริเวณอาคารมีพุ่มใบที่หนาทึบเกินไปจะทำให้อุณหภูมิใต้ต้นไม้ในเวลากลางคืนไม่เย็นลงเท่าที่ควร เพราะพุ่มใบที่หนาทึบสกัดกั้นการแลกเปลี่ยนความเย็นกับท้องฟ้า การปรับปรุงสภาพแวดล้อมจึงจำเป็นต้องพิจารณาความเหมาะสมของการใช้พุ่มไม้และขนาดต้นไม้ใหญ่อย่างเหมาะสม

2.5.1.2. **การใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดิน**

การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมในระดับที่ต่ำลงมาจากพุ่มใบของต้นไม้ใหญ่ก็คือ การใช้พืชคลุมดิน โดยเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการดูดซับเอาน้ำจากใต้ดินมาระเหย ทำให้ระดับผิวดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศมาก ในบางกรณีอุณหภูมิที่ผิวดินภายใต้พุ่มใบของพุ่มไม้ อาจมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet bulb temperature) ซึ่งจะทำให้ดินบริเวณนั้นเย็น และความเย็นดังกล่าวก็จะถูกดูดซึมเข้าสู่ผิวดินจนทำให้ดินในบริเวณนั้นสามารถส่งผ่านความเย็นต่อเนื่องกันไปถึงพื้นที่ใต้อาคารได้

นอกจากนี้แล้วยังพบว่า ในบริเวณสนามหญ้าก็มีอุณหภูมิเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศ ถึงแม้ว่าจะไม่เย็นมากเท่าอุณหภูมิภายใต้พืชคลุมดินก็ตาม (วิชัย อิทธิวิศวกุล 2539) แต่เป็นการแสดงให้เห็นว่าการที่จะทำให้สภาพแวดล้อมเย็นได้นั้นจะต้องทำให้อุณหภูมิที่ผิวดินเย็นลงเสียก่อน เพราะนอกจากจะทำให้ลมที่พัดผ่านมาเย็นลงแล้วยังทำให้บริเวณผิวของสภาพแวดล้อมเย็นลง เป็นผลให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเย็นสบาย เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวกายกับสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่าอีกด้วย เทคนิคนี้เป็นเอกลักษณ์ของสถาปัตยกรรมไทยในการสร้างสภาวะแวดล้อมบริเวณใต้ถุนอาคารให้เย็นสบาย

การปลูกหญ้าหรือพืชคลุมดิน เป็นเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้กับดิน ในขณะเดียวกันก็เป็นการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดินซึ่งจะมีผลทางด้านการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนสู่ผิวดินที่เย็นกว่า เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ นอกเหนือจากนั้นยังเป็นการเสริมสร้างบรรยากาศที่ร่มรื่นต่อสายตาและป้องกันการสะท้อนของแสงที่อาจทำให้เกิดความจ้า (Glare) ต่อสายตารวมทั้งป้องกันฝุ่นที่เกิดจากดินที่แห้งได้อีกด้วย

แนวทางพิจารณาในการออกแบบ

จากการศึกษาของสุนทร บุญญาธิการ และ บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (2539) พบว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) โดยในช่วงที่มี

อากาศร้อนจัด อุณหภูมิผิวหญ้าเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเพราะพื้นดินที่เย็นมีการกักเก็บความเย็นไว้ได้มากกว่าอุณหภูมิจึงไม่แปรปรวนตามสภาพอากาศภายนอก หากมีการศึกษาเพื่อนำความเย็นที่เกิดซึ่งอยู่ในระดับอุณหภูมิกระเปาะเปียกมาใช้ในการก่อสร้าง เช่น การสร้างผนังที่มีอุณหภูมิกระเปาะเปียกมาใช้งาน

2.5.1.3. การใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดิน

การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมในระดับที่ต่ำลงมาจากพุ่มใบของต้นไม้ใหญ่ก็คือ การใช้พืชคลุมดิน โดยเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการดูดซับเอาน้ำจากใต้ดินมาระเหย ทำให้ระดับผิวดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศมาก ในบางกรณีอุณหภูมิที่ผิวดินภายใต้พุ่มใบของพุ่มไม้ อาจมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet bulb temperature) ซึ่งจะทำให้ดินบริเวณนั้นเย็น และความเย็นดังกล่าวก็จะถูกดูดซึมเข้าสู่ผิวดินจนทำให้ดินในบริเวณนั้นสามารถส่งผ่านความเย็นต่อเนื่องกันไปถึงพื้นที่ใต้อาคารได้

นอกจากนี้แล้วยังพบว่า ในบริเวณสนามหญ้าก็มีอุณหภูมิเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศ ถึงแม้ว่าจะไม่เย็นมากเท่าอุณหภูมิภายใต้พืชคลุมดินก็ตาม (วิชัย อิทธิวิศวกุล 2539) แต่เป็นการแสดงให้เห็นว่าการที่จะทำให้สภาพแวดล้อมเย็นได้นั้นจะต้องทำให้อุณหภูมิที่ผิวดินเย็นลงเสียก่อน เพราะนอกจากจะทำให้ลมที่พัดผ่านมาเย็นลงแล้วยังทำให้บริเวณผิวของสภาพแวดล้อมเย็นลง เป็นผลให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเย็นสบาย เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวกายกับสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่าอีกด้วย เทคนิคนี้เป็นเอกลักษณ์ของสถาปัตยกรรมไทยในการสร้างสภาวะแวดล้อมบริเวณใต้ถุนอาคารให้เย็นสบาย

การปลูกหญ้าหรือพืชคลุมดิน เป็นเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้กับดิน ในขณะเดียวกันก็เป็นการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดินซึ่งจะมีผลทางด้านการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนสู่ผิวดินที่เย็นกว่า เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ นอกเหนือจากนั้นยังเป็นการเสริมสร้างบรรยากาศที่ร่มรื่นต่อสายตาและป้องกันการสะท้อนของแสงที่อาจทำให้เกิดความจ้า(Glare)ต่อสายตารวมทั้งป้องกันฝุ่นที่เกิดจากดินที่แห้งได้อีกด้วย

แนวทางพิจารณาในการออกแบบ

จากการศึกษาของสุนทร บุญญาธิการ และบัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (2539) พบว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) โดยในช่วงที่มีอากาศร้อนจัด อุณหภูมิผิวหญ้าเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเพราะพื้นดินที่เย็นมีการกักเก็บความเย็นไว้ได้มากกว่าอุณหภูมิจึงไม่แปรปรวนตามสภาพอากาศภายนอก หากมีการศึกษาเพื่อนำความเย็นที่เกิดซึ่งอยู่ในระดับอุณหภูมิกระเปาะเปียกมาใช้ในการก่อสร้าง เช่น การสร้างผนังที่มีอุณหภูมิกระเปาะเปียกมาใช้งาน

2.5.1.4. การใช้ประโยชน์จากวัสดุปูผิวดิน

นอกจากการใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดินแล้ว การเลือกใช้วัสดุปูผิวดินที่เหมาะสมก็จะช่วยให้สภาพแวดล้อมเย็นลงได้ โดยควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการดูดซับความร้อนต่ำและมีค่าการกระจายความร้อนสูงหรือเป็นวัสดุที่สามารถนำน้ำจากใต้ดินมาระเหยเป็นไอน้ำได้ดี และควรหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่มีสีเข้มและมีค่าการดูดความร้อนสูง เช่น ผิวยางมะตอย ถนนคอนกรีตโดยเฉพาะในที่ที่มีลมพัดผ่าน เพราะจะทำให้เกิดการดูดซับความร้อนไว้มาก

แนวทางพิจารณาในการออกแบบ

จากการศึกษาเรื่องมวลสาร (สุนทร บุญญาธิการ และ บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ 2539) พบว่า วัสดุที่มีมวลสารมากจะกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก เมื่อโดนแดดก็จะดูดซับความร้อนเอาไว้ได้มากทำให้สภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นร้อนขึ้นทั้งเวลากลางวันและกลางคืน การเลือกใช้ผิวหญ้าบริเวณใต้ต้นไม้ ซึ่งมีร่มเงาจึงจะเป็นการช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่า หลีกเลี่ยงการใช้พื้นที่ถนนคอนกรีตปริมาณมากๆ และปรับปรุงสภาพแวดล้อมโดยการใช้ต้นไม้และพืชคลุมดิน

2.5.1.5. ดินและการใช้ประโยชน์จากดิน

จากการศึกษาเรื่องดินและการใช้ประโยชน์จากดิน (เอนก ธีระวิวัฒน์ชัย 2539) พบว่า ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับความลึก 0.60 เมตรจากผิวดิน ประมาณ 26-27 องศาเซลเซียส การที่เราจะใช้ประโยชน์จากดินอย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการปรับปรุงสภาพของดินทั้งในส่วนผิวดินและใต้ดินให้เย็นที่สุด การปรับสภาพดินดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของต้นไม้ที่ใช้ ผสมผสานกับการทำให้ดินเปียกและมีกระแสลมพัดผ่านเพื่อทำให้เกิดการระเหยของน้ำ รวมถึงความสามารถในการกระจายความร้อนของผิวดินให้กับท้องฟ้าและใช้ต้นไม้-พืชคลุมดินที่มีลมพัดผ่านใต้พุ่มใบเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็น ถ้าสามารถทำการปรับสภาพของดินได้อย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีการต่างๆ ข้างต้นแล้ว จะเป็นผลทำให้อุณหภูมิของดินเย็นลงมากจนอาจทำให้อุณหภูมิผิวดินดังกล่าวมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.5.1.6. การใช้ประโยชน์จากลม

การใช้ประโยชน์จากลมให้ได้มากที่สุดนั้น ต้องทำให้ลมร้อนจากสภาพแวดล้อมพัดผ่านบริเวณที่เย็นเช่น ใต้ร่มไม้ หรือใกล้ระดับผิวดิน ก่อนที่จะพัดเข้าสู่ตัวนวัตกรรมที่อยู่อาศัย ซึ่งจะทำให้ภายในนวัตกรรมที่อยู่อาศัยได้รับอากาศที่มีอุณหภูมิเย็นลงจากสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวถึงแม้จะทำให้ได้อากาศที่เย็นลง แต่ก็เป็นอากาศที่มีความชื้นสูงมาก ถ้ามีการนำเอาอากาศดังกล่าวเข้ามาในอาคารที่มีการปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศก็จะเกิด

ผลเสียมากกว่าผลดี เนื่องจากปริมาณความชื้นในอากาศนั้นสูงเกินไป ทำให้ระบบเครื่องปรับอากาศต้องทำงานอย่างหนักและใช้พลังงานมากในการขจัดความชื้นที่เข้าสู่อาคาร จากการศึกษาพบว่า การนำเอาอากาศร้อนแต่แห้งกว่าเข้ามาในระบบปรับอากาศ จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า

ในการออกแบบนวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคตที่มีระบบปรับอากาศนั้น บางครั้งพบว่าถ้าปิดประตูหน้าต่างทั้งหมด โดยปล่อยให้กระแสลมภายนอกที่เย็นและชื้น พัดผ่านเฉพาะรอบอาคารภายนอก กลับจะเป็นผลดีมากกว่าการปล่อยให้อากาศดังกล่าวผ่านเข้ามาภายในอาคาร แต่ต้องมีการป้องกันการรั่วซึมของอากาศเป็นอย่างดี ในกรณีที่ต้องการระบายอากาศด้วยระบบธรรมชาติ สำหรับอาคารที่ได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องแล้วนั้นช่วงเวลาที่สามารถนำระบบธรรมชาติมาใช้ได้เป็นช่วงเวลาหัวค่ำจนถึงเช้าตรู่เท่านั้น เพราะเป็นช่วงที่อากาศภายนอกมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้สร้างสภาวะสบายมากที่สุด ดังนั้นถ้าสามารถออกแบบนวัตกรรมที่อยู่อาศัยที่ดี มีความสามารถในการป้องกันความร้อนและความชื้นอย่างสมบูรณ์ และมีอุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกแล้ว ด้วยความสามารถของการลดความรุนแรงของสภาพอากาศ ส่งผลให้อาคารไม่จำเป็นต้องเปิดประตู-หน้าต่างให้อากาศภายนอกผ่านเข้ามาภายในอาคารอีกต่อไป

2.5.1.7. **การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ**

การระเหยของน้ำทำให้อากาศเย็นลงแต่ชื้นกว่าเดิม จึงต้องหาทางลดการสะสมความชื้นและ มีการระบายอากาศที่ดี

แหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่มีความลึกตั้งแต่ 1.50 เมตรขึ้นไป สามารถใช้เป็นแหล่งสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อมได้ โดยการให้กระแสลมที่พัดผ่านบริเวณผิวหน้าของน้ำที่เย็นและแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศนั้นนำเข้ามาภายในอาคาร แต่มีข้อควรระวังในเรื่องของความชื้นที่มากับลมด้วย จะพบว่าเมื่อลมพัดผ่านผิวน้ำในระยะทางที่ยาวเพียงพอ อุณหภูมิอากาศจะค่อยๆ เย็นลงไปพร้อม ๆ กับความชื้นที่เพิ่มขึ้น ผลที่ได้ก็คืออากาศที่มีอุณหภูมิเย็นลงกว่าเดิมแต่มีความชื้นเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่นอากาศที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพัดผ่านพื้นน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียสในบริเวณกว้าง จะทำให้อุณหภูมิของอากาศที่พัดผ่านแหล่งน้ำนั้นมีอุณหภูมิลดต่ำลงได้ถึง 3 องศาเซลเซียส (สุนทร บุญญาธิการ และบัณฑิต เอื้ออาภรณ์ 2539) หรือมีอุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส ในขณะที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 50 เปอร์เซ็นต์เป็น 58 เปอร์เซ็นต์

ในเชิงปฏิบัติแล้ว ถ้านำเอาอากาศภายนอก (Fresh Air) ดังกล่าวมาใช้ในอาคารจะไม่เป็นการช่วยลดการใช้พลังงาน เนื่องจากอากาศนั้นมีความชื้นมากขึ้นกว่าเดิม แต่ในสภาพทั่ว

ไป ที่มีลมพัดหรือมีอากาศถ่ายเทสะดวก ความชื้นก็จะไม่สะสมมากนัก เมื่อมีลมพัดผ่านโดยรอบอาคารและสภาพแวดล้อมจะเป็นการสร้างความร่มเย็นให้กับสภาพแวดล้อมและช่วยลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งจะเป็นการลดภาระในการทำความเย็นให้กับอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

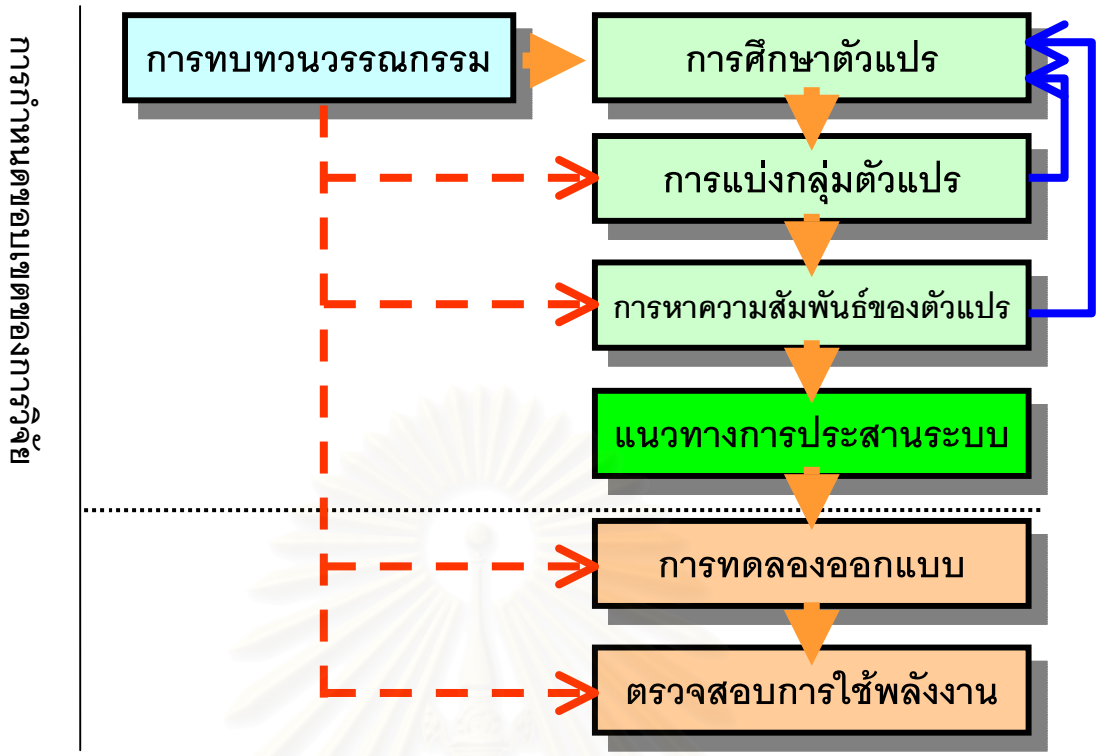
ในการดำเนินการวิจัย เพื่อศึกษาค้นคว้าเรื่อง การออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการค้นหาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด เพื่อนำมาหาแนวทางการประสานระบบต่อไป โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดขอบเขตของการศึกษา
2. วิธีการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบประสานระบบ
3. วิธีการแบ่งกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบประสานระบบ
4. วิธีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร
5. วิธีการศึกษาประยุกต์ใช้การออกแบบประสานระบบ

ซึ่งลำดับขั้นตอนในการวิจัยในรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของการศึกษาโดยเริ่มจากการกำหนดขอบเขตของการวิจัย เพื่อจะได้กำหนดทิศทางและระดับของการศึกษาให้ถูกต้องและชัดเจน การทบทวนวรรณกรรมซึ่งต้องมีการศึกษาโดยตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ต่อจากนั้นเป็นการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการพลังงานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก โดยศึกษาลงลึกในรายละเอียดของแต่ละตัวแปรเพื่อทราบถึงอิทธิพลด้านพลังงานในอาคาร และเป็นเกณฑ์ในการจัดกลุ่มตัวแปรต่อไป ซึ่งในการจัดกลุ่มของตัวแปร ได้แบ่งกลุ่มออกตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบ เพื่อความสะดวกในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละกลุ่ม ซึ่งในการศึกษาความสัมพันธ์จะศึกษาความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีความสำคัญต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร เพื่อที่จะได้นำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาสร้างเกณฑ์ในการออกแบบในขั้นตอนต่อไป โดยระหว่างการศึกษาอาจจะมีการศึกษาย้อนกลับไป-มาระหว่าง การศึกษาตัวแปร การแบ่งกลุ่มตัวแปร และการหาความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อที่จะได้รวบรวมข้อมูลของตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างครบถ้วน

เมื่อได้เกณฑ์ในการออกแบบแล้ว จึงนำมาทดลองออกแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน และนำอาคารที่ได้ออกแบบมาวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป OTTVEE 1.0a และนำมาเปรียบเทียบกับอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไป เพื่อที่จะได้ทราบผลในการประหยัดพลังงานในอาคารต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของการศึกษาการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการพลังงานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

3.1 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ในการศึกษาการออกแบบประสานระบบที่ผ่านมามีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบจำนวนมาก โดยเฉพาะในส่วนของการศึกษางานระบบ (Mechanical System) และการศึกษาที่มุ่งเน้นด้านพลังงานยังไม่มีแนวทางที่ชัดเจน ในการศึกษาจึงมีความจำต้องจำกัดขนาดของอาคารให้เหมาะสมเพื่อความสะดวกในการศึกษา ในการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเฉพาะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประสานระบบในอาคารสาธารณะขนาดเล็กเท่านั้น ส่วนตัวแปรอื่นที่ไม่ได้ปรากฏในอาคารสาธารณะขนาดเล็กจะระบุในข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

3.1.1 การกำหนดลักษณะอาคารที่ทำการศึกษา

เพื่อให้สามารถวิจัยหรือศึกษาเพิ่มเติมได้อย่างสะดวก ซึ่งได้มีการกำหนดขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. เป็นอาคารที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย แต่เนื่องจากระยะเวลาที่จำกัดจึงกำหนดให้อาคารตัวอย่างมีที่ตั้งและสุ่มตัวอย่างกระจายตามจุดต่างๆ ทั่วกรุงเทพมหานคร

2. เป็นอาคารที่ไม่ต้องพึงพาพลังงานจากแหล่งอื่น หรือไม่มีการต่อพ่วงพลังงานสำหรับการใช้ประโยชน์อื่นภายนอกอาคาร เพื่อจะได้รับทราบการใช้พลังงานที่แท้จริงของอาคารตัวอย่างนั้น

3. อาคารตัวอย่างต้องเป็นอาคารที่มีส่วนปรับอากาศติดกับภายนอกอาคาร

4. เป็นอาคารสาธารณะที่มีผู้ใช้อาคารจำนวนมากกว่า 50 คนต่อวัน และมีการเข้าออกอาคารจำนวนมากกว่า 100 ครั้งต่อวัน เนื่องจากเป็นลักษณะเด่นของอาคารประเภทนี้ซึ่งมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารที่แตกต่างจากอาคารประเภทอื่น

5. ขนาดพื้นที่ปรับอากาศของอาคารไม่ควรเกิน 200 ตารางเมตรและไม่เล็กกว่า 50 ตารางเมตร เนื่องจากมีขนาดที่พอเหมาะและเป็นขนาดที่พบได้จำนวนมาก

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

จากขอบเขตของและข้อจำกัดทางด้านเวลาในการศึกษา ผู้วิจัยจึงได้กำหนดเครื่องมือเพื่อช่วยในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. การรวบรวมจากเอกสารวิชาการและตำราต่างๆ โดยอาศัยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่มีผู้ได้ทำการวิจัยก่อนหน้านี้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความสัมพันธ์ และการคัดเลือกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งเอกสารวิชาการหรือตำราดังกล่าวต้องเป็นที่ยอมรับในวงวิชาการทั่วไป

2. การใช้หุ่นจำลอง สำหรับในกรณีที่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์หรืออิทธิพลที่ชัดเจนได้ อาจใช้วิธีการสร้างหุ่นจำลองประกอบเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น แต่หุ่นจำลองดังกล่าวจะไม่สามารถบอกถึงระดับนัยสำคัญระหว่างตัวแปรได้ เพียงแต่บอกถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดความสัมพันธ์ของตัวแปร ซึ่งหุ่นจำลองอาจจะเป็นการสร้างหุ่นเพื่อทดสอบจริง หรือการสร้างหุ่นจำลองในคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ตามความเหมาะสม

3. การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล และการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งในการวิจัยนี้ได้อาศัย โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป OTTVEE 1.0a ในการวิเคราะห์พลังงานในอาคาร

3.2 วิธีการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบประสานระบบ

ในการค้นหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานซึ่งมีเป็นจำนวนมากในอาคาร ต้องมีขั้นตอนในการศึกษาที่ชัดเจนแลรอบคอบ เพื่อที่จะไดตัวแปรที่ครอบคลุมการใช้พลังงานในอาคารจริงๆ ซึ่งในการวิจัยขั้นนี้ได้มีการกำหนดขั้นตอนและวิธีการศึกษาคือ

3.2.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ในการศึกษาตัวแปรจำนวนมากพบว่า ต้องมีการกำหนดรูปแบบของตัวแปรให้ชัดเจนเพื่อสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประยุกต์ในการประสานระบบได้จริง จึงได้กำหนดรูปแบบของตัวแปรดังนี้

3.2.1.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือตัวแปรที่ผู้วิจัยต้องการทราบถึงอิทธิพลที่มีต่อการใช้พลังงานในอาคาร เมื่อทำการศึกษาพบว่าประกอบด้วย

ก. ตัวแปรต้น คือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร จากการทบทวนทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าตัวแปรต้นมีดังต่อไปนี้

- อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร
- อิทธิพลของรูปแบบของอาคารและเทคนิคการก่อสร้าง
- อิทธิพลของการใช้งานอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

ข. ตัวแปรตาม คือจำนวนและลักษณะของตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

- อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งมีอิทธิพลที่ค่อนข้างสูง เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางของแสงแดด ทิศทางและความเร็วของลม สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร ต้นไม้ วัสดุปูผิวดิน แหล่งน้ำ
- อิทธิพลของรูปแบบของอาคารและเทคนิคการก่อสร้างที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารจากการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุประกอบอาคาร เช่น การออกแบบกรอบอาคาร ระบบโครงสร้าง ระบบปรับอากาศ ระบบเครื่องกล ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบไฟฟ้ากำลังและสื่อสาร ระบบสุขาภิบาล ระบบดับเพลิงและรักษาความปลอดภัย
- อิทธิพลของการใช้งานอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ประกอบด้วย ประเภทผู้ใช้อาคาร ระบบควบคุมและการใช้งาน การบริหารจัดการอาคาร การบำรุงรักษา

3.2.1.2 ตัวแปรที่ไม่ได้ทำการศึกษา เป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยไม่สามารถศึกษาได้เนื่องจากเหตุผลบางประการ เช่น จากการจำกัดตัวแปร เป็นต้น ประกอบด้วย

ก. ตัวแปรแทรกซ้อน คือตัวแปรที่มีแนวโน้มที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต้นแต่ผู้วิจัยไม่อาจศึกษาประกอบ ได้แก่

- เทคโนโลยีที่มีการพัฒนาขึ้นมาใหม่ระหว่างการวิจัย ซึ่งอาจส่งผลให้ตัวแปรที่ทำการศึกษามีผลต่อการใช้พลังงานแตกต่างไป จึงได้กำหนดระดับของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องไว้เท่าที่พบในปี พ.ศ. 2548

- ข้อมูลพื้นฐานด้านสภาพภูมิอากาศ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการวิจัยซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมได้ การวิจัยนี้อาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร 10 ปีจาก พ.ศ. 2524 – พ.ศ. 2534

- ความต้องการพื้นที่ใช้สอยของอาคาร ซึ่งผู้ออกแบบจะทำการกำหนดให้เหมาะสมกับการวิจัยในขั้นต่อไป

3.2.1 ขั้นตอนในการศึกษา

การศึกษาในหัวข้อนี้ประกอบด้วยตัวแปรจำนวนมาก เนื่องจากต้องทำการศึกษาระบบที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและก่อสร้างทั้งหมดที่มีอยู่ในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก และต้องมีการนำผลที่ได้ในแต่ละขั้นตอนมาประกอบการศึกษาในขั้นตอนต่อไป วิธีการศึกษาจึงได้กำหนดขั้นตอนเพื่อให้สามารถสรุปผลในแต่ละขั้นตอนได้อย่างถูกต้องดังนี้

1. ทำการศึกษาอาคารสาธารณะอย่างละเอียด โดยการนำอาคารที่พบเห็นได้โดยทั่วไปมาใช้เป็นตัวอย่างศึกษาวิเคราะห์ประกอบกับเวลาในการวิจัยที่ค่อนข้างจำกัด จึงได้กำหนดจำนวนที่จะทำการศึกษา 10 อาคาร โดยวิธีการคัดเลือกมีเกณฑ์ดังนี้
   - เป็นอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่มีพื้นที่ใช้สอยไม่ต่ำกว่า 50 ตารางเมตรแต่ไม่เกิน 200 ตารางเมตร
   - เป็นอาคารที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปและมีประโยชน์ใช้สอยที่แตกต่างกัน
   - มีการใช้ระบบปรับอากาศ และรูปแบบการใช้พลังงานในอาคารแต่ละช่วงเวลาคงที่และแน่นอน
2. ตรวจสอบข้อมูลทั่วไปและการใช้พลังงานในอาคารอันเป็นประโยชน์ต่อการนำมาหาสัดส่วนการใช้พลังงานและอิทธิพลจากตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย พื้นที่ใช้สอย ระยะเวลาการใช้งาน ค่าไฟฟ้า เพื่อนำมาหาสัดส่วนการใช้พลังงาน เพื่อจะได้ทราบถึงภาพรวมของการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก
3. วิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อจะได้ทราบถึงสาเหตุในการใช้พลังงานในอาคาร และตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุด
4. วิเคราะห์ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

3.2.2 วิธีการศึกษา

จากขั้นตอนในการศึกษาสามารถนำมาเลือกอาคารตัวอย่างและกำหนดวิธีการศึกษาได้ดังนี้

1. อาคารที่จะนำมาเป็นตัวอย่างในการศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมากตั้งแต่พื้นที่ใช้สอย ประโยชน์ใช้สอย และรูปแบบการใช้พลังงานในอาคาร จึงทำการเลือกอาคารตัวอย่างจำนวน 10 อาคารมีดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอาคารที่นำมาเป็นตัวอย่างและสาเหตุที่เลือกมาใช้

อาคาร	ประเภท	สาเหตุที่เลือก
1. ร้านเซเว่น-อีเลฟเว่น	ร้านค้า	พบเห็นได้ง่าย และรูปแบบการใช้พลังงานที่ชัดเจน และใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง
2. ร้านไทเกอร์มาร์ท	ร้านค้า	มีการใช้กระจกจำนวนมาก และการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง สามารถใช้เป็นตัวแทนของอาคารที่มีการใช้กระจกจำนวนมาก
3. ร้าน 24 Internet	ร้านค้า	มีการใช้พลังงานไฟฟ้ากับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ที่โดดเด่นกว่าอาคารอื่นๆ สามารถใช้เป็นตัวแทนของอาคารที่ใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์สำนักงานจำนวนมากได้
4. ร้านต้นข้าวหอม	ร้านอาหาร	มีการใช้งานที่ก่อให้เกิดความร้อนในอาคารจากกิจกรรม เช่น อาหาร และอุปกรณ์อื่นๆในอาคารที่แตกต่างจากอาคารอื่นๆ สามารถใช้เป็นตัวแทนของร้านอาหาร
5. Mirror & Matches	ร้านอาหาร	มีการใช้พลังงานที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร การเข้าออกอาคารที่โดดเด่นกว่าอาคารอื่นๆ สามารถใช้เป็นตัวแทนของร้านค้ากลางคืน
6. Fishing Pub	ร้านอาหาร	มีการใช้งานที่ก่อให้เกิดความร้อนในอาคาร การเข้าออกอาคารที่โดดเด่นกว่าอาคารอื่นๆ
7. บริษัท อินฟินิตี้	สำนักงาน	มีการใช้งานที่แตกต่างจากอาคารอื่น สามารถใช้เป็นตัวแทนของสำนักงานขนาดเล็ก
8. นิพันธ์โพลีคลีนิค	ศูนย์บริการ	มีการใช้พลังงานในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและกิจกรรมของผู้ใช้งานที่โดดเด่นกว่าอาคารอื่นๆ และมีการใช้งาน 24 ชั่วโมง
9. ศาลาประชาคมฯ	ศูนย์บริการ	มีลักษณะการใช้งานและการเข้าออกอาคารที่แตกต่างจากอาคารอื่นๆ สามารใช้เป็นตัวแทนของสำนักงาน
10. XXX Fitness	ศูนย์บริการ	มีการใช้พลังงานที่เกิดจากผู้ใช้อาคารแตกต่างจากอาคารอื่นๆ สามารถใช้เป็นตัวแทนของอาคารที่เกิดกิจกรรมขนาดหนักได้

นอกจากนี้ยังต้องมีการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารงานวิจัย และหนังสือตำราต่างๆ โดยนำหัวข้อต่างๆที่ได้มีการกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบ ทั้งทางสถาปัตยกรรม วิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมงานระบบต่างๆ และการออกแบบภายใน มาทำการศึกษา เพื่อหาค้นตัวแปรที่ได้รับการกำหนดในสาขาวิชาต่างๆ แล้วจึงนำมาสรุปเป็นหัวข้อที่จำทำการศึกษาต่อ ซึ่งเอกสารดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

เอกสารภาษาไทย

- คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร โดย กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน.
- เทคนิควิทยาการอาคาร โดย เรืองศักดิ์ กันตะบุตร
- การออกแบบประสานระบบ กรณีศึกษา: ธนาคารกสิกรไทย สำนักงานใหญ่ ราษฎร์บูรณะ โดย สมสิทธิ์ นิตยะ
- การเลือกวัสดุเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน โดย สุนทร บุญญาธิการ
- การออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบเมืองไทย โดย สุนทร บุญญาธิการ
- การออกแบบประสานระบบ มหาวิทยาลัยชินวัตร โดย สุนทร บุญญาธิการ
- เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า โดย สุนทร บุญญาธิการ
- บ้านชีวาทิตย์ บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน โดย สุนทร บุญญาธิการ
- การปรับอากาศ โดย อัครเดช สินธุภัค

เอกสารภาษาอังกฤษ

- ASHRAE. Handbook of Fundamentals (2001).
- ASHRAE. Handbook of HVAC Application (1999).
- Architectural Design: Integration of Structural and Environmental System โดย Bovill, Carl
- Thermal Comfort โดย Fanger, O.P.
- Man Climate and Architecture โดย Givini, B
- Structure System. โดย Heino Engel and Gerd Hatje Publishers
- Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency โดย Kreider, F., and others.
- Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design โดย McQuiaton, C., and others
- The Building System Integration handbook โดย Richard D. Rush
- Mechanical And Electrical Equipment for Building โดย Stein, B. and Reynolds,S.
- Climate Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices โดย Watson, D. and Kenneth, L

2. ตรวจสอบข้อมูลทั่วไปและการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธีการดังนี้

- พื้นที่ใช้สอย โดยการวัดระยะและมาคำนวณหาพื้นที่ใช้สอยเฉพาะในพื้นที่ปรับอากาศ

- ระยะเวลาการใช้งาน โดยนำเอาเวลาปกติที่ใช้งานจริงมาใช้เท่านั้นจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ของอาคารนั้น

- ค่าไฟฟ้า โดยการนำเอาข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อยหลังอย่างน้อย 3 เดือนมาหาค่าเฉลี่ย และอาคารที่ทำการศึกษาต้องไม่มีการใช้พลังงานในส่วนไม่ปรับอากาศมากเกินไป

- วิเคราะห์การใช้พลังงานพิจารณาลักษณะการใช้ไฟฟ้าโดยรวมจากการสังเกตหรือการสัมภาษณ์โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ

3. วิเคราะห์หาอิทธิพลการใช้พลังงานที่สำคัญโดยเฉพาะการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ OTTVEE Version 1.0a โดยแบ่งออกเป็น 7 ส่วนดังนี้

- ภาระการปรับอากาศจากผนัง โดยพิจารณานำความร้อนผ่านวัสดุผนังทึบในส่วนที่ติดต่อกับภายนอกหรือส่วนไม่ปรับอากาศ และความร้อนสะสมในผนังทึบ

- ภาระการปรับอากาศจากกระจก โดยพิจารณานำความร้อนและความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านวัสดุผนังโปร่งแสง และความร้อนสะสมในผนังโปร่งแสง

- ภาระการปรับอากาศจากหลังคา โดยพิจารณานำความร้อนผ่านวัสดุหลังคา และความร้อนสะสมในหลังคา

- ภาระการปรับอากาศจากพื้น โดยพิจารณานำความร้อนผ่านวัสดุพื้นที่ติดต่อกับภายนอกอาคารหรือส่วนไม่ปรับอากาศ และความร้อนสะสมในผนัง

- ภาระการปรับอากาศจากการรั่วซึมของอากาศ โดยพิจารณาการรั่วซึมของจากการหมุนเวียนอากาศ การรั่วซึมผ่ารอยต่ออาคารทุกจุด และการรั่วซึมจากการเปิดประตูหรือหน้าต่าง

- ภาระการปรับอากาศจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร โดยพิจารณาจากความร้อนที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ เช่นหลอดไฟ ตู้เย็น เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นต้น

- ภาระการปรับอากาศจากผู้ใช้งาน โดยพิจารณาความร้อนและความชื้นที่เกิดจากผู้ใช้อาคารตามหลักมาตรฐาน

4. การหาตัวแปรที่สำคัญทำได้โดยการพิจารณาจากสัดส่วนการใช้พลังงาน ซึ่งต้องแสดงออกมาในรูปของสัดส่วน ร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ที่สามารถทำความเข้าใจง่าย และสามารถนำผลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดหลักการออกแบบประสานระบบได้

3.3 วิธีการแบ่งกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบประสานระบบ

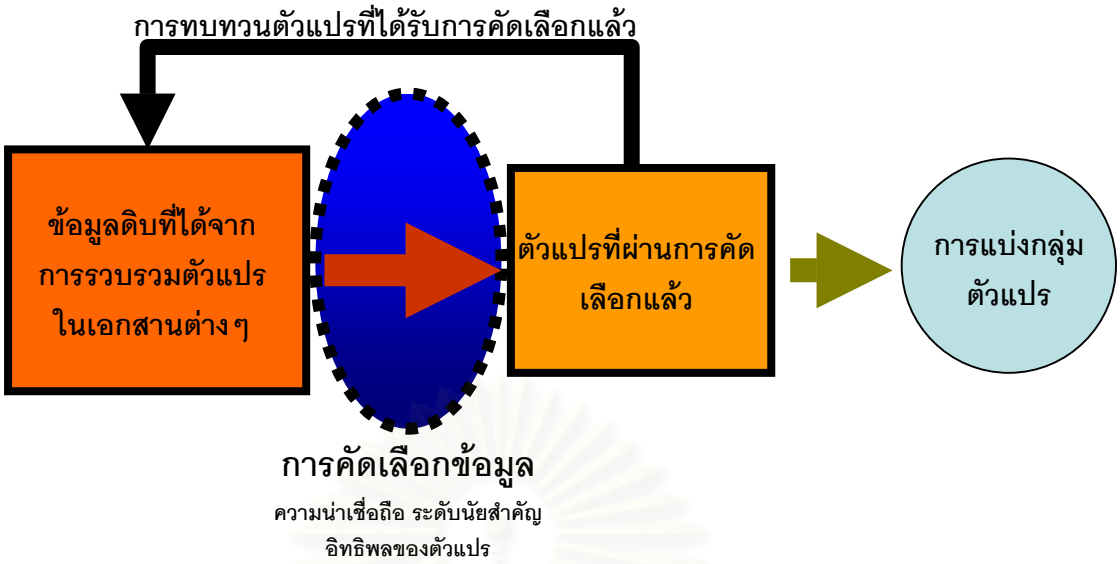
เพื่อความสะดวกในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป จำเป็นที่จะต้องจัดกลุ่มของตัวแปรตามอิทธิพลที่มีต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มของตัวแปรดังนี้

1. กลุ่มของตัวแปรต้องง่ายต่อความเข้าใจ
2. ตัวแปรในกลุ่มต้องมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในลักษณะเดียวกันและสามารถอธิบายถึงอิทธิพลต่อการใช้พลังงานได้อย่างชัดเจน เช่น การเลือกใช้ผนังภายนอกกับการเลือกเครื่องปรับอากาศ เป็นอิทธิพลที่เกิดจากการออกแบบ เป็นต้น
3. ตัวแปรในกลุ่มต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มที่เป็นลักษณะเดียวกัน เช่น การเลือกใช้ผนังภายนอกกับการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเป็นต้น

เมื่อกำหนดเกณฑ์ดังกล่าวพบว่า ตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีเป็นจำนวนมากซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันไป สามารถกำหนดกลุ่มของตัวแปรได้ 3 กลุ่มดังนี้

1. กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม (Site and Climate) ซึ่งเป็นลักษณะของอิทธิพลภายนอก เช่น อุณหภูมิอากาศ แสงแดด ลม เป็นต้น
2. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคารและระบบประกอบอาคาร (Building and System) เป็นกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ เช่น ผนัง กระจก เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น
3. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคาร (User and Operation) เป็นกลุ่มของตัวแปรประเภทอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับ 2 กลุ่มข้างต้น แต่ส่งผลต่อการใช้งานอาคาร เช่น พฤติกรรมผู้ใช้อาคาร การบำรุงรักษาอาคาร เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



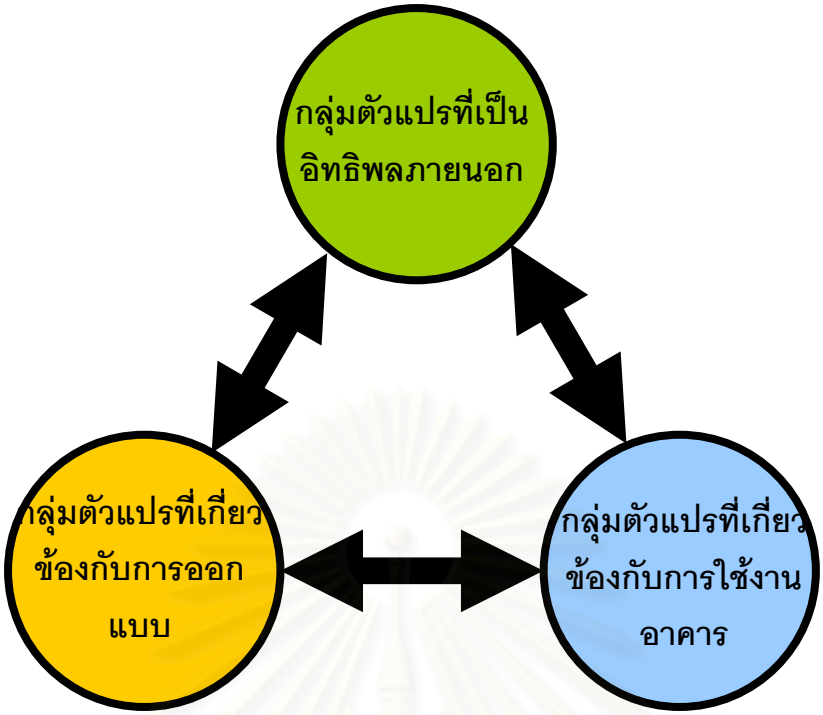
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนของการรวบข้อมูลและการคัดเลือกข้อมูลให้มีความเหมาะสม

3.4 วิธีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า กลุ่มตัวแปรในข้างต้นมีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 3.3 ซึ่งมีรายละเอียดของความสัมพันธ์ในเบื้องต้นดังนี้

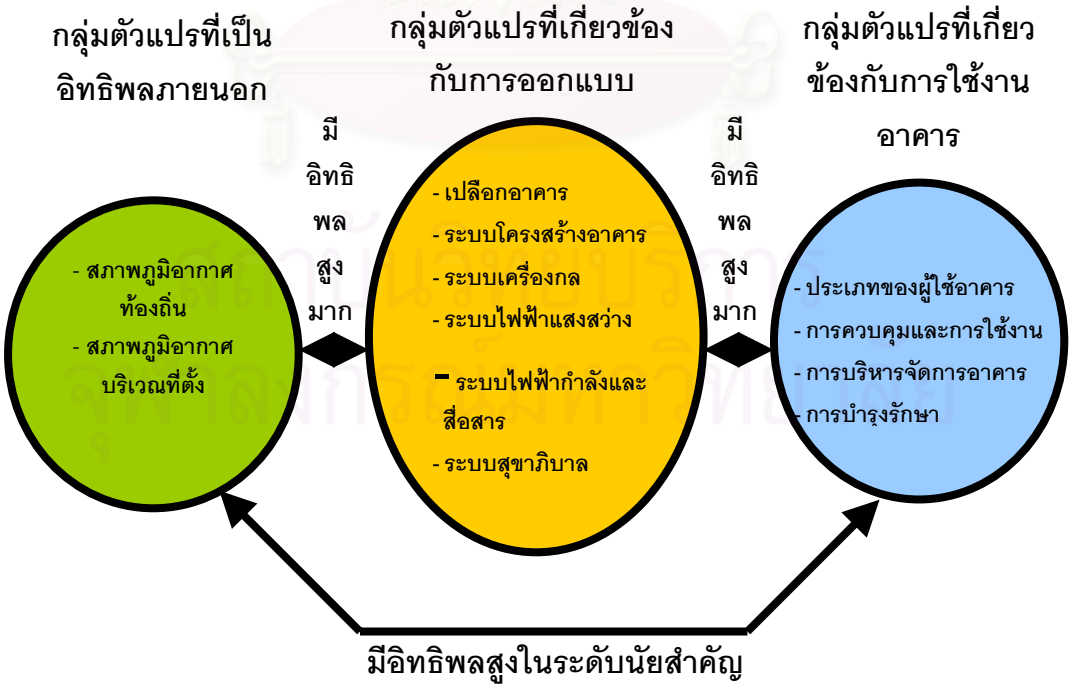
1. ความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรที่เป็นอิทธิพลภายนอก กับ กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกันและกัน
2. ความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรที่เป็นอิทธิพลภายนอก กับ กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคาร ซึ่งอยู่ในรูปแบบของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกันและกัน
3. ความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ กับ กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคาร ซึ่งอยู่ในรูปแบบของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกันและกัน

ซึ่งการกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ในเบื้องต้น เป็นไปเพื่อความสะดวกในการศึกษาระดับลึกต่อไป ซึ่งผู้วิจัยจะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากในการวิจัย



รูปที่ 3.3 แสดงกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร พบว่าในแต่ละกลุ่มตัวแปรจะมีตัวแปรย่อยที่เกี่ยวข้องอย่างมากมาย ซึ่งเป็นรูปแบบของฟังก์ชั่นแบบมากไปมาก (Function Many to Many) หมายความว่าในแต่ละตัวแปรย่อยจะมีอิทธิพลต่อกัน ดังที่แสดงในภาพ



รูปที่ 3.4 แสดงแนวโน้มอิทธิพลของแต่ละกลุ่มตัวแปรที่มีผลต่อกัน

ดังนั้นในการศึกษาจำเป็นต้องเข้าใจความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรที่มีต่อกัน โดยในการศึกษาความสัมพันธ์จะสรุปออกมาในรูปแบบของตารางความสัมพันธ์ ซึ่งจะแสดงออกมาเป็น 3 ระดับ

1.ตัวแปรที่มีอิทธิพลในระดับสูงสุด หมายความว่า ตัวแปรดังกว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมากในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งผู้ออกแบบจะละเลยไม่ได้

2.ตัวแปรที่มีอิทธิพลในระดับรอง หมายความว่า ตัวแปรดังกว่ามีความสัมพันธ์กันในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งหากผู้ออกแบบให้ความสำคัญจะช่วยในอาคารประหยัดพลังงานได้สูงมากขึ้น แต่หากไม่ให้ความสำคัญจะมีผลต่อการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าตัวแปรที่ไม่มีอิทธิพลต่อกันเลยหรือมีอิทธิพลต่ำมาก จนไม่มีความสำคัญในระดับนัยสำคัญ

3.5 วิธีการศึกษาประยุกต์ใช้การออกแบบประสานระบบ

ในการศึกษาการประยุกต์ใช้การออกแบบประสานระบบ เป็นการนำความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ได้ทำการศึกษามาใช้ออกแบบอาคาร โดยมีวิธีการดังนี้

3.5.1 วิธีการศึกษา

วิธีในการศึกษาการประยุกต์การออกแบบประสานระบบ จำเป็นต้องทำการทดลองเปรียบเทียบอาคาร 2 หลังที่มีที่ตั้งการ พื้นที่ และใช้งานอาคารที่มีลักษณะเดียวกันนำมาเปรียบเทียบการใช้พลังงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การออกแบบอาคารที่ใช้แนวคิดในการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดกลางมาใช้ เปรียบเทียบกับอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไปตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้

2. การเปรียบเทียบศักยภาพด้านพลังงานในอาคาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ OTTVEE 1.0a ซึ่งนำมาใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคาร โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

- การเปรียบเทียบค่า OTTV และ RTTV และการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารเพื่อทราบถึงประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารทั้งสอง

- การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคาร โดยต้องแสดงภาระการใช้พลังงานในส่วนต่างๆ ให้ชัดเจน ได้แก่ ภาระในรวมของอาคาร ภาระจากการปรับอากาศ ภาระจากไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ต่างๆ

- พิจาณาค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยพิจารณาเป็นรายเดือนและรายปีเปรียบเทียบกัน

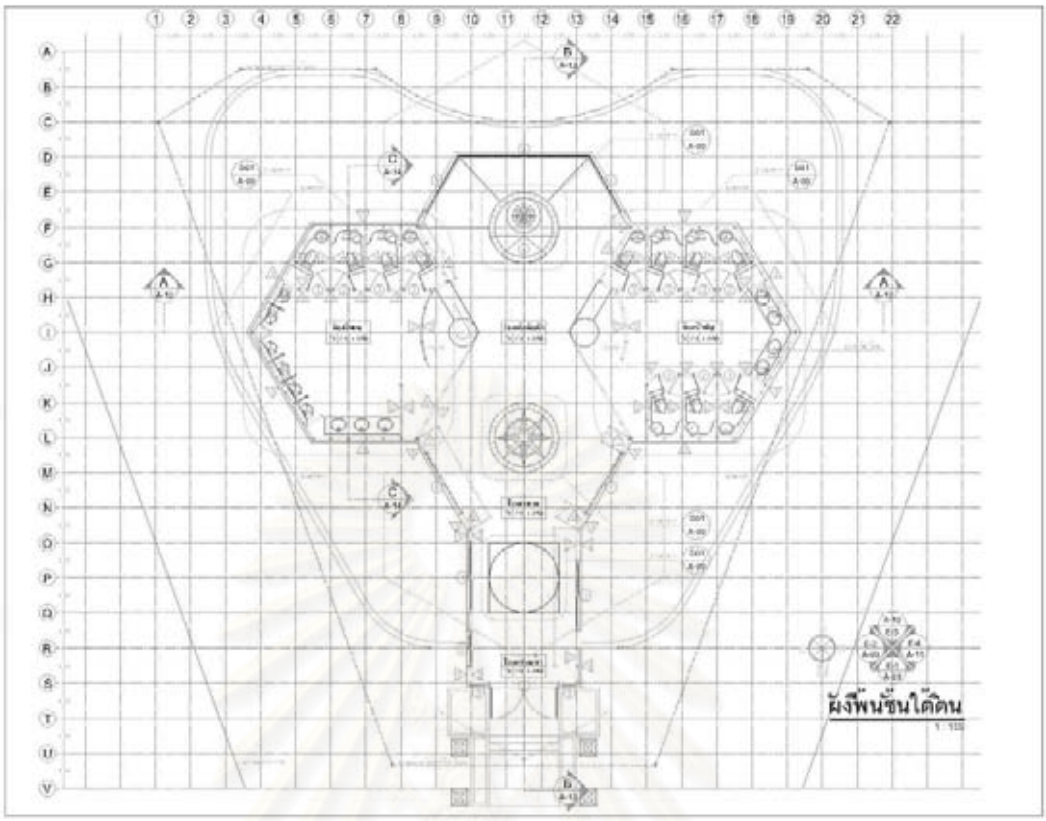
- พิจารณาค่าก่อสร้าง เพื่อหาข้อสรุปว่าการออกแบบอาคารแบบประสานระบบมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเท่าใด

3.2.2 ข้อกำหนดในการออกแบบอาคารที่ใช้วิธีการประสานระบบ

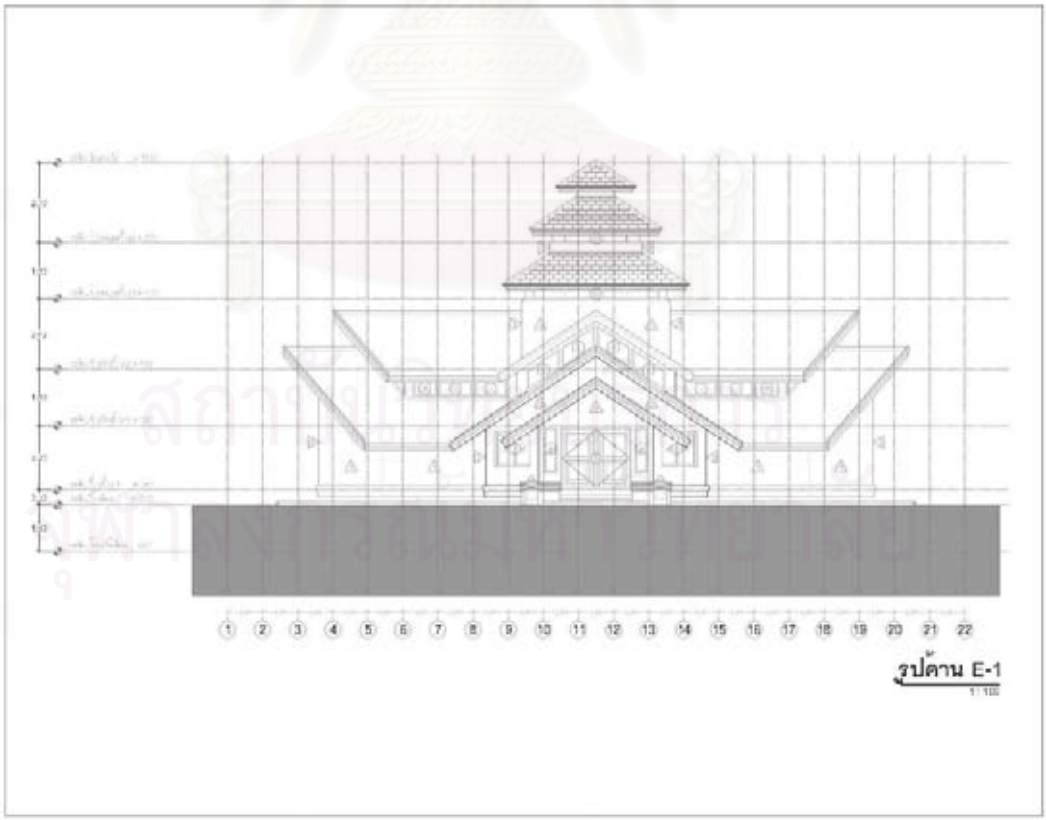
ในการออกแบบอาคารเพื่อทำการศึกษา ได้กำหนดลักษณะของอาคารดังนี้

1. เป็นอาคารสาธารณะตั้งอยู่ในบริเวณท้องสนามหลวง กรุงเทพมหานคร
2. พื้นที่ใช้สอยประมาณ 140 – 180 ตารางเมตร และลักษณะการใช้งานเป็นศูนย์ข้อมูลสินค้า OTOP และประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว มีห้องน้ำสาธารณะประกอบด้วย
   - 2.1 ส่วนข้อมูลสินค้า OTOP ประมาณ 20 – 30 ตารางเมตร
   - 2.2 ส่วนประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว ประมาณ 20 – 30 ตารางเมตร
   - 2.3 ห้องโถงและพื้นที่พักผ่อน ประมาณ 20 – 30 ตารางเมตร
   - 2.4 ส่วนห้องน้ำสาธารณะชาย มีห้องน้ำ 4 ห้อง โถปัสสาวะ 6 โถ และอ่างล้างหน้า 4 อ่าง
   - 2.5 ส่วนห้องน้ำหญิง มีห้องน้ำ 7 ห้อง และอ่างล้างหน้า 4 อ่าง
   - 2.6 ส่วนเก็บของและห้องเครื่องตามความเหมาะสม
3. มีการปรับอากาศที่สามารถระบายความร้อนด้วยน้ำประสิทธิภาพสูง เพื่อเพิ่ม COP ให้สูงขึ้นเป็น 3.8
4. พฤติกรรมการใช้งานเป็นการ เดินช้าๆ หรือนั่งพักผ่อน
5. ใช้เทคนิคการออกแบบดังนี้
   - 5.1 การปรับปรุงสภาพแวดล้อมและการใช้ปัจจัยธรรมชาติ
   - 5.2 การกำหนดรูปทรงอาคาร
   - 5.3 การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร
   - 5.4 การเลือกใช้ระบบโครงสร้างที่เหมาะสม
   - 5.5 การควบคุมความรู้สึกร้อน-หนาว
   - 5.6 การควบคุมคุณภาพแสงสว่าง
   - 5.7 การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

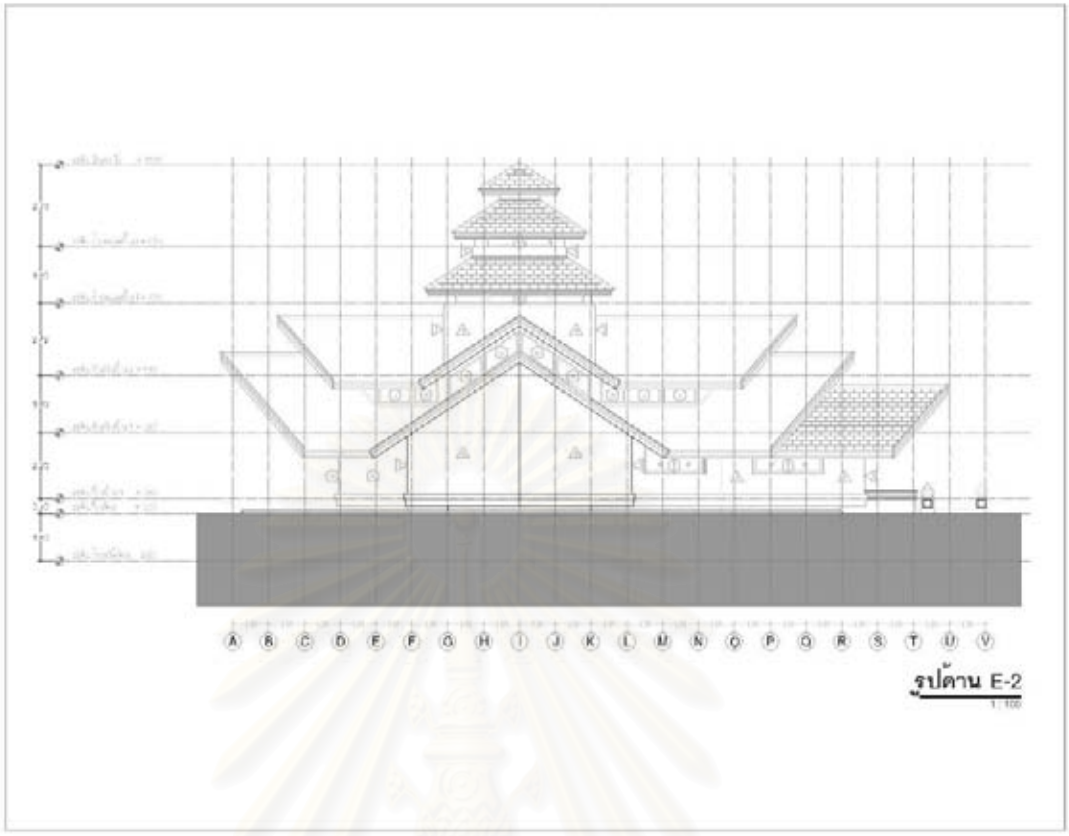
เมื่อนำข้อกำหนดข้างต้นมาทำการออกแบบอาคาร ได้อาคารที่มีลักษณะดังนี้



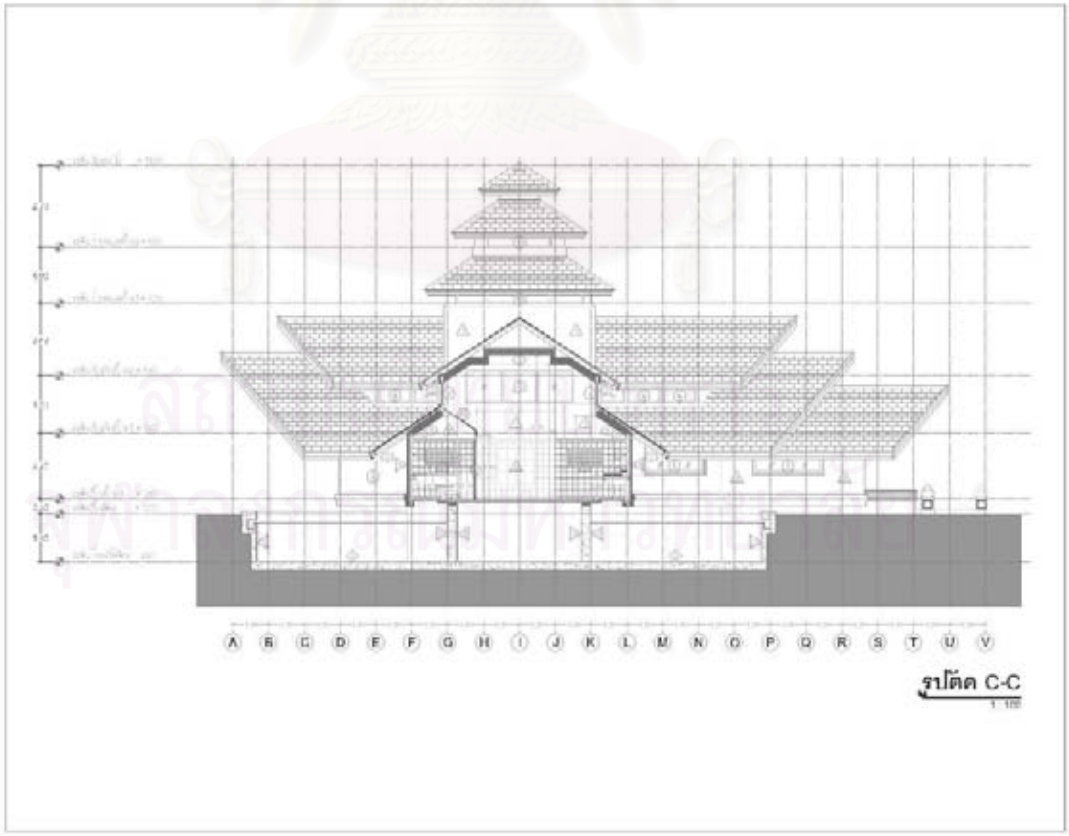
รูปที่ 3.5 ผังพื้นของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบ



รูปที่ 3.6 รูปด้านของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบ



รูปที่ 3.7 รูปด้านของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบ



รูปที่ 3.8 รูปตัดของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบ

3.5.3 ข้อกำหนดในการออกแบบอาคารเพื่อการเปรียบเทียบ

เพื่อให้ได้ผลการศึกษาและการเปรียบเทียบที่มีมาตรฐาน จึงต้องกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบอาคารดังนี้

1. สมมุติให้อาคารตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกัน เพื่อใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมภูมิอากาศเดียวกัน
2. พื้นที่ใช้สอยประมาณ 140 – 180 ตารางเมตร และลักษณะการใช้งานอาคารเหมือนกันคือเป็นศูนย์ข้อมูลสินค้า OTOP และประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว มีห้องน้ำสาธารณะประกอบด้วย
3. มีการปรับอากาศ โดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และมีค่า COP 2.8
4. พฤติกรรมการใช้งานและระยะเวลาในการใช้งานอาคารเท่ากัน
5. เทคนิคการออกแบบ เทคนิคโครงสร้าง วิธีการปรับอากาศ ตามระบบที่นิยมใช้กันทั่วไป เพื่อจะแสดงให้เห็นถึงศักยภาพเมื่อได้ออกแบบด้วยเทคนิคการออกแบบประสานระบบได้อย่าเต็มที่ดังนี้

    5.1 ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูน

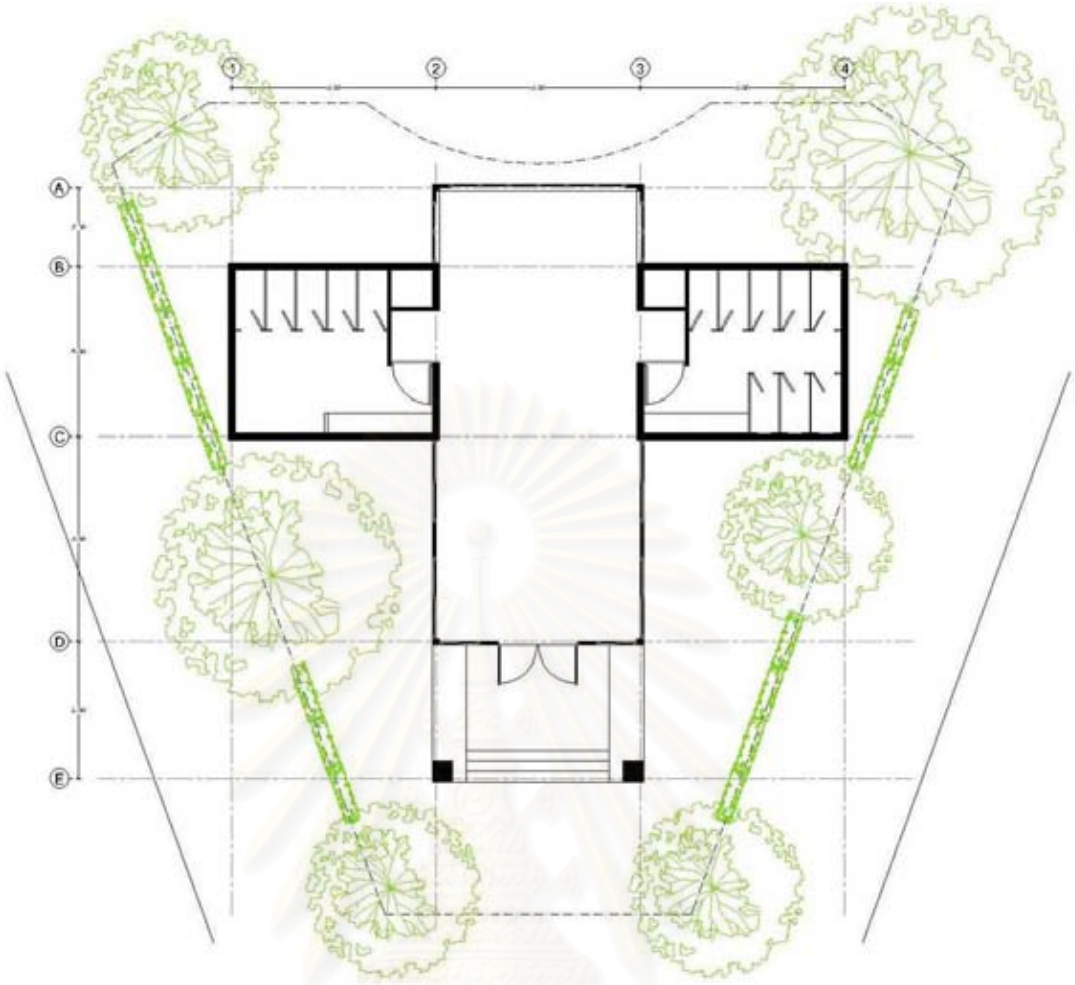
    5.2 ใช้หลังคาซีแพคโมเนียที่มีแผ่นสะท้อนรังสีความร้อน

    5.3 ใช้กระจกตัดแสง

    5.4 ใช้โครงสร้างแบบเสาและคาน

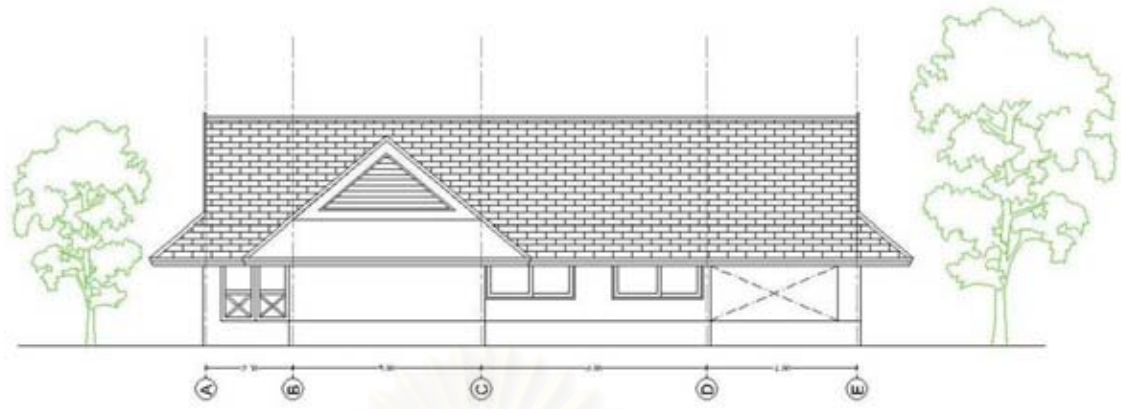
เมื่อนำหลักเกณฑ์ข้างต้นมาทำการออกแบบอาคารตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบ ได้รูปแบบของอาคารดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 ผังพื้นของอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไป

รูปที่ 3.10 รูปด้านของอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไป



รูปที่ 3.11 รูปด้านของอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไป

3.5.4 ข้อกำหนดในการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน

1. การเปรียบเทียบค่า OTTV และ RTTV และการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร โดยใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิของกรุงเทพมหานครในรอบ 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2526 ถึงพ.ศ. 2535 มาใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์คำนวณ
2. การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคาร โดยแบ่งเป็น
   - 2.1 ภาระในรวมของอาคาร
   - 2.2 ภาระจากการปรับอากาศ
   - 2.3 ภาระจากไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ต่างๆ
3. พิจาณาค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ใช้การประมาณการจากการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารและคิดค่าไฟฟ้าที่อัตรา 2.5 บาทต่อหน่วย
4. พิจารณาค่าก่อสร้าง ตามรายละเอียดของการออกแบบ โดยแบ่งเป็น
   - 4.1 ค่าก่อสร้างงานสถาปัตยกรรม
   - 4.2 ค่าก่อสร้างงานโครงสร้าง
   - 4.3 ค่าก่อสร้างงานเครื่องกล
   - 4.4 ค่าก่อสร้างงานไฟฟ้าแสงสว่าง
   - 4.5 ค่าก่อสร้างงานไฟฟ้ากำลังและสื่อสาร
   - 4.6 ค่าก่อสร้างงานสุขาภิบาล
   - 4.7 ค่าก่อสร้างงานดับเพลิงและรักษาความปลอดภัย

บทที่ 4

การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารมีจำนวนมาก แต่สามารถจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มตามลักษณะเด่นของตัวแปรนั้น เพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจและการศึกษาความสัมพันธ์ในขั้นตอนต่อไป โดยมีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

1. การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก
2. การจัดกลุ่มและศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก
3. การหาระดับความสัมพันธ์หรืออิทธิพลของตัวแปรแต่ละชนิดที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

โดยต่อจากนี้ในการศึกษา ผู้วิจัยจะขอใช้คำว่า"การใช้พลังงานในอาคาร" หมายถึงการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็กทั่วไปที่ได้ทำการศึกษา เพื่อความสะดวกในการศึกษาต่อไป

4.1 การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

ในการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เริ่มจากการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็กเพื่อจะได้ทราบถึงอิทธิพล แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารต่อไป

4.1.1 การศึกษาการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

อาคารสาธารณะขนาดเล็กเป็นอาคารที่พบเห็นได้ทั่วไปในประเทศไทย มีลักษณะเด่นคือเป็นอาคารที่มีผู้คนเข้ามาใช้งานจำนวนมาก และมีการเข้า-ออกอาคารจำนวนมากในหนึ่งวัน ตัวอย่างอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่พบเห็นได้ทั่วไปคือ ร้านอาหาร ร้านค้าขนาดเล็กเช่น ร้านเซเว่น-อีเลฟเว่น เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการปรับอากาศและต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นมูลค่าที่สูงมาก นอกจากนี้จะเป็นการใช้พลังงานในส่วนของไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทอื่นๆเช่น ตู้เย็น เตาอบไฟฟ้า เป็นต้น จากการสำรวจภาคสนามซึ่งได้ทำการสำรวจอาคารสาธารณะขนาดเล็กจำนวน 10 แห่งดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งทำการสำรวจในเดือนเมษายน

พ.ศ. 2547 พบว่าการใช้พลังงานในอาคารมีความแตกต่างกันแต่ส่วนที่ใช้พลังงานมากที่สุดคือระบบปรับอากาศ

ตารางที่4.1 แสดงการใช้พลังงานรวมในอาคารของอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

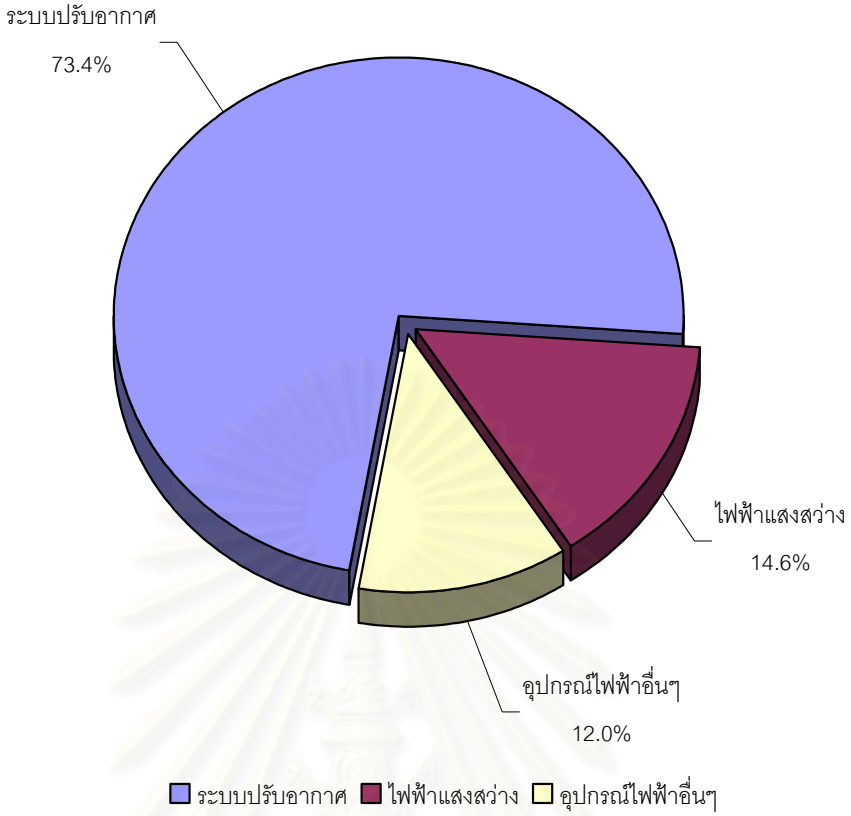
อาคาร	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	เวลาการงาน	ค่าไฟฟ้า (บาท/เดือน)	การใช้ไฟฟ้า (บาท / h-m^2)	การใช้พลังงาน**
1. ร้านเซเว่น-อีเลฟเว่น	ร้านค้า	24.0	24 ชั่วโมง	11,000.00	19.10	A/C70%, L20%, E10%
2. ร้านไทเกอร์มาร์ท	ร้านค้า	60.0	24 ชั่วโมง	16,500.00	11.46	A/C69%, L19%, E12%
3. ร้าน 24 Internet	ร้านค้า	48.0	8.00 – 2.00	9,800.00	11.34	A/C74%, L7%, E19%
4. ร้านต้นข้าวหอม	ร้านอาหาร	48.0	10.00 – 22.00	9,500.00	16.49	A/C78%, L14%, E8%
5. Mirror & Matches	ร้านอาหาร	80.0	18.00 – 2.00	12,800.00	21.33	A/C74%, L18%, E8%
6. Fishing Pub	ร้านอาหาร	100.0	18.00 – 2.00	13,500.00	16.86	A/C77%, L14%, E9%
7. สว่างทันตกรรม	ศูนย์บริการ	60.0	16.00 – 21.30	5,800.00	17.58	A/C73%, L5%, E22%
8. นิพันธ์โพลีคลีนิค	ศูนย์บริการ	125.0	24 ชั่วโมง	38,000.00	12.66	A/C67%, L18%, E15%
9. ศาลาประชาคมฯ	ศูนย์บริการ	140.0	8.00 – 18.00	12,800.00	9.14	A/C78%, L16%, E6%
10. XXX Fitness	ศูนย์บริการ	200.0	8.00 – 22.00	23,000.00	8.21	A/C74%, L15%, E11%

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการสำรวจในเดือนมีนาคม 2547 โดยค่าไฟฟ้าเป็นค่าเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละเดือน

* การใช้ไฟฟ้าคำนวณจากค่าไฟฟ้าที่ต้องสูญเสียต่อพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตรใน 1 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่แตกต่างกัน

** การใช้พลังงานพิจารณาลักษณะการใช้ไฟฟ้าโดยรวมจากการสังเกตหรือการสัมภาษณ์ของผู้สำรวจซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ : A/C = การปรับอากาศ, L = ไฟฟ้าแสงสว่าง, E = ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ

จากตารางที่ 4.1 พบว่าอาคารตัวอย่างมีการใช้พลังงานที่สูงมากโดยพิจารณาจากค่าไฟเมื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตรใน 1 ชั่วโมง พบว่าอาคารที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าสูง เช่น ร้าน Mirror & Matches เป็นร้านที่มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูงมาก และอาคารดังกล่าวมีการเข้า-ออกจากอาคารจำนวนมากเช่นกัน ในขณะที่การพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ประกอบอาคารอยู่ในสัดส่วนที่น้อยมาก และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาทำการหาค่าเฉลี่ยแล้วพบว่า สัดส่วนการใช้พลังงานรวมในอาคารของอาคารสาธารณะขนาดเล็กเป็นไปตามแผนภูมิที่ 4.1



แผนภูมิที่4.1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมในอาคารของอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

จากการศึกษารายละเอียดแผนภูมิที่ 4.1 พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารโดยเฉลี่ยเป็นดังนี้ ระบบปรับอากาศ 73.4% ไฟฟ้าแสงสว่าง 14.6% และไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ 12.0% ตามลำดับ และเมื่อศึกษาต่อไปในรายละเอียดของระบบปรับอากาศจะพบว่าการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศมีอิทธิพลมาจาก

1. การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ผนังโปร่งแสงหรือกระจก หลังคา และพื้น ที่มีอิทธิพลของความร้อนสัมผัส
2. การรั่วซึมของอากาศตามรอยต่อของอาคาร อุปกรณ์ของช่องแสง และการเปิด-ปิดช่องเปิดต่างๆ ที่มีอิทธิพลของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง
3. ความร้อนที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆที่อยู่ในอาคาร ซึ่งมีอิทธิพลของความร้อนสัมผัสซึ่งอาจแสดงในรูปรังสีความร้อน และความร้อนแฝงซึ่งอาจแสดงในรูปของไอน้ำ
4. ความร้อนที่เกิดจากผู้ใช้งานซึ่งขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคารนั้น ที่มีอิทธิพลของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

จากการทราบถึงอิทธิพลดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาคำนวณหาสัดส่วนของการใช้พลังงานในอาคารได้ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมมาทำการคำนวณหาความสัมพันธ์

ของการใช้พลังงานในอาคาร โดยใช้โปรแกรม OTTVEE 1.0a พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารเป็นไปดังที่แสดงในตารางที่ 4.2

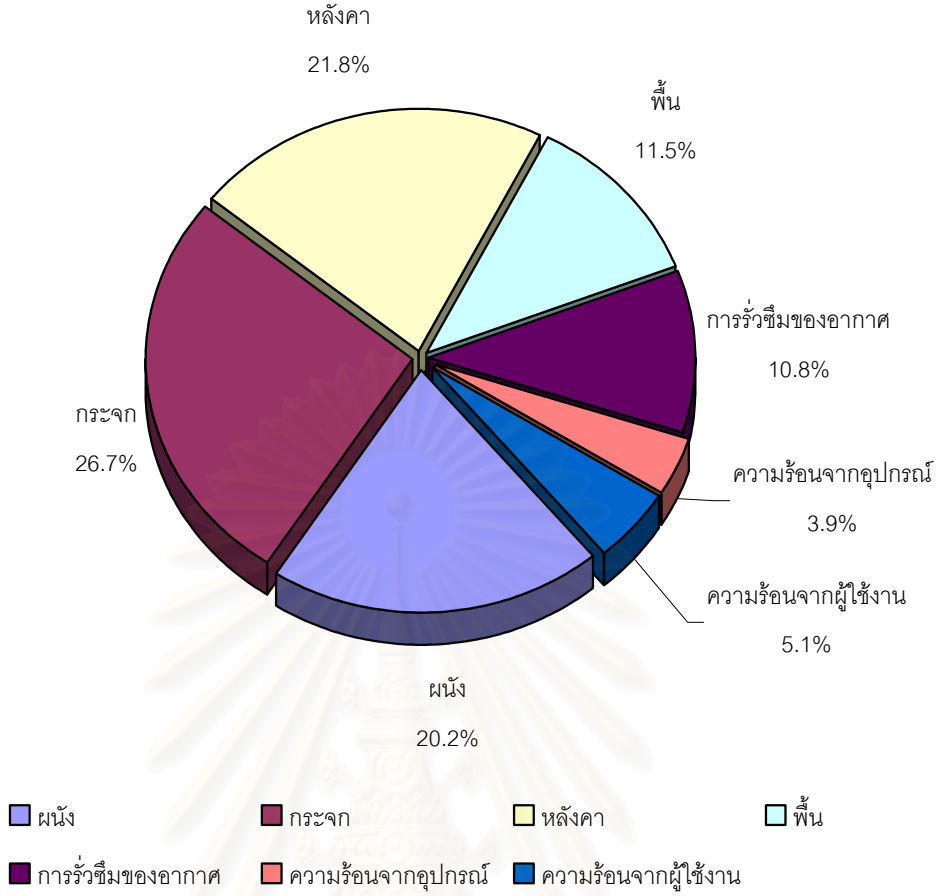
ตารางที่4.2 แสดงสัดส่วนของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารประเภทต่างๆ

อาคาร	ผนัง	กระจก	หลังคา	พื้น	การรั่วซึม	อุปกรณ์	ผู้ใช้งาน
1. ร้านเซเว่น-อีเลฟเว่น	12%	36%	22%	10%	16%	2%	2%
2. ร้านไทเกอร์มาร์ท	16%	32%	22%	12%	13%	3%	2%
3. ร้าน 24 Internet	25%	26%	17%	13%	9%	6%	4%
4. ร้านต้นข้าวหอม	19%	27%	25%	12%	10%	3%	4%
5. Mirror & Matches	20%	20%	19%	15%	15%	5%	6%
6. Fishing Pub	23%	23%	21%	10%	9%	4%	10%
7. สว่างทันตกรรม	24%	27%	22%	11%	9%	5%	2%
8. นิพันธ์โพลีคลีนิค	20%	28%	24%	10%	10%	5%	3%
9. ศาลาประชาคมฯ	25%	19%	27%	12%	8%	3%	6%
10. XXX Fitness	18%	29%	19%	10%	9%	3%	12%

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการคำนวณโดยการศึกษารูปแบบของอาคารจากอาคารตัวอย่าง

จากการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่า รูปแบบของอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่นิยมทำกันในยุคปัจจุบันมักใช้กระจกขนดใหญ่ และไม่มีการใส่ฉนวนในผนังหรือหลังคา (ในส่วนของหลังคาพบว่าอาคารบางหลังมีการใช้ฉนวนกันความร้อน แต่ปริมาณการใช้งานยังไม่เพียงพอต่อการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา) นอกจากนี้อิทธิพลจากการรั่วซึมของอากาศยังสูงมากเนื่องจากการละเลยในเรื่องของรอยต่ออาคาร ทิศทางรูปแบบของช่องเปิด ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอาคารตัวอย่างมาเฉลี่ยแล้วได้ผลคือ

1. อิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก มีประมาณ 26.7%
2. อิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา มีประมาณ 21.8%
3. อิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ มีประมาณ 20.2%
4. อิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้น มีประมาณ 11.5%
5. อิทธิพลจากความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงจากการรั่วซึมของอากาศ มีประมาณ 10.8%
6. อิทธิพลจากความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงจากผู้ใช้งาน มีประมาณ 5.1%
7. อิทธิพลจากความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงจากอุปกรณ์ต่างๆ มีประมาณ 3.9%



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงสัดส่วนของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

4.1.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

จากการศึกษาสัดส่วนของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารสาธารณะขนาดเล็กพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารมีดังนี้

1. การใช้พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศ
2. การใช้พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
3. การใช้พลังงานสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร

4.1.2.1 การใช้พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศ การใช้ระบบปรับอากาศนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับสภาพภายในอาคารให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นหลัก ซึ่งหากจะแปรความหมายของอุณหภูมินั้นคือการควบคุมความร้อนสัมผัส ส่วนความชื้นสัมพัทธ์คือความร้อนแฝง จึงสามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศคือความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อนทั้ง 2 ประเภทนี้ มีต่อไปนี้

- การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านเปลือกอาคาร ซึ่งมีอยู่ 2 รูปแบบคือการนำความร้อนผ่านผนังทึบแสงและผนังโปร่งแสง และรังสีความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านผนังโปร่งแสง ซึ่งปริมาณการถ่ายเทความร้อนเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของวัสดุ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารและและความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ จากการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่าวัสดุที่นิยมใช้กันทั่วไปจะมีอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารสูงถึง 69.2%

- การสะสมความร้อนในวัสดุ เกิดจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารและความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุประกอบกัน จากการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่าการใช้วัสดุที่นิยมกันทั่วไปจะมีอิทธิพลจากการสะสมความร้อนในวัสดุประมาณ 11.0%

- แหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคาร เกิดการ 2 แหล่งใหญ่คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารและความร้อนจากมนุษย์ เนื่องจากปัจจัยในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันในแต่ละอาคารจึงไม่อาจประเมินค่าออกมาได้อย่างชัดเจน แต่จากการศึกษาอาคารตัวอย่างอาจพอจะสรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดความร้อนในอาคารมีอิทธิพลประมาณ 14%

- การถ่ายเทความชื้นเข้าสู่อาคารหรือการรั่วซึมของอากาศ มีอยู่ 3 รูปแบบหลักคือการรั่วซึมผ่านวัสดุเปลือกอาคาร การรั่วซึมบริเวณรอยต่อของวัสดุต่างๆ และการรั่วซึมผ่านช่องเปิดเมื่อมีการเปิดใช้งาน ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติของวัสดุ ความชื้นในอากาศและความกดอากาศในบริเวณนั้น พบว่าในอาคารสาธารณะทั่วไปการรั่วซึมของอากาศจากการเปิดใช้งานช่องเปิดมีจำนวนมาก เนื่องจากอาคารสาธารณะจะมีการเข้าและออกของผู้ใช้งานบ่อยครั้ง จากการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่าการถ่ายเทความชื้นเข้าสู่อาคารหรือการรั่วซึมของอากาศมีอิทธิพลประมาณ 10.8%

- การสะสมความชื้นในวัสดุ เกิดจากคุณสมบัติของวัสดุ ความชื้นในอากาศและความกดอากาศในบริเวณนั้น ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุมีอิทธิพลเป็นอย่างมากพบว่าวัสดุที่มีความพรุนหรือเซลล์เปิดจะสามารถสะสมความชื้นได้มากในขณะที่วัสดุที่เป็นเซลล์ปิดจะป้องกันความชื้นได้ดีกว่า ในการพิจารณาการสะสมความชื้นมีอยู่ 2 รูปแบบคือความชื้นในวัสดุก่อสร้างและความชื้นในเฟอร์นิเจอร์

- แหล่งกำเนิดความชื้นภายในอาคาร เกิดการ 2 แหล่งใหญ่คืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ภายในอาคารและความชื้นจากการระเหยของเหงื่อมนุษย์ เนื่องจากปัจจัยในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันในแต่ละอาคารจึงไม่อาจประเมินค่าออกมาได้อย่างชัดเจน

4.1.2.2 **การใช้พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง** พบว่าในการให้แสงสว่างแก่อาคารนั้นมีอยู่ 2 ประเภทคือ การใช้แสงธรรมชาติและการใช้แสงประดิษฐ์ แต่การใช้แสงธรรมชาตินั้นเป็นไปด้วยความลำบากเนื่องจากผู้ออกต้องมีความเข้าใจเป็นอย่างดีมิฉะนั้นจะเป็นการนำความร้อนเข้าสู่อาคารด้วย ประกอบกับพฤติกรรมการใช้อาคารที่ต้องคำนึงถึง อาคารที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่จึงมักจะใช้แสงประดิษฐ์เป็นหลัก

จากการศึกษาการใช้พลังงานสำหรับแสงประดิษฐ์พบว่า การใช้พลังงานจะสูญเสียไปกับการใช้อุปกรณ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น การสูญเสียให้แก่บัลลาสต์ การโคมและใช้หลอดไฟประสิทธิภาพต่ำ จากการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่าการใช้พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีประมาณ 14.6%

4.1.2.3 **การใช้พลังงานสำหรับอุปกรณ์อื่น ๆ** เนื่องจากในอาคารแต่ละประเภทจะมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เหมือนกัน แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าสำคัญที่ใช้พลังงานสูงซึ่งพบเห็นทั่วไป เช่น ตู้เย็น ปั๊มน้ำ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปมักมีการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงอยู่แล้ว แต่ในบางครั้งผู้ออกแบบอาจละเลยการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ซึ่งเป็นเหตุให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้น เช่น การเดินท่อที่มีจุดหักและข้อต่อจำนวนมากทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันในท่อและต้องใช้ปั๊มขนาดใหญ่ขึ้น การวางตำแหน่งอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เหมาะสมทำให้เกิดความร้อนสะสมและต้องมีการใช้พลังงานเพิ่มในการลดความร้อน เป็นต้น จากการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่าการใช้พลังงานสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ มีประมาณ 10.8%

4.1.3 สรุปตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็กสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

- <u>อิทธิพลจากสภาพแวดล้อม</u> เป็นอิทธิพลภายนอกที่ผู้ออกแบบไม่สามารถควบคุมได้แต่มีผลอย่างมากต่อการใช้พลังงานในอาคาร พบว่าสภาพแวดล้อมส่งผลต่อการใช้พลังงานสำรับการปรับอากาศ แสงสว่าง และการระบายความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้า

- <u>คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ก่อสร้าง</u> ซึ่งโดยส่วนใหญ่มีความเกี่ยวข้องกับความร้อนและความชื้น ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุนี้ผู้ออกแบบมักเป็นผู้ที่คัดเลือกเอง แต่จากการศึกษาพบว่าหากผู้ออกแบบไม่มีความเข้าใจในคุณสมบัติของวัสดุดีพอจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเป็นอย่างมาก

- <u>การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร</u> หมายความถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ พบว่าผู้ออกแบบต้องมีความเข้าใจในการเลือกวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานได้เป็นอย่างดี แต่ในการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่ามีการเลือกใช้อุปกรณ์ที่

มีคุณภาพต่ำเพื่อลดราคาค่าก่อสร้างสำหรับงานอุปกรณ์ประกอบอาคาร ซึ่งแนวทางที่เหมาะสม คือผู้ออกแบบควรจะคำนึงถึงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเนื่องจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่มีประสาทธิภาพประกอบด้วย

- ค่าใช้จ่ายสำหรับอาคาร พบว่าโดยทั่วไปในขั้นตอนการออกแบบมักจะคำนึงถึงการควบคุมราคาค่าก่อสร้างซึ่งเป็นต้นทุนแรกเริ่มของอาคารเพียงอย่างเดียว แต่มักไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในภายหลัง เช่น การใช้จ่ายภายหลังการเปิดใช้อาคาร ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาแก่เจ้าของอาคารเป็นอย่างมาก ดังนั้นการออกแบบที่ดีจึงควรคำนึงถึงภาพรวมของค่าใช้จ่ายประกอบด้วย

- พฤติกรรมการใช้งาน สามารถกล่าวได้ว่าเป็นตัวแปรที่มีความแปรปรวนสูง เนื่องจากผู้ออกแบบไม่สามารถประเมินพฤติกรรมของผู้ใช้งานได้ แต่ในการออกแบบผู้ออกแบบสามารถคิดถึงวิธีการใช้งานที่เหมาะสมและสะดวกแก่ผู้ใช้งาน เนื่องจากเมื่อมีความสะดวกแล้วผู้ใช้งานมักจะมีพฤติกรรมการใช้งานตามที่ผู้ออกแบบได้คิดไว้ ซึ่งเมื่อนำมาประกอบกับการควบคุมการใช้พลังงานแล้วก็มีความเป็นไปได้ที่ผู้ออกแบบจะวางแผนการใช้พลังงานให้เหมาะสม เช่น หากมีการใช้แสงธรรมชาติที่ดีแล้วผู้ใช้อาคารก็จะไม่มีการเปิดแสงประดิษฐ์ เป็นต้น

นอกจากตัวแปรดังกล่าวแล้วในการออกแบบยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วยเพื่อให้อาคารมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นความต้องการของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน ได้แก่

- ความรู้สึกร้อน-หนาวที่พอเหมาะ (Thermal Comfort) หมายถึง การควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะสบายตามความต้องการของผู้อยู่อาศัย (Fanger; 1967) โดยเน้นการใช้ระบบธรรมชาติให้มากที่สุด และปรับปรุงช่วงที่อยู่นอกสภาวะสบาย เช่น ร้อนเกินไป ด้วยระบบปรับอากาศหรือระบบเครื่องกลในส่วนน้อย

- การมีแสงสว่างที่เหมาะสมและพอเพียง (Lighting Comfort)หมายถึง รูปแบบที่เน้นระดับความแตกต่างของแสง (Contrast) ที่ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสายตา (Flynn et al. 1988) โดยคำนึงถึงการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติเป็นหลัก ในกรณีที่เป็นอาคารพักอาศัยในช่วงเวลากลางวันควรเน้นรูปแบบที่ไม่ใช้แสงประดิษฐ์ เนื่องจากแสงธรรมชาติมีคุณภาพและประสิทธิภาพดีกว่าแสงประดิษฐ์ แต่การเลือกใช้แสงธรรมชาติก็มีข้อควรพิจารณา คือ จะต้องออกแบบให้พอเหมาะไม่มากและไม่น้อยจนเกินไป เนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติจะเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้ ดังนั้นการออกแบบแสงธรรมชาติจะต้องนำแสงที่ใช้เข้ามา โดยไม่นำความร้อนเข้าสู่อาคารด้วย เช่น การใช้กระจกประสิทธิภาพสูงที่ยอมให้แสงธรรมชาติเข้า

สู่อาคารได้มากแต่สกัดกั้นความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างดี ส่วนในเวลากลางคืนก็จะเป็นระบบแสงประดิษฐ์ชนิดประหยัดพลังงาน ซึ่งยังคงตอบสนองคุณภาพชีวิตได้อย่างเหมาะสม

- การมีคุณภาพเสียงที่เหมาะสม (Acoustical Comfort) หมายถึง การควบคุมเสียงทั้งภายนอกและภายในโดยเน้นการกันเสียงจากภายนอก ในขณะเดียวกันก็สามารถควบคุมระดับและคุณภาพของเสียงภายในอาคารไว้ในระดับที่เหมาะสม กล่าวคือ ไม่ให้มีค่าการดูดซับเสียงมากเกินไปเพราะจะทำให้คนในอาคารเกิดความรู้สึกเหงาซึมเศร้า แต่ถ้าค่าการดูดเสียงน้อยเกินไปก็จะทำให้รู้สึกเอะอะอึกทึกครึกโครม โดยทั่วไปควรออกแบบให้มีค่าการดูดซับเสียงเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 0.2 - 0.4 (Stein and Reynolds 1992)

- ความต้องการทัศนวิสัยที่สบายตา (Visual Comfort) หมายถึง ความต้องการในเรื่องทัศนวิสัยที่เน้นความรู้สึกสบายตาและสดชื่นแจ่มใส โดยการควบคุมระดับความจ้าและการสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมไว้ในระดับที่ความแตกต่างระหว่างจุดที่มืดที่สุดและจุดที่สว่างที่สุด(Brightness contrast)อยู่ในอัตราส่วนไม่มากเกินกว่า 1:10 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ไม่มากเกินไปสำหรับสายตามนุษย์ ทำให้รู้สึกสบายตา มองแล้วไม่ระคายเคือง (Flynn et. al. 1988)

- การมีคุณภาพอากาศภายในที่ดี (Indoor Air Quality) หมายถึง การสร้างคุณภาพอากาศภายในอาคารที่สะอาดปราศจากมลภาวะ หรือมีสภาพอากาศที่ดีกว่าอากาศภายนอกอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลาที่สภาวะอากาศภายนอกมีค่าของ มลภาวะสูง นอกจากนี้ยังต้องสามารถควบคุมสภาวะภายในให้เป็นที่พอใจและเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยอย่างแท้จริง อาทิ สามารถควบคุมความร้อน-ชื้นได้อย่างสมบูรณ์ต่อการใช้ชีวิตประจำวัน

- การมีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน (Security and Safety) หมายถึง กระบวนการออกแบบที่สร้างสรรค์ให้เกิดความปลอดภัย ทั้งภายนอกและภายในอาคารปราศจากมุมที่อับสายตาและหลีกเลี่ยงจุดอ่อนที่เป็นสาเหตุให้เกิดโจรกรรม โดยใช้ทั้งระบบควบคุมความปลอดภัยและการออกแบบที่ไม่มีจุดอ่อน หรือไม่สร้างสิ่งล่อใจให้เกิดการโจรกรรม

4.2 การจัดกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

จากการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร พบว่าปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในอาคารขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆมากมาย สามารถจำแนกออกตามลักษณะของอิทธิพลได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม (Site and Climate)
2. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคารและระบบประกอบอาคาร (Building and System)
3. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคาร (User and Operation)

ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีอิทธิพลซึ่งกันและกันในลักษณะที่ค่อนข้างซับซ้อน และยากที่จะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลมากหรือน้อยกว่ากัน ซึ่งรายละเอียดในแต่ละกลุ่มตัวแปรมีดังต่อไปนี้

4.2.1 กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม

ตัวแปรในกลุ่มนี้เป็นอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ประกอบด้วยสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติและองค์ประกอบเกี่ยวกับที่ตั้งของอาคาร ซึ่งสามารถแบ่งการพิจารณาได้ 2 กลุ่มคือ สภาพภูมิอากาศท้องถิ่น (Climate) และสภาพภูมิอากาศบริเวณที่ตั้ง (Micro-climate) ในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารจำเป็นต้องหาแนวทางในการปรับปรุงสภาพภูมิอากาศบริเวณที่ตั้งอาคาร ให้มีสภาพเอื้ออำนวยต่อการนำเอาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมดังกล่าวมาเป็นปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบประสานระบบในกลุ่มนี้คือ

4.2.1.1 **สภาพภูมิอากาศท้องถิ่น** ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบถึงสภาพภูมิอากาศเป็นอย่างดี เนื่องจากสภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลอย่างมากในการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งตัวแปรในกลุ่มนี้ประกอบด้วย สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อิทธิพลของลมและอุณหภูมิ อิทธิพลของความชื้น อิทธิพลจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น

4.2.1.2 **สภาพภูมิอากาศบริเวณที่ตั้ง** ในการออกแบบผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เอื้ออำนวยแก่การออกแบบอาคาร ซึ่งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมหมายถึง การลดความร้อนบริเวณที่ตั้ง (Ambient Temperature) ตัวแปรในกลุ่มนี้ประกอบด้วย การใช้ประโยชน์จากพืชพรรณ การใช้ประโยชน์จากวัสดุปูผิว การใช้ประโยชน์จากดิน การใช้ประโยชน์จากลม การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ เป็นต้น

4.2.2 กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับอาคารและระบบประกอบอาคาร

ตัวแปรในกลุ่มนี้คือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารและระบบประกอบอาคารในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของรูปแบบอาคารและงานระบบให้สอดคล้องกัน เพื่อเป็นการลดความต้องการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบประกอบอาคารซึ่งเป็นต้อนเหตุในการใช้พลังงานในอาคาร ตัวแปรในกลุ่มนี้ประกอบด้วย

4.2.2.1 **เปลือกอาคาร** (Building Envelope) ส่วนนี้คือส่วนที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มอาคารและเป็นสิ่งที่กำหนดรูปร่างหน้าตาของอาคาร มีหน้าที่ป้องกันพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารออกจากสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งในระบบนี้ได้รวมถึง ผนังอาคาร พื้น หลังคา เป็นต้น

4.2.2.2 **ระบบโครงสร้างอาคาร** (Building System) คือส่วนประกอบที่ทำให้อาคารสามารถดำรงมั่นคงอยู่ได้ รวมไปถึงเทคนิคในการก่อสร้างเพื่อการป้องกันความร้อนและความชื้น ซึ่งการเลือกระบบโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับประเภทอาคารและความเหมาะสมในการใช้งาน

4.2.2.3 **ระบบเครื่องกล** (Mechanical System) หมายถึงระบบปรับอากาศ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเป็นระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุด ดังนั้นในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานจึงต้องให้ความสำคัญแก่ระบบนี้เป็นอย่างมาก

4.2.2.4 **ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง** (Lighting System) ซึ่งหมายถึงแสงประดิษฐ์ (Artificial Light) และแสงธรรมชาติ (Natural Light) ซึ่งระบบนี้มีการใช้พลังงานที่สูงเช่นกัน ผู้ออกแบบจึงต้องผสมผสานการออกแบบในระบบนี้ให้เหมาะสม

4.2.2.5 **ระบบไฟฟ้ากำลังและสื่อสาร** (Power and Communication) ได้แก่ การกำหนดตำแหน่งสวิตช์ เต้าเสียบ โทรศัพท์ ซึ่งผู้ออกแบบต้องออกแบบให้เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้งาน

4.2.2.6 **ระบบสุขาภิบาล** (Sanitary System) ในระบบนี้หากผู้ออกแบบไม่มีความเข้าใจที่ดีพอจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่มากพอสมควร เช่นการสูญเสียจากท่อระบบจ่ายน้ำ ปั๊มน้ำ เป็นต้น

4.2.2.7 **ระบบดับเพลิงและรักษาความปลอดภัย** (Fire Protection and Security) ในการออกแบบอาคารนอกจากจะคำนึงถึงการประหยัดพลังงานแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารด้วย

4.2.3 **กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการใช้งานอาคาร**

ตัวแปรในกลุ่มนี้คือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคารและการควบคุมอาคาร ซึ่งผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ตั้งแต่เริ่มออกแบบ เนื่องจากตัวแปรในกลุ่มนี้มีความแปรปรวนสูงเนื่องจากขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของมนุษย์เป็นหลัก ตัวแปรในกลุ่มนี้ประกอบด้วย

4.2.3.1 **ประเภทของผู้ใช้อาคาร** (User) ในการออกแบบผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงพฤติกรรมการใช้งาน กิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร ประกอบ เนื่องจากสิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลในการใช้พลังงานในอาคาร

4.2.3.2 **การควบคุมและการใช้งาน** (Control and Operation) ระบบควบคุมต้องคำนึงถึงพฤติกรรมการใช้ของมนุษย์เป็นหลัก นอกจากนั้นต้องสามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.3.3 **การบริหารจัดการอาคาร** (Management) ได้แก่การคำนึงถึงค่าใช้จ่าย ระยะเวลาในการควบคุมและบำรุงรักษาอาคาร ซึ่งผู้ออกแบบต้องประสานการออกแบบให้เหมาะสมและสะดวกแก่ผู้บริหารอาคาร

4.2.3.4 **การบำรุงรักษา** (Maintenance) ในการออกแบบต้องมีการคำนึงถึงการบำรุงรักษาอาคาร เนื่องจากส่งผลระยะยาวต่อผู้ใช้อาคาร อันได้แก่ ต้องมีความสะดวกในการเข้าถึง การใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ เป็นต้น

4.3 การศึกษารายละเอียดกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม

จากการศึกษาพบว่าตัวแปรในกลุ่มนี้ประกอบด้วย อิทธิพลจากสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นและภูมิอากาศบริเวณที่ตั้ง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 อิทธิพลจากสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น

ตัวแปรนี้ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารที่เกี่ยวข้องกับ การปรับอากาศ และการใช้แสงธรรมชาติมากที่สุด ได้แก่

4.3.1.1 **อิทธิพลของลมและอุณหภูมิ** ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ พบว่าในประเทศไทยอุณหภูมิอากาศค่อนข้างสูงแต่การออกแบบอาคารที่นิยมทั่วไปมักคำนึงถึงการใช้ประโยชน์จากลมมากกว่าโดยไม่คำนึงถึงอิทธิพลจากอุณหภูมิอากาศ ทำให้เมื่อมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในอาคารประเภทนี้จะทำให้ต้องใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเป็นอย่างมาก

4.3.1.2 **อิทธิพลของความชื้น** ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ พบว่าในประเทศไทยอยู่ในบริเวณที่มีความชื้นสูงมากและการใช้พลังงานในการลดระดับความชื้นสูงกว่าการลดอุณหภูมิถึง 3 เท่า ซึ่งสามารถสะสมอยู่ในทุกๆ ส่วน ทั้งในอากาศ วัสดุทุกชิ้นในอาคาร ซึ่งเมื่อมีการใช้เครื่องปรับอากาศจะทำการลดความชื้นสัมพันทธ์ในการคารลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ความชื้นที่สะสมอยู่ในวัสดุต่างๆ จะออกมาผสมกับมวลอากาศทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานสูงมากในการลดความชื้นทั้งหมด ดังนั้นในการออกแบบต้องคำนึงถึงควบคุมและป้องกันความชื้นให้มากที่สุด

4.3.1.3 **ระดับของเอ็นทัลปี** คือระดับของพลังงานในอากาศอันเป็นผลมาจากความร้อนและความชื้นที่สะสมอยู่ในอากาศนั้น พบว่าในประเทศไทยระดับเอ็นทัลปีมีค่าสูงมาก โดยเฉพาะในเดือนเมษายน ดังนั้นในอาคารปรับอากาศหากมีการนำอากาศภายนอกเข้ามาในอาคารมากเกินความจำเป็น จะต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศสูงขึ้น

4.3.1.4 **อิทธิพลของแสงแดด** มีอิทธิพลต่อการปรับอากาศและการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง พบว่าในการนำแสงธรรมชาติหรือแสงแดดมาใช้ประโยชน์ในอาคารจะทำให้ต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศเพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนที่แฝงมาด้วย ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากแสงแดดที่ถูกต้องโดยการป้องกันแสงแดดเข้าสู่อาคารโดยตรงและการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานอย่างเหมาะสม จะไม่เพิ่มภาระการใช้พลังงานให้แก่การปรับอากาศและสามารถลดการใช้พลังงานแก่การใช้ไฟฟ้าแสงสว่างได้เป็นอย่างดี

4.3.2 **อิทธิพลจากสภาพภูมิอากาศบริเวณที่ตั้ง**

ตัวแปรในกลุ่มนี้มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ และการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารเป็นอย่างมาก

4.3.2.1 **การใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่** พบว่าเมื่อมีการใช้ต้นไม้ใหญ่ที่เหมาะสม โดยการปลูกเป็นกลุ่มเพื่อป้องกันแสงแดดโดยตรงที่จะลงมากระทบผิวดินและตัวอาคารจะเป็นการลดการสะสมความร้อนในสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี และในเวลากลางวันเมื่อต้นไม้มีกระบวนการสังเคราะห์แสงจะมีการดึงเอาพลังงานซึ่งแฝงอยู่ในรูปของความร้อนในอากาศไปใช้ ทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นลดลงได้ เมื่ออุณหภูมิอากาศโดยรอบอาคารลดลงจะส่งผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนสู่อาคารผ่านผนังทึบได้เป็นอย่างดี

4.3.2.2 **การใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดินและวัสดุปูผิวดิน** พบว่าวัสดุผิวดินรอบอาคารสามารถสะสมความร้อนไว้อย่างมาก โดยเฉพาะพื้นคอนกรีตที่นิยมใช้กันทั่วไป ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศโดยรอบอาคารสูงขึ้น ทำให้มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูงขึ้น ในการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงการลดการสะสมความร้อนโดยการใช้วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนต่ำ

4.3.2.3 **ดินและการใช้ประโยชน์จากดิน** พบว่าดินที่ลึกประมาณจะมีอุณหภูมิคงที่ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ต้องมีข้อควรระวังคือความชื้นในดินที่ค่อนข้างสูงซึ่งหากไม่มีการป้องกันจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้ประโยชน์จากเนินดินในการป้องกันความร้อนจากแสงแดดด้วย ซึ่งการใช้ประโยชน์ลักษณะนี้ผู้ออกแบบต้องพิจารณาถึงทิศทางของแสงแดดประกอบด้วย

4.3.2.4 **การใช้ประโยชน์จากลม** พบว่าการใช้ลมมีประโยชน์ทั้งการใช้งานในอาคารและการลดอุณหภูมิรอบอาคาร แต่การนำลมมาใช้ในอาคารนั้นต้องระวังอย่างมาก

โดยเฉพาะในอาคารปรับอากาศ เพราะถ้าในลมมีระดับเอ็นทัลปีสูงจะทำให้การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูงมาก ส่วนการใช้ลมเพื่อลดอุณหภูมิโดยรอบอาคารนั้นมีความเป็นไปได้ โดยการนำลมที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำกว่าพัดผ่านบริเวณรอบอาคารที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่สูงกว่า แต่ในกรณีที่ลมดังกล่าวมีอุณหภูมิและความชื้นที่สูงมากดังที่พบในประเทศไทย จะส่งผลเสียต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเช่นกัน

4.3.2.5 **การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ** พบว่าเมื่อน้ำมีการระเหยจะมีการดึงพลังงานที่แฝงอยู่ในรูปของความร้อนในอากาศไปใช้ทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง แต่ผลเสียก็คือความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานจริงต้องระวังอิทธิพลของความชื้นที่จะเข้ามาสู่ในอาคารด้วย

4.4 การศึกษารายละเอียดกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการออกแบบอาคารและระบบประกอบอาคาร

จากการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและระบบประกอบอาคารมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสูงที่สุด เนื่องจากมีผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ประกอบอาคารด้วย ในการออกแบบจึงต้องให้ความใส่ใจในการเลือกใช้วัสดุและวิธีการออกแบบอย่างมาก

4.4.1 เปลือกอาคาร

เปลือกอาคารคือส่วนที่อยู่ล้อมรอบอาคาร จากการศึกษาพบว่าตัวแปรนี้มีผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศสูงที่สุด เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนและความชื้นให้กับอาคาร ซึ่งประกอบด้วย

4.4.1.1 **การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร** การเลือกใช้วัสดุควรพิจารณาจากคุณสมบัติ การใช้งาน และการบำรุงรักษาเป็นเกณฑ์พื้นฐาน แต่วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ไม่เหมือนกัน การเลือกใช้วัสดุจึงควรพิจารณาจากหลักดังนี้

- **การเลือกวัสดุผนังทึบและหลังคา** ประกอบด้วยคุณสมบัติต่างๆ คือ

คุณสมบัติด้านการป้องกันความร้อนและการป้องกันความชื้น

- มีค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนต่ำ (U-Value)
- มีค่าความจุความร้อนต่ำ (Specific Heat)
- ทนต่อการยืดขยายและหดตัว
- ไม่ดูดซับหรือสะสมความชื้น

• ป้องกันการรั่วซึมของอากาศได้ดี

คุณสมบัติในการก่อสร้างและการลงทุน

• มีน้ำหนักเบา

• มีความคล่องตัวในการทำงาน

• ค่าบำรุงรักษาต่ำและมีความทนทานสูง

คุณสมบัติเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม

• ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม

• มีอัตราการกันไฟสูงหรือไม่ติดไฟ

• สามารถป้องกันเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงได้ดี

• มีค่าการดูดซับหรือสะท้อนเสียงที่เหมาะสม

- **การเลือกวัสดุผนังโปร่งแสง** ประกอบด้วยคุณสมบัติต่างๆ คือ

คุณสมบัติด้านการป้องกันความร้อนและการป้องกันความชื้น

• มีค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนต่ำ (U-Value)

• ป้องกันการรั่วซึมของอากาศได้ดี

• กันน้ำและกันความชื้นได้ดี

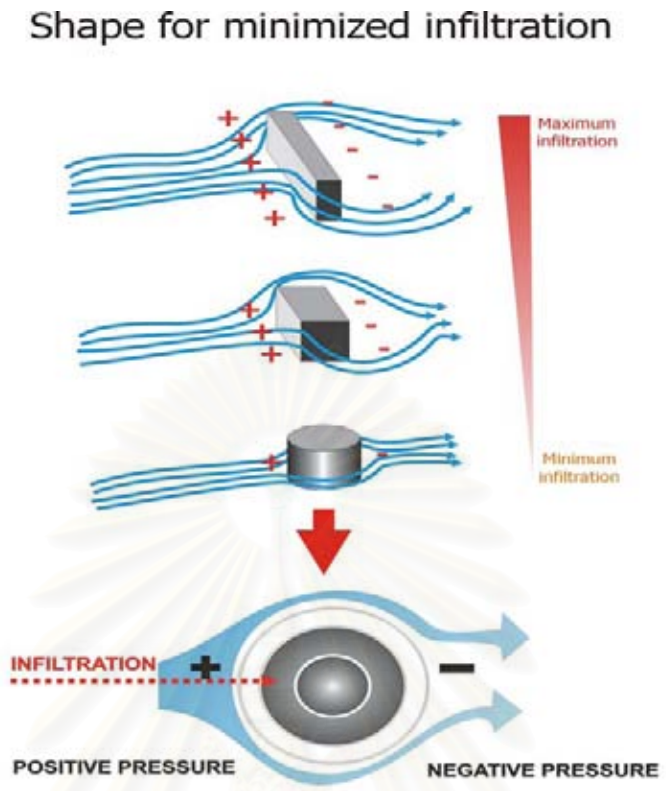
• มีค่า Shading Coefficient ต่ำ

• มีค่า Lighting Transmission สูง

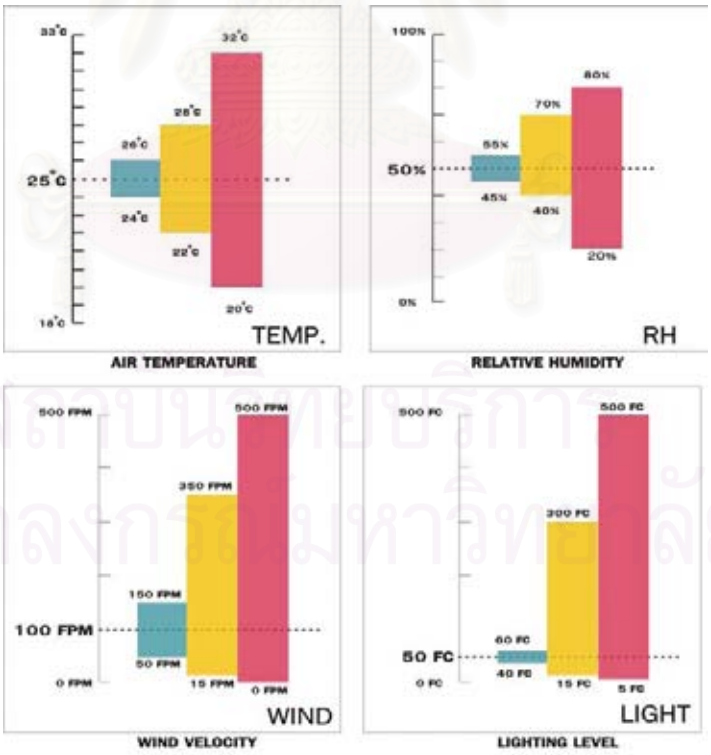
• มีค่า LT/SC สูง

4.4.1.2 **การเลือกรูปทรงอาคารที่เหมาะสม** ในการพิจารณารูปทรงของอาคารนอกจากความสวยงามแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการรั่วซึมของอากาศด้วย พบว่าอาคารที่ด้านรับลมมีพื้นที่ตั้งฉากกับกระแสลมจำนวนมากมีโอกาสทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศได้มากที่สุด ซึ่งส่งผลโดยตรงกับการใช้พลังงานในการปรับอากาศ ซึ่งตัวอย่างของรูปทรงที่มีการรั่วซึมของอากาศต่ำได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

4.4.1.3 **การออกแบบการใช้งานอาคาร** คือการจัดพื้นที่ใช้สอยให้มีความเหมาะสม การศึกษาพบว่าการจัดส่วนของอาคารให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานจะช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้มาก การแบ่งลักษณะพื้นที่การใช้งานที่เหมาะสมได้แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงรูปทรงอาคารที่มีโอกาสเกิดการรั่วซึมของอากาศในระดับที่ต่างกัน (สุนทร บุญญาธิการ; 2545)



รูปที่ 4.2 แสดงการกำหนดการควบคุมสภาพวะภายในอาคารตากการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอย
(สุนทร บุญญาธิการ; 2545)

4.4.2 ระบบโครงสร้างอาคาร

คือส่วนประกอบที่ทำให้อาคารสามารถดำรงมั่นคงอยู่ได้ รวมไปถึงเทคนิคในการก่อสร้างเพื่อการป้องกันความร้อนและความชื้น ซึ่งการเลือกระบบโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับประเภทอาคารและความเหมาะสมในการใช้งาน โดยพิจารณาจาก

4.4.2.1 **การเลือกโครงสร้างให้เหมาะสมกับการใช้งาน** มีข้อควรคำนึงในการพิจารณาดังนี้

- การลดน้ำหนักของอาคาร พบว่าอาคารที่ก่อสร้างโดนทั่วไป นิยมใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ในระบบเสาและคาน ซึ่งมีมวลสารมากและมีการสะสมความร้อนในมวลสาร ดังนั้นการเลือกโครงสร้างที่มีมวลสารน้อยกว่านอกจากจะทำให้การสะสมความร้อนลดลงแล้ว ยังช่วยลดขนาดของฐานรากทำให้ค่าก่อสร้างถูกลงได้
- การเลือกใช้โครงสร้างที่สามารถก่อสร้างได้ง่ายและรวดเร็ว จะช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณในการก่อสร้าง

4.4.2.2 **การเลือกวัสดุสำหรับโครงสร้าง** ควรมีคุณสมบัติดังนี้

- คุณสมบัติด้านการป้องกันความร้อนและการป้องกันความชื้น
  - มีค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนต่ำ (U-Value)
  - มีค่าความจุความร้อนต่ำ (Specific Heat)
  - ทนต่อการยืดขยายและหดตัว
  - ไม่ดูดซับหรือสะสมความชื้น
- คุณสมบัติในการก่อสร้างและการลงทุน
  - มีความแข็งแรงสูง
  - มีความคล่องตัวในการทำงาน
  - ค่าบำรุงรักษาต่ำและมีความทนทานสูง

4.4.2.3 **เทคนิคการก่อสร้าง** พบว่าเทคนิคในการก่อสร้างที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างมากคือ การป้องกันการเกิดสะพานความร้อน พบว่าแม้อาคารจะมีการใช้ฉนวนกันความร้อนโดยรอบแล้ว แต่ในส่วนของโครงสร้างที่ติดกับภายนอกหากไม่มีการป้องกันจะเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ ที่พบเห็นโดยส่วนใหญ่ได้แก่ บริเวณเสา คาน และพื้น ที่มีบางส่วนอยู่ติดภายนอกอาคารทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างเหล่านี้ อีกบริเวณหนึ่งคือ โครงหลังคากับอะเสซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาเข้าสู่อาคารผ่านโครงสร้างได้โดยตรง

4.4.3 ระบบเครื่องกล

หมายถึงระบบปรับอากาศ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเป็นระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุด ดังนั้นในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานจึงต้องให้ความสำคัญแก่ระบบนี้เป็นอย่างมาก สิ่งที่มีอิทธิพลสูงต่อระบบเครื่องกลคือภาระการปรับอากาศ ซึ่งต้องการขจัดความร้อนและความชื้นภายในอาคาร ซึ่งพบว่าระบบนี้จะได้รับอิทธิพลจากทุกระบบประกอบกัน ดังนั้นการออกแบบระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพ จึงมีความสัมพันธ์กับทุกระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเปลือกอาคารซึ่งเป็นต้นเหตุของการใช้พลังงานในอาคารสูงสุด นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของระบบที่เหมาะสมด้วย เช่น

4.4.3.1 **ขนาดและปริมาตรของอุปกรณ์** ควรเลือกขนาดที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน พบว่าบางครั้งในการออกแบบอาคารที่มีการกำหนดพื้นที่ใช้สอยไม่ชัดเจน ทำให้วิศวกรปรับอากาศต้องออกแบบขนาดของเครื่องปรับอากาศใหญ่เกินความจำเป็น และต้องสูญเสียพลังงานส่วนเกินนี้อย่างมหาศาล ดังนั้นการกำหนดพื้นที่ปรับอากาศนี้สถาปนิกและวิศวกรต้องให้ความสำคัญมากเป็นพิเศษ

4.4.3.2 **เทคนิคการเดินท่อลม** ไม่ควรเดินให้มีจุดหักเลี้ยวมากเกินไปเนื่องจากทำให้เกิดการสูญเสียความดัน และต้องหมั่นตรวจคุณภาพของฉนวนหุ้มท่ออยู่เสมอ เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน

4.4.3.3 **การกำหนดตำแหน่งจุดจ่ายลม** ควรกำหนดให้เหมาะสมตามสภาพการใช้งานจริง และต้องคำนึงถึงพฤติกรรมของผู้ใช้งานด้วย

4.4.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ซึ่งหมายถึงแสงประดิษฐ์ และแสงธรรมชาติ ซึ่งระบบนี้มีการใช้พลังงานที่สูงเช่นกัน ผู้ออกแบบจึงต้องผสมผสานการออกแบบในระบบนี้ให้เหมาะสมดังนี้

4.4.4.1 **การใช้แสงธรรมชาติ** ต้องคำนึงถึงความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และปริมาณแสงสว่างที่สามารถส่องผ่านได้ จากการศึกษาพบว่าวิธีการใช้แสงธรรมชาติที่เหมาะสมคือการใช้แสงสะท้อนซึ่งจะไม่มีรังสีดวงอาทิตย์เข้ามาในอาคาร ในการออกแบบช่องเปิดเพื่อรับแสงธรรมชาติมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้กระจก จึงควรเลือกกระจกที่สามารถยอมให้แสงผ่านได้มากแต่ความร้อนผ่านได้น้อย

4.4.1.2 **การเลือกใช้แสงประดิษฐ์** ต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของหลอดไฟและโคม

- การเลือกหลอดไฟที่ดีพิจารณาจากค่า Lumen/Watt ที่สูงกว่าแต่นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความร้อนที่เกิดจากหลอดไฟด้วย เนื่องจากส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

- การเลือกดวงโคมควรเลือกโคมที่สามารถกระจายแสงได้ดี มีลักษณะการกระจายแสงแบบปีกผีเสื้อ หรือ Bat Wing ซึ่งจะเกิดการสูญเสียน้อยกว่า ประกอบกับการดูและทำความสะอาดดวงโคมอย่างสม่ำเสมอเพื่อหารใช้โคมไฟอย่างมีประสิทธิภาพ

4.4.5 **ระบบไฟฟ้ากำลังและสื่อสาร**

ได้แก่การกำหนดตำแหน่งสวิตช์ เต้าเสียบ โทรศัพท์ ซึ่งผู้ออกแบบต้องออกแบบให้เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้งาน ซึ่งหากมีการประสานการออกแบบให้เหมาะสมกับพฤติกรรมผู้ใช้งานจะช่วยให้มีการประหยัดพลังงานได้มาก

4.4.6 **ระบบสุขาภิบาล**

ระบบนี้หากผู้ออกแบบไม่มีความเข้าใจที่ดีพอจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่มากพอสมควร ซึ่งต้องคำนึงถึง

4.4.6.1 **ขนาดของปัมป์น้ำ** ขนาดและประสิทธิภาพของปัมป์น้ำเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ เนื่องจากการเริ่มใช้ปัมป์ในแต่ละครั้งต้องใช้พลังงานจำนวนมาก การเลือกปัมป์ที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าในตอนเริ่มใช้งานจะเป็นทางเลือกที่ดี

4.4.6.2 **รูปแบบการวางท่อและขนาดของท่อ** การกำหนดการเดินท่อและขนาดของท่อต้องเป็นไปด้วยความเหมาะสม พบว่าการเดินที่ที่มีจุดต่อและการหักเลี้ยวจำนวนมากจะทำให้สูญเสียความดันในท่อไป ส่งผลให้ปัมป์ต้องทำงานหนักและการใช้พลังงานในอุปกรณ์ประกอบอาคารเพิ่มขึ้น

4.4.6.3 **การบำรุงรักษา** การบำรุงรักษาอุปกรณ์ทุกชิ้นในระบบให้อยู่ในสภาพดีเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดการใช้พลังงานได้ เนื่องจากเมื่ออุปกรณ์ต่างๆ ไม่ได้รับการบำรุงรักษา เกิดสนิมหรือตะกรันในท่อ ส่งผลให้ต้องมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการรักษาความดันในท่อไว้

4.4.7 **ระบบดับเพลิงและรักษาความปลอดภัย**

ในการออกแบบอาคารนอกจากจะคำนึงถึงการประหยัดพลังงานแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารด้วย

4.4.7.1 **ระบบดับเพลิง** ในสภาวะปกติแล้วจะมีการใช้พลังงานน้อยมาก ยกเว้นในกรณีที่เกิดเพิงไหม้ การใช้พลังงานในระบบนี้คือ ขนาดของปัมป์น้ำ รูปแบบการวางท่อและขนาดของท่อ การบำรุงรักษา ที่มีลักษณะการใช้พลังงานคล้ายกับระบบสุขาภิบาล

4.7.7.2 **ระบบรักษาความปลอดภัย** ไม่ว่าจะเป็นกล้องวงจรปิด ระบบเตือนภัยต่างๆ จะใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ แต่ผู้ออกแบบต้องออกแบบให้สัมพันธ์กับระบบไฟฟ้ากำลังและสื่อสาร ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลงได้

จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและระบบประกอบอาคาร เป็นกลุ่มตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมากที่สุด ซึ่งผู้ออกแบบต้องให้ความใส่ใจในการประสานระบบในกลุ่มตัวแปรนี้อย่างมาก จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้ดี

4.5 การศึกษารายละเอียดกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการใช้งานอาคาร

จากการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับการใช้งานมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารเช่นกัน แต่ไม่สามารถบ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์ที่แน่ชัดได้ เนื่องจากในการออกแบบไม่สามารถกำหนดพฤติกรรมการใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ แต่ในการออกแบบที่ดีจำเป็นต้องคำนึงถึงการวิธีใช้งานที่จะช่วยลดการใช้พลังงานพร้อมทั้งจัดสภาวะภายในอาคารให้เหมาะสมเพื่อให้ผู้ใช้อาคารสามารถปฏิบัติตามวิธีการใช้งานดังกล่าวได้ ซึ่งตัวแปรในกลุ่มนี้ประกอบด้วย

4.5.1 ประเภทของผู้ใช้อาคาร

ประเภทของผู้ใช้อาคารหมายถึงพฤติกรรม หรือกิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร ในการออกแบบต้องมีการกำหนดไว้แต่แรก การเปลี่ยนแปลงการใช้งานอาคารโดยที่ไม่ได้รับการวางแผนไว้ล่วงหน้ามักส่งผลเสียต่อการใช้พลังงานในอาคาร

4.5.1.1 **พฤติกรรมของมนุษย์** พบว่ากิจกรรมการใช้งานของมนุษย์ เช่นการเดินกับการวิ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากมีการแผ่รังสีความร้อนและการระเหยของเหงื่อที่แตกต่างกัน ซึ่งในอาคารสาธารณะที่มีผู้ใช้อาคารจำนวนมากจะทำให้อิทธิพลจากผู้ใช้อาคารสูงขึ้นอย่างมาก

4.5.1.2 **ความต้องการของมนุษย์** พบว่าปัจจุบันความต้องการของมนุษย์ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากอดีต ดังนั้นในการออกแบบต้องคำนึงถึง

- ความรู้สึกร้อน-หนาวที่พอเหมาะ
- การมีแสงสว่างที่เหมาะสมและพอเพียง
- การมีคุณภาพเสียงที่เหมาะสม
- ความต้องการทัศนวิสัยที่สบายตา
- การมีคุณภาพอากาศภายในที่ดี
- การมีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน

4.5.2 การควบคุมและการใช้งาน

การออกแบบวิธีการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะสมมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารเช่นกัน จากการศึกษาพบว่าการออกแบบการควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ไฟให้เมาะสมจะช่วยลดการใช้พลังงานในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างได้เช่นกัน

ยกตัวอย่างเช่นการออกแบบสวิตช์ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างให้ขนานกับแนวช่องเปิด เมื่อแสงภายนอกลดลงก็สามารถเปิดไฟได้เป็นแถวจากส่วนลึกในอาคารโดยไม่ต้องเปิดทั้งหมดพร้อมกัน หรือการออกแบบให้มีสวิตช์ควบคุมไฟแยกตามส่วนของการใช้งานให้เหมาะสม เมื่อต้องการใช้งานจะสามารถเปิดได้เป็นจุด เป็นต้น

ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวเป็นเทคนิคที่ทราบโดยทั่วไปแต่มักถูกละเลย ดังนั้นในระหว่างการออกแบบผู้ออกแบบต้องไม่ละเลยการควบคุมการใช้งานที่สะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้อาคารด้วย

4.5.3 การบริหารจัดการอาคาร

การบริหารจัดการอาคารหมายถึงต้นทุนหรือการลงทุนในระบบต่างๆ เนื่องจากโดยปกติแล้วในการออกแบบอาคารจะถูกจำกัดด้ายต้นทุน ดังนั้นการบริหารต้นทุนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจึงมีความจำเป็นอย่างมาก จากการศึกษาพบว่าค่าใช้จ่ายสำคัญที่เกิดขึ้นประกอบด้วย

4.5.3.1 **ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง** ประกอบด้วย ต้นทุนของค่าวัสดุและค่าแรง ซึ่งผู้ออกแบบต้องพิจารณาประกอบกับประสิทธิภาพของวัสดุที่เลือกใช้ให้เหมาะสม

4.5.3.2 **ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ** ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการออกแบบการประสานงานและการดำเนินการก่อสร้าง ดังนั้นการเลือกระบบที่เหมาะสมลดความยุ่งยากในการออกแบบและก่อสร้าง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงระหว่างการออกแบบ

4.5.3.3 **ค่าใช้จ่ายในการใช้งานและการบำรุงรักษา** หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นหลังจากก่อสร้างอาคารเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ด้วย เนื่องจากจะเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาของการใช้งานอาคาร ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุหรือระบบที่

สะดวกแก่การใช้งานและต้องการบำรุงรักษาต่ำ จึงเป็นทางเลือกที่ควรพิจารณาประกอบในการออกแบบ

4.5.4 การบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาเป็นตัวแปรหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ เนื่องจากมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าใช้จ่ายและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่เลือกใช้ พบว่าหากไม่ได้คำนึงถึงการบำรุงรักษาแต่ต้นการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ มักไม่ได้รับความเอาใจใสและทำให้ต้องมีการใช้พลังงานสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงสิ่ง เหล่านี้

4.5.4.1 **การใช้อุปกรณ์ที่ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ** เพื่อจะได้ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา พบว่าอุปกรณ์เหล่านี้มักจะมีราคาที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการเลือกใช้ต้องพิจารณาให้เหมาะสมระหว่างการลงทุนใช้ในครั้งแรกและค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นภายหลังให้คุ้มค่า

4.5.4.2 **การออกแบบให้มีการบำรุงรักษาง่าย** จะทำให้สะดวกต่อการบำรุงรักษา พบว่าอาคารทั่วไปที่ไม่ได้คำนึงถึงการออกแบบให้บำรุงรักษาง่ายมักจะถูกละเลยต่อการบำรุงส่งผลให้อุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพลดลงหรืออาจถึงขั้นพังเสียหาย

4.5.4.3 **การกำหนดระยะเวลาในการบำรุงรักษาที่แน่นอน** เพื่อให้ผู้ที่ทำหน้าที่ดูแลอาคารสามารถบำรุงรักษาอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องตามเวลาที่กำหนด

จากการศึกษาพบว่าตัวแปรในกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคาร จะมีความเกี่ยวข้องกับผู้ใช้อาคารซึ่งมีความแปรปรวนในการออกแบบที่สูงมาก แต่หากให้ความใส่ใจและพยายามออกแบบการควบคุมแลให้เหมาะสม จะช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้เป็นอย่างดี

4.6 การประยุกต์ใช้แนวทางการออกแบบประสานระบบในการออกแบบ

จากการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงานแล้ว พบว่าแนวทางการออกแบบประสานระบบที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงาน สามารถออกแบบตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การปรับปรุงสภาพแวดล้อมและการใช้ปัจจัยธรรมชาติ
2. การกำหนดรูปทรงอาคาร
3. การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร
4. การเลือกใช้ระบบโครงสร้างที่เหมาะสม
5. การควบคุมความรู้สึกร้อน-หนาว

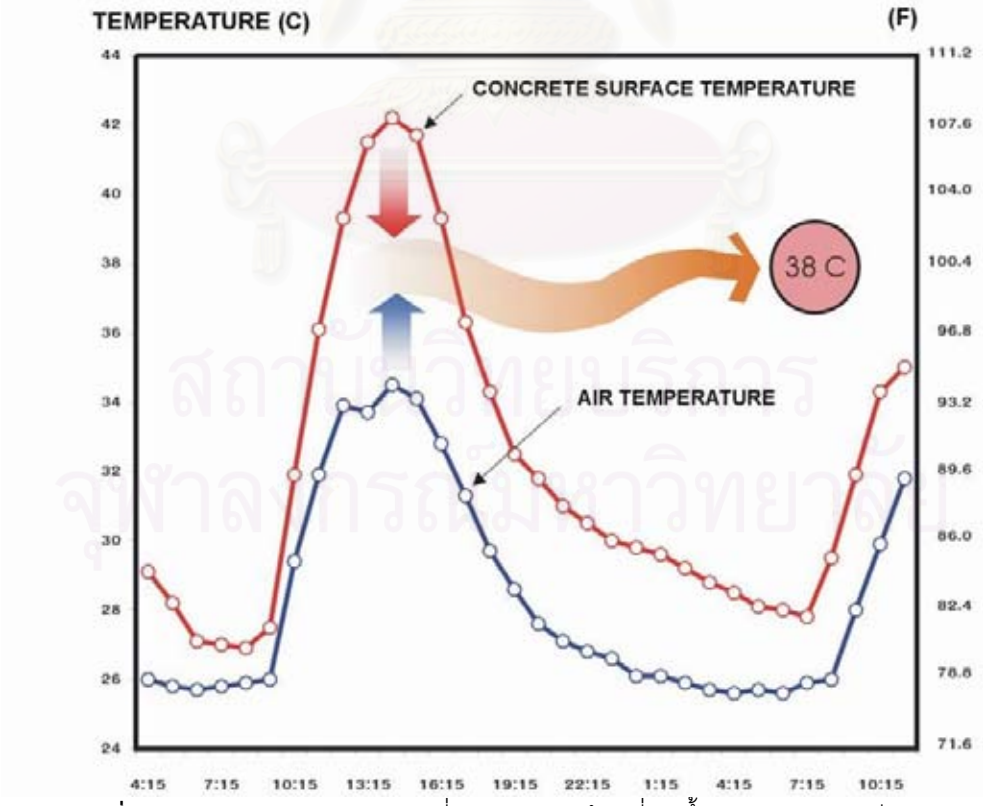
6. การควบคุมคุณภาพแสงสว่าง
7. การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

4.6.1 การปรับปรุงสภาพแวดล้อมและการใช้ปัจจัยธรรมชาติ

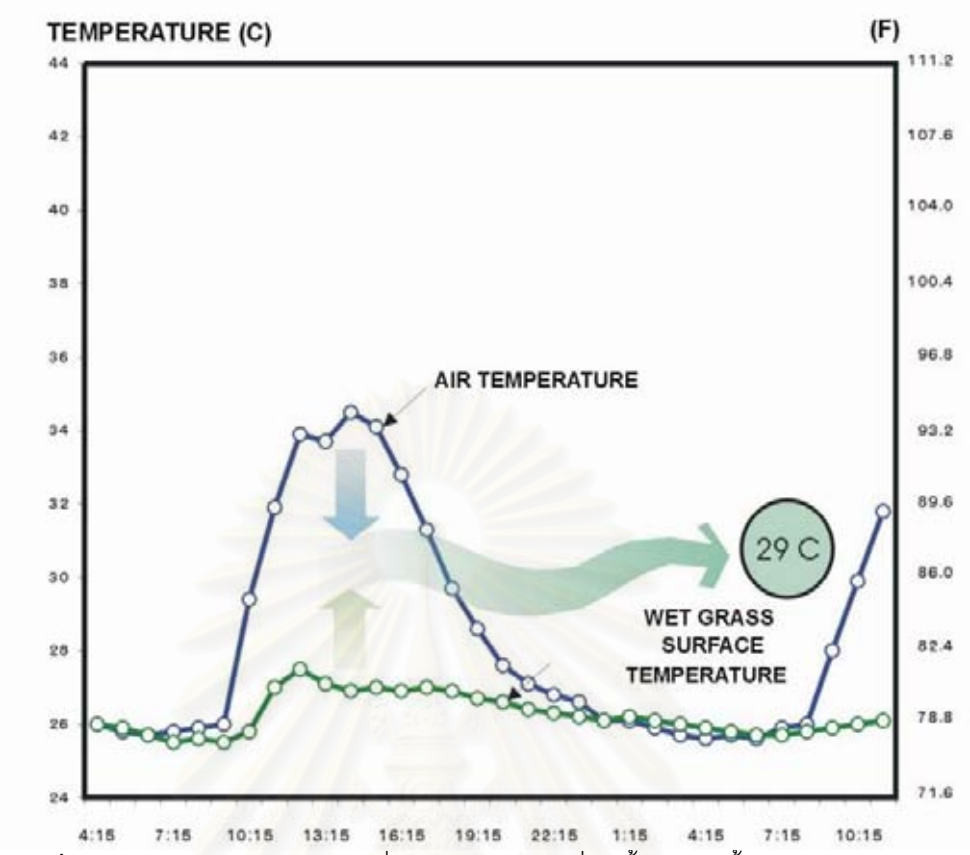
ในการทดลองออกแบบได้ทดลองใช้เทคนิคการประสานระบบในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อการลดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งมีผลดีคือช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างดี โดยใช้เทคนิคดังต่อไปนี้

4.6.1.1 **การใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่และไม้พุ่ม** โดยในการออกแบบได้มีการเพิ่มจำนวนของต้นไม้ใหญ่ขึ้นจากที่มีอยู่เดิม เพื่อสร้างร่มเงาให้แก่พื้นและอาคาร นอกจากนี้ยังสามารถลดอุณหภูมิอากาศโดยรอบลงได้จากกระบวนการระเหยของน้ำที่ปากใบต้นไม้เหล่านี้

4.6.1.2 **การคำนึงถึงอิทธิพลของวัสดุปูผิวดิน** ในการศึกษาแผนภูมิที่4.3 และแผนภูมิที่4.4 พบว่าการใช้ผิวหญ้าเปียกจะทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นลดต่ำที่สุด ในการออกแบบจึงได้กำหนดพื้นที่โดยรอบเป็นหญ้า เนื่องจากมีความเหมาะสมด้านพลังงานและดูแลรักษาง่าย



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิอากาศผสมที่เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวคอนกรีตกับอุณหภูมิอากาศปกติ พบว่าทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นสูงขึ้นเป็น 38 องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิอากาศผสมที่เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวหญ้าเปียกกับอุณหภูมิอากาศปกติ พบว่าทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นลดลงเป็น 29 องศาเซลเซียส

4.6.1.3 **การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ** ในการออกแบบอาคารตัวอย่างได้ใช้บ่อน้ำรอบอาคารเพื่อใช้ประโยชน์จากการระเหยของน้ำ แต่การใช้ประโยชน์จากน้ำจะมีปัญหาเรื่องความชื้นด้วยผู้ออกแบบจึงได้วิเคราะห์ประกอบกับรูปทรงของอาคาร ที่ทำให้ความเร็วลมโดยรอบอาคารสูงขึ้นเพื่อกำจัดความชื้นที่สะสมอยู่ออกไป

จากการศึกษาพบว่าหากไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารจะทำให้อุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารแตกต่างกันประมาณ 14 องศาเซลเซียส แต่เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมแล้วจะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารลดลงเหลือ 7 องศาเซลเซียส ซึ่งชาวยลดภาพระในการปรับอากาศจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารได้เป็นอย่างมาก

รูปที่ 4.3 แสดงการปรับปรุงสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร

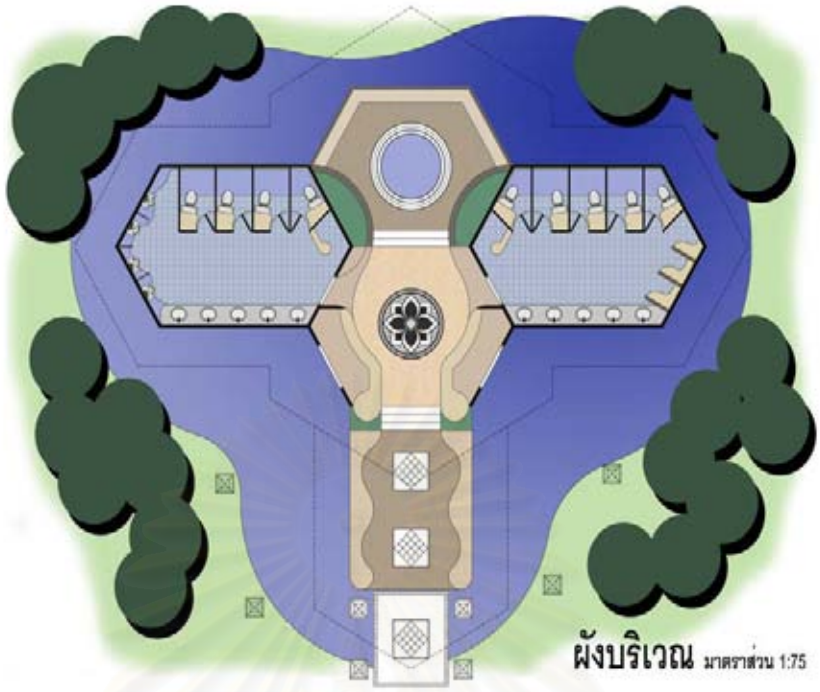
4.6.2 **การกำหนดรูปทรงอาคาร**

ในการกำหนดรูปทรงของอาคารได้คำนึงถึงรูปแบบความสวยงามและความกลมกลืนกับสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ได้คำนึงถึงการประหยัดพลังงานใน 2 ตัวแปรด้วยกันคือ การกำหนดทิศทางอาคารและการกำหนดทางเข้าอาคาร

4.6.2.1 **การกำหนดทิศทางและรูปทรงของอาคาร** ได้พิจารณาวางอาคารตามทิศตะวันออกและตะวันตกเพื่อให้อาคารรับอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์น้อยที่สุด ควบคู่กับการคำนึงถึงรูปทรงของอาคารประกอบกัน

จากการศึกษารูปทรงของอาคารพบว่า มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศมาก ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบอาคารที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศน้อยลง โดยการออกแบบให้ผนังด้านที่รับแรงลมมีมุมกว้างขึ้น เพื่อให้กระแสลมสามารถไหลได้สะดวกเป็นการลดความกดอากาศบวกด้านหน้าอาคาร ขอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้กับหลังคาด้วย พบว่ามุมเอียงของหลังคาประมาณ 30 -35 องศาช่วยลดความกดอากาศบวกบริเวณด้านหน้าลงได้ จึงทำให้การรั่วซึมของอากาศลดลงเนื่องจากด้านหน้าและหลังอาคารมีความกดอากาศที่แตกต่างกันน้อยลง

ดังนั้นรูปแบบของอาคารจึงเป็นไปดังรูปที่ 4.4 โดยอาคารมีรูปร่างคล้ายหกเหลี่ยมประกอบกัน ซึ่งช่วยลดอิทธิพลจากแสงแดดและความชื้นได้ดีพอสมควร



รูปที่ 4.4 การกำหนดรูปทรงของอาคารโดยการคำนึงอิทธิพลของแสงแดดและการรั่วซึมของอากาศ

4.6.2.2 **การเลือกทิศทางเข้าของอาคาร** พิจารณาจาก 3 ตัวแปรด้วยกันคือ

- อิทธิพลของแสงแดด โดยการคำนึงถึงมุมของแสงแดดที่ส่งผลต่อความร้อนและการใช้งาน เกณฑ์ที่ใช้นำมาจากค่าตัวประกอบแก้รังสีของดวงอาทิตย์ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าในด้านที่มีอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์สูงจะมีค่าตัวประกอบที่สูงตามด้วย

ตารางที่4.3 แสดงค่าตัวประกอบแก้รังสีดวงอาทิตย์ในทิศทางต่างๆ

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์	0.70	0.87	1.12	1.17	1.11	1.13	1.03	0.84

- อิทธิพลจากการรั่วซึมของอากาศ พบว่าเมื่อมีการเปิดประตูอาคารจะมีอากาศภายนอกที่ไหลเข้ามาในอาคารด้วยจากอิทธิพลของกระแสลม จากการศึกษาพบว่าระดับเอ็นทัลปีของแต่ละทิศมีความแตกต่างกัน ดังนั้นทิศที่มีระดับเอ็นทัลปีต่ำกว่าจึงเป็นทิศที่เหมาะแก่การใช้เป็นทางเข้าอาคาร

ตารางที่4.4 แสดงเอ็นทัลปีในทิศทางต่างๆ

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
ระดับเอ็นทัลปี (Ton•h/ft^2)	0.50	0.63	0.89	1.49	1.93	1.92	1.08	0.76

- ความสัมพันธ์กับที่ตั้ง โดยกำหนดความเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ดังนี้

1. มีความเหมาะสมกับที่ตั้งสามารถใช้เป็นทางเข้าได้ ให้1
2. พอจะสามารถใช้เป็นทางเข้าได้ ให้ 0.5
3. ไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นทางเข้า ให้ 0

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความเหมาะสมของทางเข้า โดยให้คะแนนเรียงลำดับความเหมาะสมในเรื่อง อิทธิพลของแสงแดดและเอ็นทัลปี และนำคะแนนที่ได้มารวมกันแล้วคูณด้วยความสัมพันธ์กับที่ตั้ง พบว่าทิศเหนือเหมาะแก่การใช้เป็นทางเข้าอาคารมากที่สุด

ตารางที่4.5 แสดงผลการวิเคราะห์การเลือกทิศของทางเข้าอาคาร

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
อิทธิพลของแสงแดด	8	6	3	1	4	2	5	7
อิทธิพลของเอ็นทัลปี	8	7	6	3	2	1	3	4
	16	13	9	4	6	3	8	11
อิทธิพลของที่ตั้ง	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0	0	0
รวม	16.0	7.5	9	2.0	6.0	0.0	0.0	0.0

4.6.3 การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร

การเลือกวัสดุเปลือกอาคารได้ทำการพิจารณาถึง วัสดุผนัง กระจก และหลังคาที่ใช้ในการออกแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

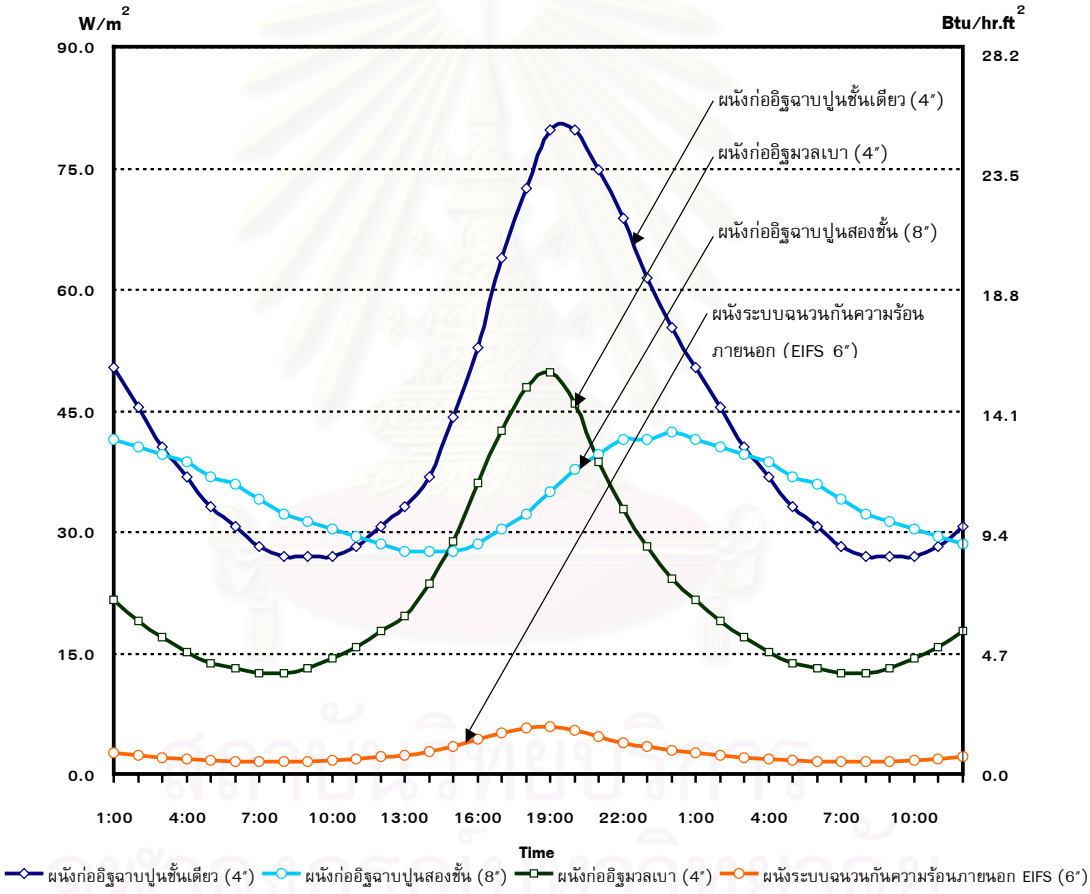
4.6.3.1 การเลือกผนัง พบว่าผนังที่นิยมใช้ในประเทศไทยมีอยู่4 ประเภทคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น ผนังก่ออิฐฉาบปูนชั้นเดียว ผนังก่ออิฐมวลเบา และผนัง EIFS จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของผนังทั้ง 4 ชนิดนี้ ในเรื่องน้ำหนัก การถ่ายเทความร้อน และความจุความร้อนจำเพาะ

ตารางที่4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผนังชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการศึกา

ประเภทผนัง	น้ำหนัก		สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	ความจุความร้อนจำเพาะ
	(kg/m^2)	(lb/ft^2)	($Btu/ft^2 \cdot h \cdot F$)	($Btu/lb \cdot F$)
ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น (8 นิ้ว)	360	6.84	1.2	0.19
ผนังก่ออิฐฉาบปูนชั้นเดียว (4 นิ้ว)	180	3.42	0.6	0.19
ผนังก่ออิฐมวลเบา (4 นิ้ว)	90	1.17	0.25	0.19
ผนัง EIFS ฉนวนหนา 3 นิ้ว	35	0.67	0.06	0.13

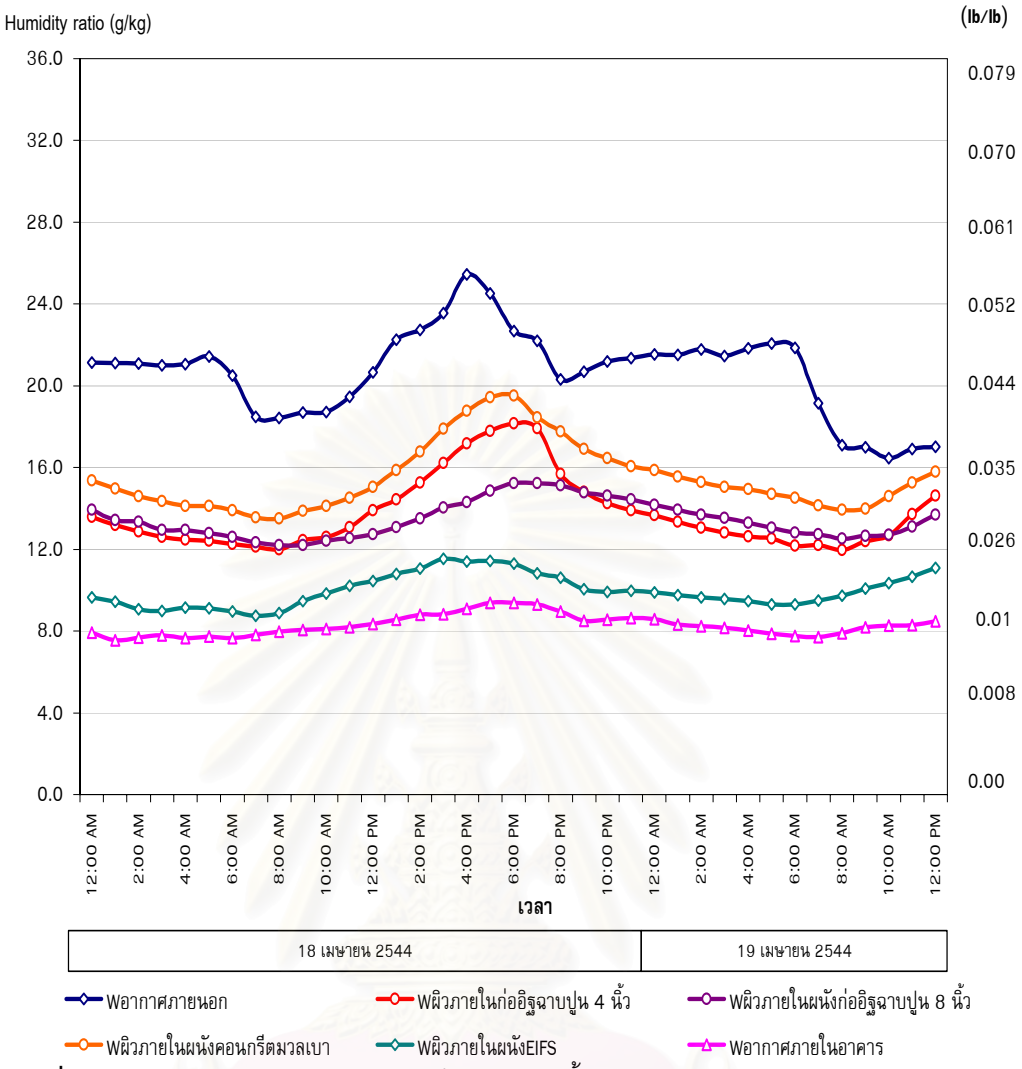
พบว่าน้ำหนักมีผลต่อขนาดของโครงสร้างเนื่องจากผนังเป็นส่วนประกอบที่มีจำนวนมากในอาคาร ดังนั้นการเลือกผนังที่มีน้ำหนักเบาจะช่วยในการลดขนาดของโครงสร้างได้ นอกจากนี้ได้พิจารณาถึงการสะสมความร้อนในวัสดุพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลคือ น้ำหนักและค่าความจุความร้อนจำเพาะ ผนังที่มีการสะสมความร้อนน้อยคือผนังที่มีค่าของปัจจัยทั้ง 2 ต่ำ พบว่าผนัง EIFS เป็นผนังที่มีคุณสมบัติดีที่สุดในแง่ของการลดน้ำหนักโครงสร้างและการสะสมความร้อนในผนังอาคาร

และเมื่อพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเป็นอย่างมาก พบว่าผนัง EIFS เป็นผนังที่ยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้ามาในอาคารได้น้อยที่สุด ดังแสดงไว้ในแผนภูมิที่ 4.5



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังชนิดต่างๆ พบว่าผนัง EIFS เป็นผนังที่มีการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด (สุนทร บุญญาธิการ; 2545)

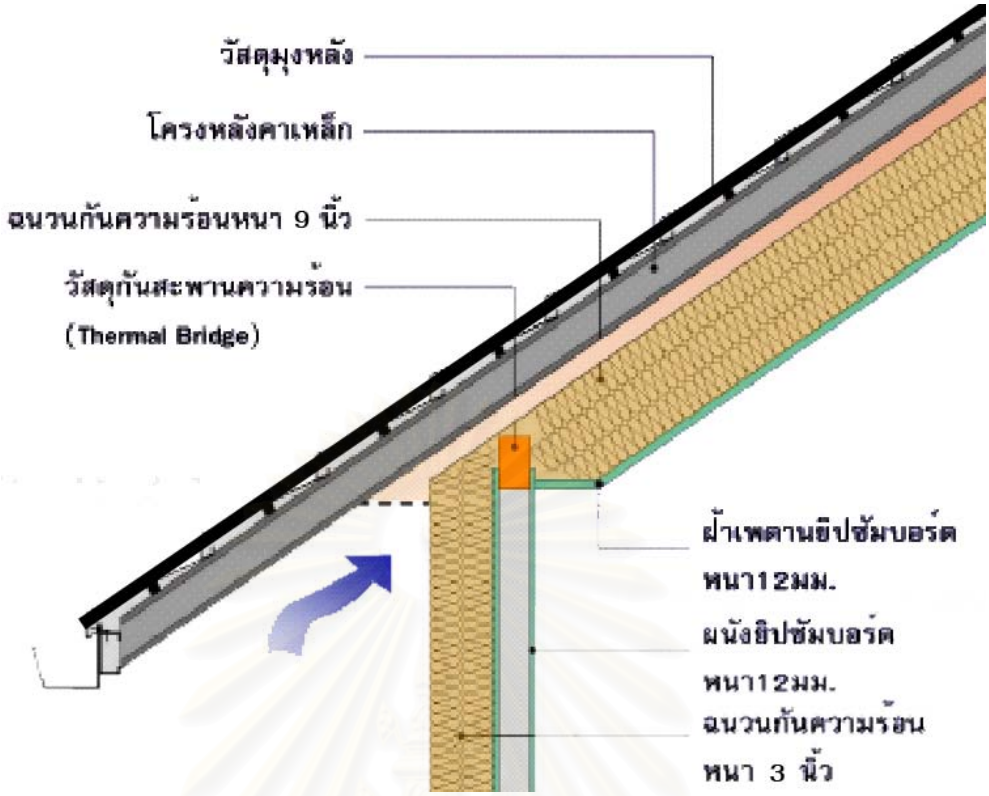
เมื่อพิจารณาคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นพบว่า ผนัง EIFS สามารถป้องกันอิทธิพลของการแทรกซึมของความชื้นได้มากที่สุด ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.6



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบการแทรกซึมของความชื้นผ่านผนังชนิดต่างๆ พบว่าผนัง EIFS เป็นผนังที่สามารถป้องกันการแทรกซึมความชื้นได้มากที่สุด (สุวิชา เบญจพร; 2545)

ดังนั้นในการออกแบบประสานระบบจึงได้ทำการเลือกผนัง EIFS ใช้เป็นผนังภายนอกของอาคาร ซึ่งจะช่วยในการป้องกันการถ่ายเทความร้อน ความชื้น ได้มากที่สุดซึ่งช่วยในการลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้มาก

4.6.3.2 **การเลือกใช้หลังคา** ในการออกแบบหลังคาได้มีความพยายามในการเพิ่มประสิทธิภาพของหลังคาโดยใช้ฉนวนกันความร้อนและการใช้ความต้านทานของอากาศใต้หลังคาประกอบกัน ทำให้ได้หลังคาที่มีประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนเพียง 0.03 $Btu/ft^2 \cdot h \cdot F$



รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างของหลังคาที่มีการใช้ประโยชน์จากความต้านทานความร้อนในช่องอากาศใต้หลังคาและฉนวนใยแก้วที่มีความหนา 9 นิ้ว

4.6.3.3 **การเลือกใช้กระจก** ได้พิจารณาคุณสมบัติของกระจกตามหลักเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ในข้างต้นดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของกระจกชนิดต่างๆ (สุนทร บุญญาธิการ; 2545)

	(mm)	U-Value	SC	LT	STC
Heat-stop on RSCAZ	26	0.33	0.18	22%	40
Heat-stop on RSCAZ	28	0.32	0.27	50%	40
Laminated 46VGN.1	10.38	1.06	0.49	51%	37
Laminated 44.1	8.38	0.83	0.88	84%	34

การศึกษาความเหมาะสมในการใช้กระจกชนิดต่างๆ ในทิศทางและสัดส่วนที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์ในแง่ของอิทธิพลด้านพลังงานและความคุ้มค่าในการลงทุนพบว่ากระจกที่เหมาะสมกับทิศทางต่างๆ เป็นไปตามรูปที่ 4.6

ที่มา: 4.6 แนวทางการใช้งานอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย (ฉบับปรับปรุง 2546)

บทสรุปของการเลือกใช้ช่องแสงกระจกด้านข้าง

ทิศทางช่องแสง	ช่วงเวลาทำงาน Working Time	ชนิดของกระจกที่เหมาะสมตามสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจก (Recommended Glass Type Due to Percentage of Glazing Area on Wall)									
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ทิศเหนือ (North)	07:00 - 16:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	08:00 - 17:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	09:00 - 18:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	10:00 - 19:00	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop
	24 Hours	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
ทิศใต้ (South)	07:00 - 16:00	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	08:00 - 17:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	09:00 - 18:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	10:00 - 19:00	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	24 Hours	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
ทิศตะวันออก (East)	07:00 - 16:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	08:00 - 17:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	09:00 - 18:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	10:00 - 19:00	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop
	24 Hours	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
ทิศตะวันตก (West)	07:00 - 16:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	08:00 - 17:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	09:00 - 18:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	10:00 - 19:00	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	24 Hours	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop

พบว่ากระจกที่เหมาะสมในการใช้งานกับอาคารทดลองนี้คือ กระจกฮีตสต็อป จึงเลือกใช้ในช่องเปิดโดยรอบอาคาร

4.6.4 **การเลือกใช้ระบบโครงสร้างที่เหมาะสม**

ในการออกแบบอาคารตัวอย่างได้ทำการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมดังนี้

4.6.4.1 **การลดขนาดของโครงสร้าง** มีวัตถุประสงค์ในการลดค่าก่อสร้างในส่วนนี้ลง พบว่าการลดน้ำหนักของอาคารโดยเฉพาะในส่วนของผนังและหลังคาจะทำให้ขนาดของโครงสร้างลดลงได้ จากการศึกษาเรื่องผนังพบว่าผนัง EIFS เป็นผนังที่มีน้ำหนักเบาที่สุด จึงเหมาะสมในการใช้เป็นผนังของอาคารตัวอย่าง

4.6.4.2 **การเลือกใช้วัสดุสำหรับโครงสร้าง** ได้พิจารณาถึงลดการสะสมความร้อนและการลดการสะสมความชื้นในวัสดุ พบว่าวัสดุหลักที่ใช้ในอาคารคือคอนกรีตมีการสะสมความร้อนและความชื้นสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็ก ดังนั้นในการออกแบบอาคารตัวอย่างจึงใช้โครงสร้างเหล็กทดแทนในส่วนที่เป็นไปได้ เช่นโครงหลังคา เสาและคานบางส่วน ในส่วนที่ไม่สามารถแทนได้เช่น ผนังก้องใต้ดินและบ่อน้ำยังคงใช้คอนกรีตเสริมเหล็กดังเดิม
เทคนิคการก่อสร้าง

4.6.4.3 **การลดการเกิดสะพานความร้อน** การป้องกันการเกิดสะพานความร้อนในอาคารตัวอย่างนี้มี 2 จุดคือ

- การป้องกันการเกิดสะพานความร้อนบริเวณเปลือกอาคาร มีการใช้ฉนวนโฟมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของผนัง EIFS หุ้มอาคารโดยรอบในส่วนที่มีการปรับอากาศ ส่วนหลังคามีการใช้ฉนวนใยแก้วหนา 9 นิ้วเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา และที่พื้นอาคารชั้น1 ที่ติดกับห้องใต้ดินมีการใช้ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้วเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้น

- การป้องกันการเกิดสะพานความร้อนบริเวณโครงสร้างหลังคา ทีการใช้ไม้แห้งที่มีความแข็งแรงสูงรองโครงสร้างหลังคาที่พาดกับผนัง เนื่องจากไม่มีค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนต่ำ

4.6.5 **การควบคุมความรู้สึกร้อน-หนาว**

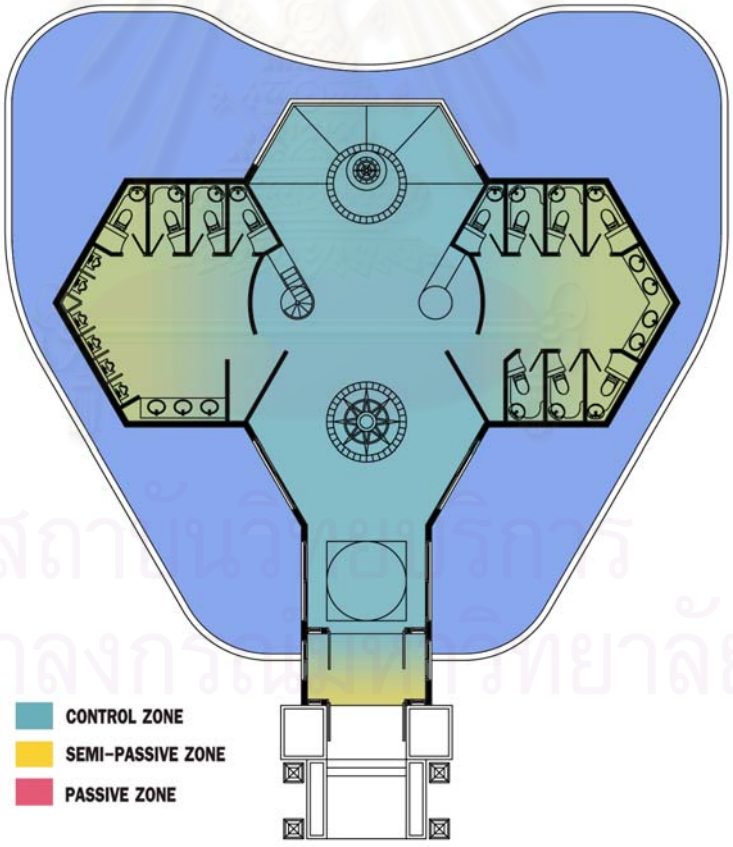
ในการออกแบบอาคารตัวอย่างได้ใช้เทคนิคในการควบคุมความรู้สึกร้อนหนาว 2 วิธีคือ

4.6.5.1 **การใช้อิทธิพลของการลอยตัวของอากาศ** พบว่าในการใช้งานจริงจะมีความร้อนเกิดขึ้นภายในอาคารจำนวนมาก จากผู้ใช้งานอาคารและอุปกรณ์ต่างๆ ในอาคาร ในการที่จะกำจัดความร้อนเหล่านี้ออกไปโดยไม่ต้อใช้พลังงานจากการปรับอากาศมีความเป็นไปได้

เนื่องจากธรรมชาติของอากาศร้อนจะมีการลอยตัวสูงขึ้น ในการออกแบบจึงอาศัยพฤติกรรมนี้โดยออกแบบให้มีช่องแสงสูงขึ้นไป ความร้อนที่เกิดขึ้นจะลอยตัวไปยังบริเวณนี้ทำให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก จะเกิดการสูญเสียความร้อนออกไปนอกอาคาร ทำให้ไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการลดความร้อนที่เกิดขึ้นดังกล่าว

4.6.5.12 **การกำหนดพื้นที่ใช้งานให้เหมาะสม** ได้ทำการกำหนดพื้นที่ในส่วนทางเข้าอาคารให้เป็นพื้นที่กึ่งปรับอากาศ เนื่องจากมีการเข้าออกอาคารจำนวนมากครั้งใน 1 วัน หากกำหนดให้เป็นพื้นที่ปรับอากาศจะสูญเสียพลังงานมากเกินความจำเป็นและส่วนนี้ยังเป็นส่วนในการปรับอุณหภูมิของร่างกายเพื่อป้องกันการเกิด Thermal Shock ซึ่งเป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยได้

นอกจากส่วนนี้แล้วยังกำหนดให้ห้องน้ำเป็นส่วนกึ่งปรับอากาศ เนื่องจากในห้องน้ำมีความชื้นที่ค่อนข้างสูงและไม่จำเป็นต้องควบคุมให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย สามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นอย่างมาก ส่วนห้องใต้ดินให้เป็นส่วนธรรมชาติ เนื่องจากไม่จำเป้นต้องมีการปรับอากาศ



รูปที่ 4.6 แสดงการกำหนดพื้นที่ใช้สอยในอาคารให้เหมาะสมกับการปรับอากาศ

4.6.6 การประสานระบบในอาคาร

ในการประสานระบบในอาคารได้ยกตัวอย่าง 2 ตัวอย่างที่สำคัญในการศึกษา ได้แก่

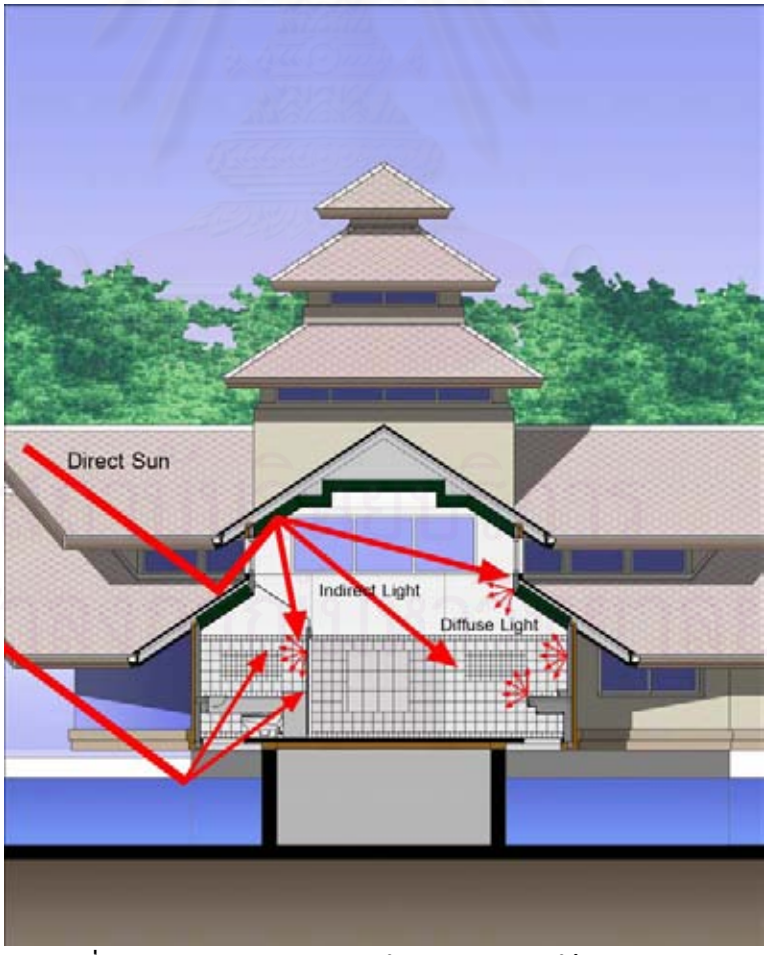
4.6.6.1 การประสานการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร มีวิธีการดังนี้

1. การใช้แสงธรรมชาติจากหลังคาและพื้น โดยการใช้แสงสะท้อนจากภายนอกอาคาร ในอาคารนี้ได้ใช้แสงสะท้อนจากหลังคาและผิวน้ำผ่านช่องเปิดเข้ามาในอาคาร โดยการเลือกหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูง มีผิวเรียบ ทำให้แสงธรรมชาติสามารถสะท้อนเข้ามาได้มาก

2. การออกแบบฝ้าเพดานและผนังห้องให้เป็นแหล่งกระจายแสง การใช้ผนังยิปซัมบอร์ดภายในอาคารมีสีขาวทำให้สะท้อนแสงได้ดี ประกอบกับผิวที่ขรุขระเล็กน้อยของยิปซัมบอร์ด ทำให้แสงกระจายไปทั่วพื้นที่ใช้งาน

3. การออกแบบให้มีการสะท้อนเสียงต่ำ การออกแบบให้มีมุมมากขึ้นเพื่อลดค่าการสะท้อนเสียงภายในอาคาร โดยมุมต่างๆที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นแหล่งสะสมของฝ้น

4. การประสานระบบปรับอากาศกับฝ้าเพดาน



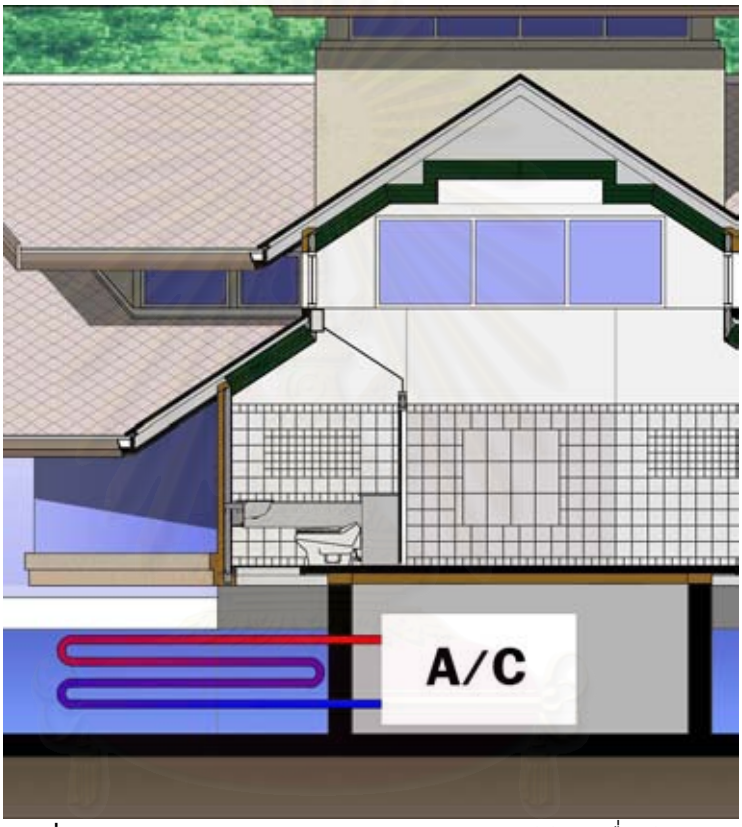
รูปที่ 4.7 แสดงการประสานระบบในอาคารโดยการใช้แสงธรรมชาติ

4.6.6.1 **การประสานการใช้ห้องเครื่องด้านล่าง** มีวิธีการดังนี้

1. การประสานระบบปรับอากาศกับสระน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องประอากาศโดยอาศัยการนำความร้อนและการพาความร้อนของน้ำ พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจากเดิมที่ระบายความร้อนด้วยลม

2. การออกแบบห้องใต้ดินเพื่อใช้สำหรับงานระบบ ทำให้สามารถเข้ามาทำการบำรุงรักษาได้ง่ายขึ้น

3. การออกแบบส่วนของงานระบบให้บำรุงรักษาง่าย



รูปที่ 4.8 แสดงการประสานระบบในอาคารโดยการใช้ห้องเครื่องด้านล่าง

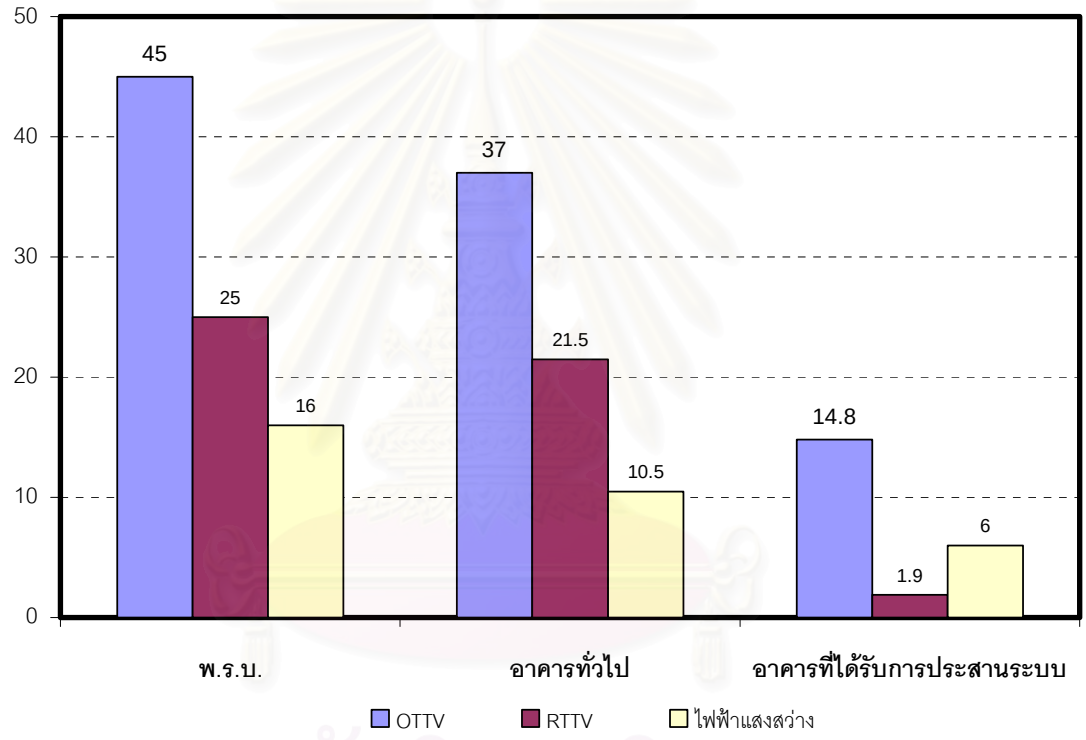
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7 การศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพด้านพลังงาน

เมื่อนำอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบและอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไปมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคาร พบว่าอาคารที่ออกแบบด้วยเทคนิคการประสานระบบสามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นอย่างดี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

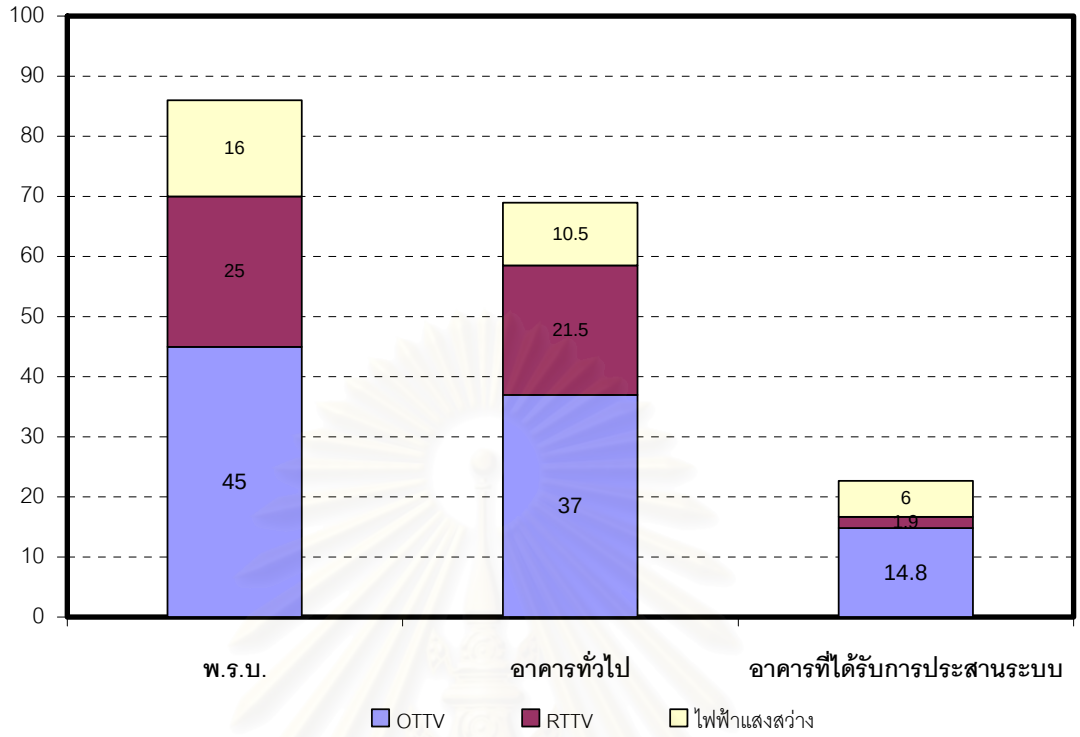
4.7.1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารกฎหมาย

หลังจากได้ทำการทดลองออกแบบและนำมาศึกษาการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยวิธีการตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ OTTVEE Version 1.0a พบว่าอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบมีค่า OTTV 14.8 W/m^2 ค่า RTTV 14.8 W/m^2 และมีการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างเพียง 6.0 W/m^2 ซึ่งต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนด ส่วนอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไปมีค่า OTTV 37.0 W/m^2 ค่า RTTV 21.5 W/m^2 และมีการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง 10.5 W/m^2 ซึ่งแม้จะต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนดแต่ก็สูงกว่าอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีการประสานระบบมาก



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า OTTV , RTTV และไฟฟ้าแสงสว่าง ในอาคารที่ทำการศึกษา

จากแผนภูมิที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการคำนึงถึงการประสานระบบที่เหมาะสมในอาคารแล้วสามารถลดการใช้พลังงานลงไปได้อย่างมาก พบว่าอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารจากที่กฎหมายกำหนดได้มากกว่า 3.8 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไปสามารถลดลงได้ประมาณ 3.1 เท่า



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า OTTV , RTTV และไฟฟ้าแสงสว่างรวม ในอาคารที่ทำการศึกษา

เมื่อทำการศึกษาในรายละเอียดการใช้พลังงานพบว่า การใช้พลังงานในอาคารที่ได้รับการออกแบบประสาระบบมีเพียง 104.9 kW-h/day ในขณะที่อาคารทั่วไปมีการใช้พลังงานในอาคารสูงถึง 313.4 kW-h/day โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการใช้พลังงานในอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบเปรียบเทียบกับอาคารทั่วไป

	อาคารทั่วไป		อาคารที่ได้รับการประสานระบบ	
	kW-h	อัตราส่วน	kW-h	อัตราส่วน
ระบบปรับอากาศ	256.0	79.20%	57.0	54.30%
ไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมด	45.4	14.00%	25.9	24.70%
อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น	22.0	6.80%	22.0	21.00%
รวม	323.4		104.9	

และเมื่อศึกษาในรายละเอียดของการใช้พลังงานในการปรับอากาศพบว่า มีการใช้พลังงานจากอิทธิพลของกรอบอาคารสูงที่สุด ดังนั้นในการออกแบบประสานระบบได้พยายามลดอิทธิพลการใช้พลังงานในส่วนนี้ลง พบว่าสามารถลดลงได้ถึง 6 เท่า

ตารางที่ 4.8 แสดงการใช้พลังงานการปรับอากาศของอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบเปรียบเทียบกับอาคารทั่วไป

	อาคารทั่วไป		อาคารที่ได้รับการประสานระบบ	
	kW-h	อัตราส่วน	kW-h	อัตราส่วน
กรอบอาคาร	504.0	71.30%	84.0	36.20%
ไฟฟ้าแสงสว่าง	37.0	5.20%	16.0	6.90%
อุปกรณ์ไฟฟ้า	19.0	2.90%	15.0	6.50%
ผู้ใช้อาคาร	57.0	8.10%	57.0	24.60%
การระบายอากาศ	75.0	10.60%	55.0	23.70%
อากาศรั่วไหล	15.0	2.10%	4.0	1.70%
	707.0		232	

เมื่อนำมาหาค่าไฟฟ้าพบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงไปได้มากกว่า 196,650.00.00 บาทต่อปี ซึ่งเป็นผลดีต่อภาพรวมของการใช้พลังงานในประเทศ

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

	อาคารทั่วไป	อาคารที่ได้รับการประสานระบบ
ระบบปรับอากาศ	256.0	57.0
ไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมด	45.4	25.9
รวมการใช้พลังงาน	301.4	82.9
การใช้พลังงานใน 1 เดือน	22,605.00	6,217.50
การใช้พลังงานใน 1 ปี	271,260.00	74,610.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7.2 การเปรียบเทียบการใช้จ่ายในการก่อสร้าง

จากการศึกษาอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบและอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไปในด้านการใช้พลังงานแล้ว การศึกษาในเรื่องค่าก่อสร้างก็เป็นตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงอย่างมาก เนื่องจากผู้ออกแบบต้องพิจารณาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและค่าก่อสร้างควบคู่กันไป ดังนั้นเมื่อนำอาคารทั้ง 2 มาคำนวณหาค่าก่อสร้างได้ผลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าก่อสร้างเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไปและอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีประสานระบบ

	อาคารทั่วไป	อาคารที่ได้รับการประสานระบบ
สถาปัตยกรรม	915,300.00	*1,750,000.00*
โครงสร้าง	*620,000.00*	472,500.00
เครื่องกล	*218,000.00*	48,500.00
ไฟฟ้าแสงสว่าง	11,000.00	*13,500.00*
ไฟฟ้ากำลังและสื่อสาร	20,000.00	20,000.00
สุขาภิบาล	*61,000.00*	46,500.00
ดับเพลิงและรักษาความปลอดภัย	2,500.00	2,500.00
รวม	1,847,800.00	2,353,500.00
พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)	140.00	180.00
ราคาต่อตารางเมตร	13,198.57	13,075.00

เมื่อนำอาคารที่ทำการออกแบบด้วยวิธีการประสานระบบและอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไปมาเปรียบเทียบกันพบว่าราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยต่อตารางเมตรมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งแสงดให้เห็นว่าการประสานระบบนั้นไม่จำเป็นต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายใดๆ เลยแต่สามารถลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมาก

จากตารางที่ 4.10 พบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละหน่วยของอาคาร ซึ่งจะเห็นได้ว่าในอาคารที่ออกแบบด้วยการประสานระบบเมื่อคิดค่าก่อสร้างต่อตารางเมตรในส่วนของงานสถาปัตยกรรมได้เพิ่มขึ้นถึง 1.49 เท่า แต่สามารถลดค่าใช้ในงานโครงสร้าง งานเครื่องกล และงานสุขาภิบาล ลงไปได้ถึง 2.04 เท่า จึงทำให้สามารถควบคุมราคาค่าก่อสร้างได้ โดยมีสาเหตุของความแตกต่างดังนี้

1. ในงานสถาปัตยกรรม อาคารที่มีการออกแบบประสานระบบได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพของผนังทึบ กระจก หลังคา และพื้นภายนอก โดยการใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนและความชื้น ทำให้งบประมาณในส่วนนี้เพิ่มขึ้น

2. งานโครงสร้าง อาคารที่มีการออกแบบประสานระบบสามารถลดค่าก่อสร้างในส่วนนี้ได้ เนื่องจากได้ทำการลดน้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆ ในอาคาร คือ ผนังทึบ หลังคา และพื้น ได้ประมาณ 2.6 เท่า ส่งผลให้ขนาดของเสา คาน ฐานราก และเสาเข็มมีขนาดเล็กลง

3. งานเครื่องกลซึ่งประกอบด้วยระบบปรับอากาศเป็นส่วนใหญ่ อาคารที่มีการออกแบบประสานระบบสามารถลดค่าก่อสร้างได้มาก เนื่องจากมีการลดภาระในการปรับอากาศ

ลงได้อย่างมาก ประกอบกับการออกแบบให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม ทำให้ลดความต้องการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและขนาดของเครื่องปรับอากาศเล็กลง

4. งานไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารที่มีการออกแบบประสานระบบมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งมีราคาแพงกว่า และการออกแบบระบบควบคุมให้มีความเหมาะสมโดยมีการเพิ่มจุดควบคุมและสายไฟ

5. ระบบไฟฟ้ากำลังและสื่อสาร มีค่าก่อสร้างใกล้เคียงกัน โดยการกำหนดจุดของเต้ารับให้สอดคล้องกับการใช้งานอาคาร แต่อาคารที่มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือการใช้งานที่ซับซ้อนควรคำนึงถึงการออกแบบและการกระจายตำแหน่งของเต้ารับให้เหมาะสมกับการใช้งาน

6. ระบบสุขาภิบาล อาคารที่มีการออกแบบประสานระบบมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าจากการออกแบบแนวท่อให้ตรงและมีจุดหักน้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียความดันในท่อทำให้มีการใช้ปั๊มป์ที่เล็กกว่า ประกอบกับการวางถังบำบัดไว้ในห้องใต้ดินซึ่งกำหนดให้เป็นส่วนห้องเครื่อง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการขุดและเสาเข็มของถังบำบัดได้

7. งานดับเพลิงและรักษาความปลอดภัย มีค่าก่อสร้างใกล้เคียงกัน เนื่องจากใช้มีการใช้เพียงระบบดับเพลิงมือถือ แต่ในอาคารที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่ต้องใช้ระบบท่อยืน จำเป็นต้องคำนึงถึงจุดต่อและการเปลี่ยนทิศทางที่มีผลต่อการสูญเสียความดันในท่อด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ได้แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของการวิจัย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอาคารที่สูงขึ้นเมื่อได้รับการออกแบบประสานระบบ บทสรุปของการวิจัยพร้อมกับข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้ผลของการวิจัยนี้และแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมที่อาจก่อให้เกิดประโยชน์ในอนาคต

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

เมื่อได้ทำการศึกษาและวิจัยตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร ความสัมพันธ์ของตัวแปรและการประยุกต์ใช้ในอาคารสาธารณะขนาดเล็กแล้ว พบว่าการออกแบบประสานระบบสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างยังคงเท่าเดิม

5.1.1 ผลจากการศึกษาตัวแปร

จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็กมีอยู่หลายตัวแปรด้วยกัน การใช้พลังงานรวมในอาคารพบว่าการใช้พลังงานในอาคารสูญเสียให้กับภาระในการปรับอากาศประมาณ 73.4% ซึ่งได้รับอิทธิพลจากความร้อนประมาณ 64.2% และความชื้นประมาณ 9.2% ภาระของการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างประมาณ 14.6% และภาระจากอุปกรณ์ประกอบอาคารประมาณ 12.0% จะพบว่าภาระในการปรับอากาศจะสิ้นเปลืองการใช้พลังงานสูงสุด

5.1.2 ผลจากการจัดกลุ่มตัวแปร

เมื่อศึกษารายละเอียดของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารพบว่า ตัวแปรเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มตัวแปรที่เป็นอิทธิพลของที่ตั้งและภูมิอากาศ
2. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร
3. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคาร

ตัวแปรทั้ง 3 มีความสัมพันธ์หรือมีอิทธิพลต่อกันและกันทั้งหมด ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารมากที่สุดได้แก่ กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร ซึ่งอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ มีดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลจากสภาพแวดล้อม เป็นอิทธิพลภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารโดยตรง เกี่ยวข้องกับความร้อนและความที่ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการใช้พลังงานสำหรับการปรับอากาศ การประยุกต์ใช้ตัวแปรในกลุ่มนี้โดยการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมจะช่วยในการลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ประมาณ 59.5% จากสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้มีการปรับปรุง

2. อิทธิพลจากการออกแบบอาคาร เป็นกลุ่มหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคารในการออกแบบจึงต้องให้ความสนในกับกลุ่มตัวแปรนี้เป็นพิเศษ โดยเฉพาะในส่วนของเปลือกอาคารที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานรวมของอาคารประมาณ 58.87% ซึ่งตัวแปรนี้ยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตัวแปรอื่นอีก เช่น สภาพภูมิอากาศ ระบบโครงสร้าง ระบบปรับอากาศ เป็นต้น

3. อิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน เป็นกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของมนุษย์การใช้งาน และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ซึ่งตัวแปรในกลุ่มนี้มีความแปรปรวนมากที่สุดในระดับที่ไม่อาจหาค่านัยสำคัญได้แต่ไม่ได้หมายความว่าไม่มีความสำคัญ ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องทำให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้สอย

5.1.3 แนวทางการประยุกต์ใช้การออกแบบประสานระบบ

เมื่อทราบถึงอิทธิพลที่เกิดขึ้นในอาคารแล้วสามารถหาแนวทางในการประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก และกำหนดขั้นตอนในการออกแบบและข้อควรคำนึงถึงได้ดังต่อไปนี้

1. การปรับปรุงสภาพแวดล้อมและการประยุกต์ใช้ปัจจัยธรรมชาติ เพื่อช่วยในการลดอุณหภูมิอากาศโดยรอบอาคารให้ต่ำลง ซึ่งผู้ออกแบบต้องมีความเข้าใจในการใช้ต้นไม้ การเลือกวัสดุปูผิวดิน การใช้อิทธิพลของลมและน้ำ และอิทธิพลทางธรรมชาติอื่นๆ ที่สามารถช่วยลดอุณหภูมิโดยรอบอาคารลงได้โดยต้องไม่ทำให้ความชื้นสูงขึ้นสำหรับสภาพอากาศแบบประเทศไทย

2. การกำหนดรูปทรงอาคารให้เหมาะสมกับที่ตั้งและสภาพแวดล้อม ได้แก่ การเลือกทิศทางและรูปทรงของอาคาร การกำหนดทางเข้าอาคารให้เหมาะสม เนื่องจากอาคารจะได้รับอิทธิพลจากความร้อนของดวงอาทิตย์และการรั่วซึมของอากาศ แต่อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความสวยงามและความสอดคล้องกับอาคารข้างเคียงประกอบด้วย

3. การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร ได้แก่ วัสดุผนังทึบแสง วัสดุผนังโปร่งแสงหรือกระจก หลังคา และพื้น ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและความชื้นเป็นสำคัญ โดยการพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสม และผู้ออกแบบต้องพึงระลึกเสมอว่าการออกแบบในส่วนนี้จะมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสูงมาก

4. การเลือกใช้ระบบโครงสร้างที่เหมาะสม โดยการเลือกวัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติป้องกันความร้อนและความชื้นได้เป็นอย่างดี ประกอบกับการลดขนาดของโครงสร้างเพื่อลดการสะสมของความร้อน และเทคนิคการก่อสร้างที่ช่วยในการป้องกันการเกิดสะพานความร้อน เพื่อลดภาระในการปรับอากาศ

5. การควบคุมความรู้สึกร้อน-หนาว คือการประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆ ในการควบคุมมวลอากาศร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร เช่นการใช้เทคนิคให้อากาศร้อนลอยตัว การแบ่งส่วนการปรับอากาศให้เหมาะสม จะช่วยลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศลงได้

6. การควบคุมคุณภาพแสงสว่าง โดยการใช้แสงธรรมชาติสามารถลดความต้องการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ได้อย่างดี นอกจากนี้การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงการออกแบบระบบควบคุมให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเปิด-ปิดไฟได้อย่างเหมาะสม จะช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้เช่นกัน

7. การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม คือการเลือกอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น การเลือกอุปกรณ์ประหยัดไฟเบอร์ 5 การเลือกใช้ปั๊มป์ประสิทธิภาพสูง เป็นต้น ซึ่งจะลดความต้องการพลังงานในส่วนของอุปกรณ์ประกอบอาคารได้เป็นอย่างดี

8. การประสานระบบต่างๆในอาคาร ซึ่งนอกจากผู้ออกแบบจะคำนึงถึงหลักเกณฑ์ขั้นต้นแล้ว ยังต้องคำนึงถึงอิทธิพลย่อยต่างๆที่จะส่งผลถึงกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน เช่น การเลือกวัสดุภายในอาคารที่ช่วยในการสะท้อนแสงธรรมชาติให้กระจายไปทั่วห้องอย่างสม่ำเสมอ การคำนึงถึงการบำรุงรักษาอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานในภาพรวมลงได้

5.1.4 **ผลของการประยุกต์ใช้การออกแบบประสานระบบ**

จากข้องควรคำนึงถึง 8 ประการขั้นต้นจะพบว่า ผู้ที่ทำหน้าที่ออกแบบในภาพรวมหรือสถาปนิกจำเป็นต้องเข้าใจอิทธิพลด้านพลังงานของตัวแปรต่างๆ อย่างดี จึงจะสามารถออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานและควบคุมราคาก่อสร้างให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมได้ และเมื่อทดลองนำเอาเกณฑ์ดังกล่าวมาใช้ออกแบบเปรียบเทียบกับอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีทั่วไป จะสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างดีโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่า OTTV, RTTV และไฟฟ้าแสงสว่างตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 พบว่าอาคารที่ได้รับการออกแบบประสานระบบมีค่า OTTV ดีกว่าเกณฑ์ประมาณ 3 เท่า ค่า OTTV ดีกว่าเกณฑ์ประมาณ 13 เท่า และการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างดีกว่าเกณฑ์ประมาณ 2.6 เท่า

2. การใช้พลังงานรวมในอาคารต่ำกว่าอาคารลักษณะเดียวกันที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไปประมาณ 3.1 เท่า และเมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่อัตรา 2.5 บาทต่อหน่วยพบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงไปได้ประมาณ 78,660.00 บาทต่อปี

โดยเมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างแล้วพบว่า มูลค่าของราคาก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบต่อตารางเมตรไม่มีความแตกต่างเลย คือประมาณ 13,000.00 บาทต่อตารางเมตร เพียงแต่ผู้ออกแบบต้องมีความรู้ความเข้าใจและให้ความใส่ใจในรายละเอียดของการออกแบบเพิ่มเติมเท่านั้น

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาตัวแปรและความสัมพันธ์ของตัวแปร และการประยุกต์แนวคิดในการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็กแล้ว สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารประกอบด้วย สภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นและที่ตั้ง วัสดุเปลือกอาคาร ระบบโครงสร้าง ระบบและอุปกรณ์ประกอบอาคาร พฤติกรรมการใช้งานของมนุษย์ การควบคุมการใช้งาน การบริหารจัดการและการบำรุงรักษา ซึ่งตัวแปรแต่ละประเภทจะส่งผลถึงการใช้พลังงานในอาคารไม่เท่ากัน

2. ตัวแปรประเภทต่างๆ สามารถแบ่งกลุ่มของตัวแปรได้โดยการจัดตามลักษณะความสำคัญและอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร และพบว่าตัวแปรแต่ละตัวจะส่งผลกระทบต่อกันทั้งหมด กลุ่มตัวแปรแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- กลุ่มตัวแปรที่เป็นอิทธิพลของที่ตั้งและภูมิอากาศ เป็นอิทธิพลภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งเมื่อมีการประยุกต์อย่างถูกวิธีจะช่วยลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 59.5% จากสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้มีการปรับปรุง

- กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบอาคาร เป็นกลุ่มที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมากที่สุด ประกอบด้วย เปลือกอาคาร ระบบโครงสร้างอาคาร ระบบเครื่องกล ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบไฟฟ้ากำลังและสื่อสาร ระบบสุขาภิบาล ระบบดับเพลิงและรักษาความปลอดภัย

เมื่อมีการคำนึงถึงการประสานระบบสามารถลดความต้องการใช้พลังงานในอาคารลงได้ประมาณ 58.87% จากอาคารทั่วไป

- กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคาร เป็นกลุ่มตัวแปรที่มีความแปรปรวนมากที่สุดซึ่งไม่สามารถหาระดับนัยสำคัญได้ แต่หากผู้ออกแบบสามารถทำให้ผู้ใช้งานสามารถมีพฤติกรรมการใช้งานตามที่ได้รับการออกแบบไว้ จะส่งผลดีต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร

3. ในการประยุกต์ใช้ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยอาศัยแนวทางการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็กพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ดีกว่าอาคารที่ออกแบบด้วยวิธีการทั่วไปประมาณ 3.1 เท่า โดยที่ราคาค่าก่อสร้างคิดต่อพื้นที่ยังมีค่าเท่าเดิม คือประมาณ 13,000 บาทต่อตารางเมตร

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม

การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นเฉพาะอิทธิพลของการออกแบบที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก แต่ในความเป็นจริงการออกแบบสถาปัตยกรรมในประเทศไทยมีมากมายหลายประเภท ซึ่งมีองค์ประกอบของการออกแบบและสัดส่วนการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน เช่น บ้านพักอาศัย อาคารสาธารณะขนาดกลางและขนาดใหญ่ การประยุกต์แนวคิดในการออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในอาคารสาธารณะขนาดเล็กจึงต้องเป็นไปด้วยความระมัดระวัง โดยผู้วิจัยได้มีข้อเสนอแนะและแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้การออกแบบประสานระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

ในการประยุกต์ใช้ต้องเป็นไปด้วยความระมัดระวัง โดยมีข้อพึงสังเกตดังนี้

1. การประยุกต์ใช้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประสานระบบจากผลการวิจัยนี้ควรใช้กับอาคารสาธารณะขนาดเล็กเท่านั้น การประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่นต้องพิจารณาประกอบกับตัวแปรที่ไม่ได้ทำการศึกษาด้วยจึงจะได้ประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานสูงสุด

2. อาคารนอกเหนือจากอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่สามารถประยุกต์ใช้ตัวแปรที่ทำการศึกษาทั้งหมดได้คือบ้านพักอาศัย เนื่องจากมีลักษณะของตัวแปรและสัดส่วนการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน

3. การประยุกต์ต้องพิจารณาตัวแปรทั้งหมดไม่ควรละเว้นตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง เนื่องจากทุกตัวแปรส่งผลซึ่งกันและกัน การประยุกต์ใช้ที่ไม่ถูกต้องอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสีย

พลังงานมากกว่าการประหยัดพลังงาน เช่น การเลือกทิศทางเข้าของอาคารโดยไม่คำนึงถึงการป้องกันความร้อนและความชื้นอาจส่งผลให้การใช้พลังงานในอาคารสูงขึ้น

4. ในกรณีที่เกิดความขัดแย้งในการประสานระบบ เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก ผู้ออกแบบต้องคำนึงความคุ้มค่าในการใช้งาน การดูแล การบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจตามสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

5.3.2 แนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม

เพื่อให้การออกแบบประสานระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานได้มากขึ้นการใช้งานสามารถขยายผลและครอบคลุมถึงอาคารประเภทต่างๆ ได้อย่างครบถ้วน จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องดังต่อไปนี้

1. ต้องมีการศึกษาขยายผลในเรื่องอิทธิพลของสภาพแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตลอดเวลา ดังนั้นอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง และผลของการศึกษาในอนาคตอาจจะเปลี่ยนแปลงหลักเกณฑ์บางอย่างที่เหมาะสมแล้วในปัจจุบันได้

2. การศึกษาอาจสามารถขยายผลครอบคลุมในเรื่องพลังงานสะสมรวม (Embodied Energy) แนวทางการประเมินผลการใช้พลังงานจริงในภายหลังเปิดใช้อาคารเพื่อ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ให้ครอบคลุมในเรื่องการใช้พลังงานในอาคารทั้งหมด

3. ระบบเปลือกอาคาร ควรทำการศึกษาวัสดุชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติดังที่ได้กล่าวในรายงานฉบับนี้หรือคุณสมบัติอื่นที่อาจมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยต้องศึกษาให้สอดคล้องในเรื่อง คุณสมบัติ การบำรุงรักษา และราคา เป็นต้น

4. ระบบโครงสร้าง เนื่องจากในอาคารที่มีขนาดใหญ่มากกว่านี้ ระบบโครงสร้างที่เหมาะสมจะมีมากขึ้น เช่น ระบบพื้นไร้คาน โครงสร้างแบบข้อแข็ง หรือโครงถักสามมิติ เป็นต้น ดังนั้นผู้ออกแบบและทำการศึกษาเพิ่มเติมต้องพิจารณาให้เหมาะสม ในเรื่อง เทคนิคการก่อสร้างที่เกี่ยวข้อง การสะสมพลังงานในโครงสร้าง และราคา ที่เหมาะสม

5. งานระบบประกอบอาคารขนาดใหญ่และอาคารสูง จะมีงานระบบที่ซับซ้อนมากขึ้นและสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารจะเปลี่ยนแปลงไปจากอาคารสาธารณะขนาดเล็ก ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมในระบบต่างๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งาน เทคนิคการก่อสร้าง การใช้พลังงานของระบบประกอบอาคาร และราคา โดยมีระบบอื่นๆที่ยังไม่ได้ศึกษาดังนี้

5.1 ระบบขนส่งแนวดิ่ง สำหรับอาคารที่มีขนาดใหญ่และอาคารสูง ได้แก่ ลิฟต์ บันไดเลื่อน เป็นต้น ซึ่งตัวแปรนี้มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสูงมากเช่นกัน

5.2 ระบบดับเพลิง สำหรับอาคารที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีการใช้พลังงานในปัมป์น้ำ เทคนิคการลดการสูญเสียแรงดันในท่อ เป็นต้น

5.3 ระบบไฟฟ้ากำลัง สำหรับอาคารที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีการใช้พลังงานในส่วนของระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน และระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งต้องการใช้พลังงานจำนวนมาก

5.4 ระบบน้ำใช้และน้ำทิ้ง สำหรับอาคารที่มีขนาดใหญ่

5.5 ระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับอาคารที่มีขนาดใหญ่

นอกจากระบบต่างๆที่ใช้กับอาคารทั่วไปแล้ว งานระบบที่ใช้กับอาคารพิเศษชนิดต่างๆก็ไม่ควรละเลยที่จะทำการศึกษา เช่น โรงพยาบาล ห้องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

6. การศึกษาพฤติกรรมและการใช้งานอาคารและระบบควบคุมอาคาร ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการใช้งานอาคาร โดยต้องมีการศึกษาถึงพฤติกรรมการใช้งานที่แตกต่างเพื่อที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม

7. การศึกษาการนำพลังงานทดแทนมาใช้ประสานในการออกแบบ ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงมาก เช่นการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ การใช้ก๊าซชีวภาพ การหมุนเวียนการใช้น้ำในอาคาร เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลในการลดการผลิตพลังงานเพื่อใช้ในประเทศได้เป็นอย่างดี

ทั้งนี้ผู้วิจัยหวังว่าการศึกษาเรื่องการออกแบบประสานระบบในอาคารสาธารณะขนาดเล็กจะทำให้ สถาปนิก วิศวกร ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบในงานสถาปัตยกรรม และบุคคลทั่วไปได้ทราบถึงตัวแปร ความสัมพันธ์และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างอาคารที่มีศักยภาพสูงสำหรับการประหยัดพลังงาน ส่งผลให้เกิดการพัฒนาในเชิงธุรกิจและการค้า

นอกจากนี้แนวคิดการประหยัดพลังงาน ทำให้ลดการบริโภคและพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ คงสภาพแวดล้อมที่ดีและช่วยพัฒนาพื้นที่ที่สภาพแวดล้อมทรุดโทรมให้ดีขึ้นได้โดยปราศจากมลพิษ และสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารประเภทอื่นได้ เพราะได้ทำการศึกษาวิจัยตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประสานระบบแล้ว เพียงแต่ผู้นำไปใช้ต้องประยุกต์ให้เหมาะสมกับอาคารที่ได้ทำการออกแบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพมหานคร, 2538.

กรินทร์ ภู่นวล. "การปรับปรุงระบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน," วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ .การก่อสร้างด้วยเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่3 .กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ อี.ที.พับลิชชิ่ง, 2545.

ตระการ ก้าวกสิกรรม. คู่มือฉนวนความร้อน. กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2537.

ธนิต จินดาวนิค. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ผุสดี ทิพทัส. เกณฑ์ในการออกแบบสถาปัตยกรรม. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ฯมหาวิทยาลัย, 2541.

เรืองศักดิ์ กันตะบุตร. การวางผังอาคารด้วยตารางพิกัด. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, มปพ.

เรืองศักดิ์ กันตะบุตร. เทคนิควิทยาการอาคาร; รวมผลงานวิชาการและบทความทางวิชาการ. กรุงเทพฯ: บริษัท แคมปัส บุ๊คส์ เวนเตอร์ จำกัด, 2540.

สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบประสานระบบ กรณีศึกษา: ธนาคารกสิกรไทย สำนักงานใหญ่ราษฎร์บูรณะ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

สุนทร บุญญาธิการ. "การใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ", วารสารอาษา. กรกฎาคม 2539. หน้า 102-103.

สุนทร บุญญาธิการ. "การเลือกวัสดุเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน", วารสารพลังงาน (Journal of Energy) ฉบับพิเศษ. 2537. หน้า 28-51.

สุนทร บุญญาธิการ. "การออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบเมืองไทย". วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฉบับพิเศษครบรอบ 60 ปี. 2536. หน้า 16-24.

สุนทร บุญญาธิการ. "ปรัชญาการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อประหยัดพลังงาน" วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฉบับพิเศษครบรอบ 60 ปี. 2536. หน้า 8-15.

สุนทร บุญญาธิการ. "ผนังฉนวนกันความร้อน", วารสารอาษา. กรกฎาคม 2539. หน้า 70-71.

สุนทร บุญญาธิการ. "สถาปัตยกรรมสำหรับอนาคต", วารสารอาษา. พฤษภาคม 2539. หน้า 12-16.

สุนทร บุญญาธิการ. การออกแบบประสานระบบ มหาวิทยาลัยชินวัตร. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ. บ้านชีวาทิตย์ บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

สุนทร บุญญาธิการ. อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ เดอะมาสเตอร์ เจอร์นัล จำกัด, 2545.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. “สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในช่วง 6 เดือนแรกของปี2546”, วรสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่61 เดือนกรกฎาคม – กันยายน 2546. หน้า45–67.

อนุตร จำลองกุล. พลังงานหมุนเวียน. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2545.

อัครเดช สินธุภัค. การปรับอากาศ. พิมพ์ครั้งที่4. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.

ภาษาอังกฤษ

ASHRAE. Handbook of Fundamentals (1977). Atlanta: American Society of Heating, Refigerating and Air-Conditioning Engineers, 1977.

ASHRAE. Handbook of Fundamentals (2001). Atlanta: American Society of Heating, Refigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.

ASHRAE. Handbook of HVAC Application (1999). Atlanta: American Society of Heating, Refigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.

Bovill, Carl. Architectural Design: Integration of Structural and Environmental System. New York; John Wiley & Sons, 1991.

Chauliaguet, C. Solar Energy in Buildings. New York; John Wiley & Sons, 1979.

Fanger, O.P. Thermal Comfort. New York: McGraw-Hill, 1972.

Givini, B. Climate Responsive Building Design in Hot Humid Regions, The Sustainable Built Environment in the New Millennium, pp.11-32, Bangkok, April 21 to April 22, 2000. Bangkok, The Emerald Hotel, 2000.

Givini, B. Man Climate and Architecture. 2nd Ed. London: Applied Science Pub., 1976.

Givini, B. Passive Cooling Options in Hot Humid Climates, The Sustainable Built Environment in the New Millennium, pp.11-32, Bangkok, April 21 to April 22, 2000. Bangkok, The Emerald Hotel, 2000.

Heino Engel and Gerd Hatje Publishers. Structure System. Obertshausen: Max Dorn Press, 1997.

Kreider, F., and others. Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency. 2nd Ed. Singapore: McGraw-Hill, 2002.

McQuiaton, C., and others. Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design. 5th Ed. New York: John Wiley & Sons,Inc., 2000.

Olglay, V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton: Princeton University Press, 1963.

King, R. Green Architecture and Urban Design: A Reflection on Bangkok, Green Architecture; The Sustainable Built Environment in the New Millennium, pp.11-32, Bangkok, April 21 to April 22, 2000. Bangkok, The Emerald Hotel, 2000.

Richard D. Rush. The Building System Integration handbook. New York; John Wiley & Sons, Inc., 1985.

Stein, B. and Reynolds,S. Mechanical And Electrical Equipment for Building. 8th Ed. New York; John Wiley & Sons, Inc., 1992.

Vale, B. and Vale, R. Zero-Energy and Sustainable Buildings, Green Architecture; The Sustainable Built Environment in the New Millennium, pp.11-32, Bangkok, April 21 to April 22, 2000. Bangkok, The Emerald Hotel, 2000.

Vale, B. and Vale, R. Toward Sustainable Buildings, Green Architecture; The Sustainable Built Environment in the New Millennium, pp.11-32, Bangkok, April 21 to April 22, 2000. Bangkok, The Emerald Hotel, 2000.

Wasowski, Andy. Building Inside Nature's Envelope: How New Construction and Preservation Can Work Together. Oxford: Oxford University Press, 2000.

Watson, D. and Kenneth, L. Climate Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices. New York: McGraw-Hill, 1983.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การใช้งานโปรแกรม OTTVEE Version 1.0a

OTTVEE Version. 1.0a เป็นโปรแกรมช่วยในการคำนวณOTTV/RTTVตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 และ ประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

1. ความสามารถของ OTTVEE Version. 1.0a

OTTVEE Version. 1.0a มีความสามารถดังต่อไปนี้

- คำนวณค่า OTTV / RTTV ตาม พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535
- สามารถเพิ่มข้อมูลวัสดุ ตามกลุ่มวัสดุที่โปรแกรมกำหนดไว้
- สามารถสร้างชั้นของผนังทึบและผนังโปร่งแสงจากข้อมูลวัสดุที่ได้ป้อนเตรียมไว้แล้วผนังทึบสามารถป้อนข้อมูลเตรียมไว้ได้ 15 แบบ 10 ชั้น ส่วนผนังโปร่งแสงเตรียมไว้ได้ 10 แบบ 6 ชั้น
- การป้อนข้อมูลกรอบอาคารสามารถป้อนได้ถึง 80 ชิ้น
- แบบของอุปกรณ์บังแดดภายนอกมีถึง 15 แบบ
- ทิศทาง (Orientation) ของกรอบอาคารกำหนดได้ถึง 16 ทิศ
- หาค่า TDeq ได้โดยผู้ใช้ไม่ต้องไปเปิดตาราง
- นำข้อมูลกรอบอาคารจากที่ป้อนไว้เพื่อคำนวณค่า OTTV/RTTV มาใช้ในการประเมินภาระปรับอากาศไปจนถึงประเมินการใช้พลังงาน ได้โดยไม่ต้องป้อนข้อมูลกรอบอาคารใหม่ในอาคารเดียวกัน
- รายงานที่พิมพ์ออกมามีรายละเอียดการคำนวณค่า OTTV ของแต่ละชิ้นของผนังนั้นมาก และ มีสรุปค่า OTTV ไว้ที่แผ่นแรก ซึ่งทำให้ดูผลลัพธ์ได้ง่าย
- ประเมินภาระของระบบปรับอากาศโดยรวมของอาคารด้วยมาตรฐาน ASHRAE 1997
- ประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร
- ประเมินราคากรอบอาคาร และ ราคาของระบบปรับอากาศ

- ประเมินค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนและรวมตลอดทั้งปี
- ได้เตรียมข้อมูลสภาพอากาศไว้เพื่อคำนวณภาระปรับอากาศ เป็นรายชั่วโมงตลอดปี
- มีข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร และจังหวัดใหญ่ในแต่ละภูมิภาค ได้แก่ เชียงใหม่ , อุบลราชธานี , นครราชสีมา , ชลบุรี , สงขลา , ภูเก็ต , อุดรธานี , ขอนแก่น , กาญจนบุรี และ ระยอง
- ได้เตรียมข้อมูล USER PATTERN ของอาคารต่างๆไว้ได้แก่ผู้ใช้อาคาร ระบบแสงสว่าง และ ผู้ใช้สามารถกำหนดขึ้นมาใช้ได้ด้วยตนเอง อย่างง่ายดาย
- การป้อน USER PATTERN สามารถป้อนได้ทั้งแบบกราฟฟิกและตัวเลข
- USER PATTERN กำหนดได้ทุกชั่วโมงทั้งสัปดาห์ คือ กำหนด ได้ทั้ง วันจันทร์ ถึง วันอาทิตย์ และ วันหยุด
- ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร
- ได้รวบรวมข้อมูลภาระบุคคลในกิจกรรมต่างๆเพื่อเลือกใช้ในการคำนวณภาระปรับอากาศ
- ได้รวบรวมข้อมูลการสูญเสียของบัลลาสต์เพื่อเลือกใช้ในการคำนวณภาระปรับอากาศ
- สามารถกำหนดการคิดค่าไฟฟ้าได้ด้วยผู้ใช้เอง
- สามารถแสดงผลเป็นกราฟในแต่ละชั่วโมง
- รายละเอียดการคำนวณสามารถนำไปใช้กับโปรแกรมอื่นที่ RUN บน Windows 95 ได้โดยตรง (ใช้คำสั่ง copy และ paste ได้)
- สามารถพิมพ์กราฟเป็นสีได้
- สุดท้ายสามารถนำผลลัพธ์ประเมินราคากรอบอาคาร , ระบบปรับอากาศ และ ค่าไฟฟ้าต่อปี มาวิเคราะห์การลงทุน เมื่อมีการปรับปรุงอาคาร
- เพิ่มข้อมูลวัสดุกว่า 40 ชนิด จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

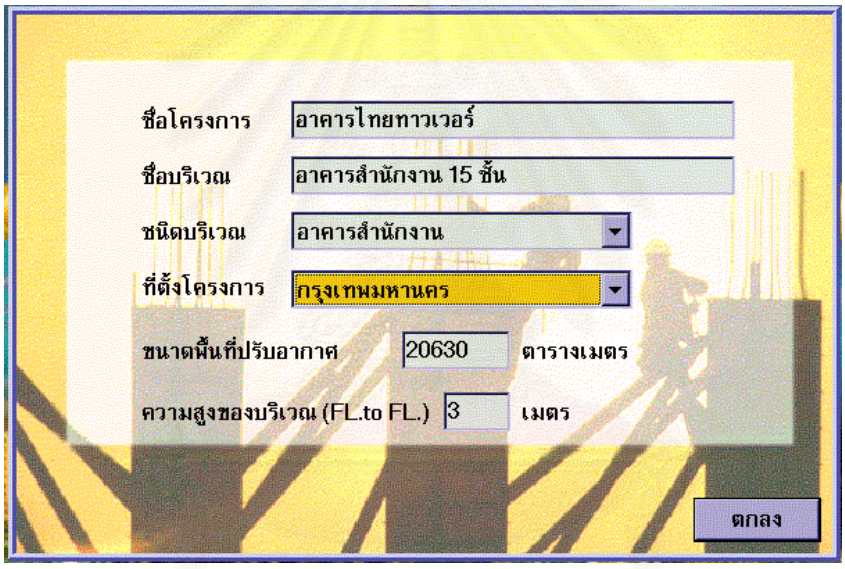
2. การป้อนข้อมูลกรอบอาคาร และคำนวณค่า OTTV/RTTV

2.1 ข้อกำหนดเบื้องต้น

ก่อนการป้อนข้อมูลใดก็ตาม ก่อนอื่นต้องใส่ข้อมูลเฉพาะของโครงการเสียก่อน

1. ชื่อโครงการ
2. ชื่อบริเวณ
3. ชนิดบริเวณ มีให้เลือกรายการได้ดังนี้
4. ที่ตั้งโครงการ คือ จังหวัดที่ตั้งของอาคารที่ต้องการคำนวณ
5. ขนาดพื้นที่ คือ พื้นที่บริเวณปรับอากาศเป็นตารางเมตร
6. ความสูงของบริเวณที่ปรับอากาศ

เมื่อท่านป้อนและเลือกข้อมูลเฉพาะของโครงการแล้ว ท่านจึงจะสามารถเข้าส่วนอื่นในรายการหลักได้ ต่อมาเราจะมาป้อนข้อมูลกรอบอาคารกันต่อไปโดยกดปุ่มตกลง หรือที่รายการหลักเลือก เพื่อเข้าส่วนการป้อนกรอบอาคาร

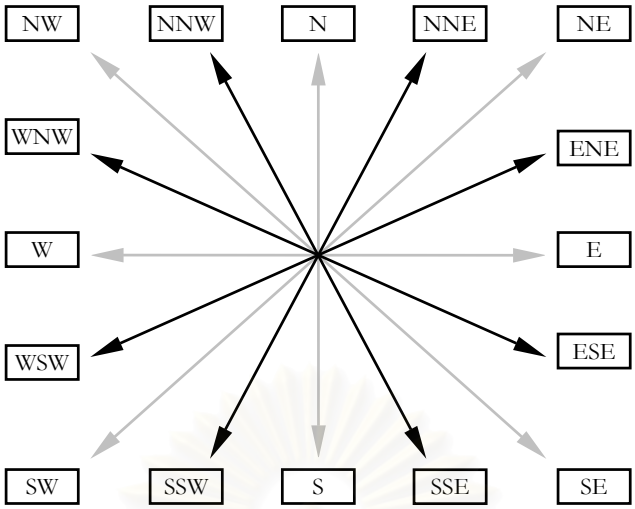


รูปที่ ก1 แสดงหน้าต่างในส่วนข้อมูลทั่วไป ของ OTTVEE Version. 1.0a

2 การกำหนดรายการในการป้อนข้อมูลกรอบอาคาร มี 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

ขั้นตอนที่ 1 เลือกทิศและชนิดผนัง

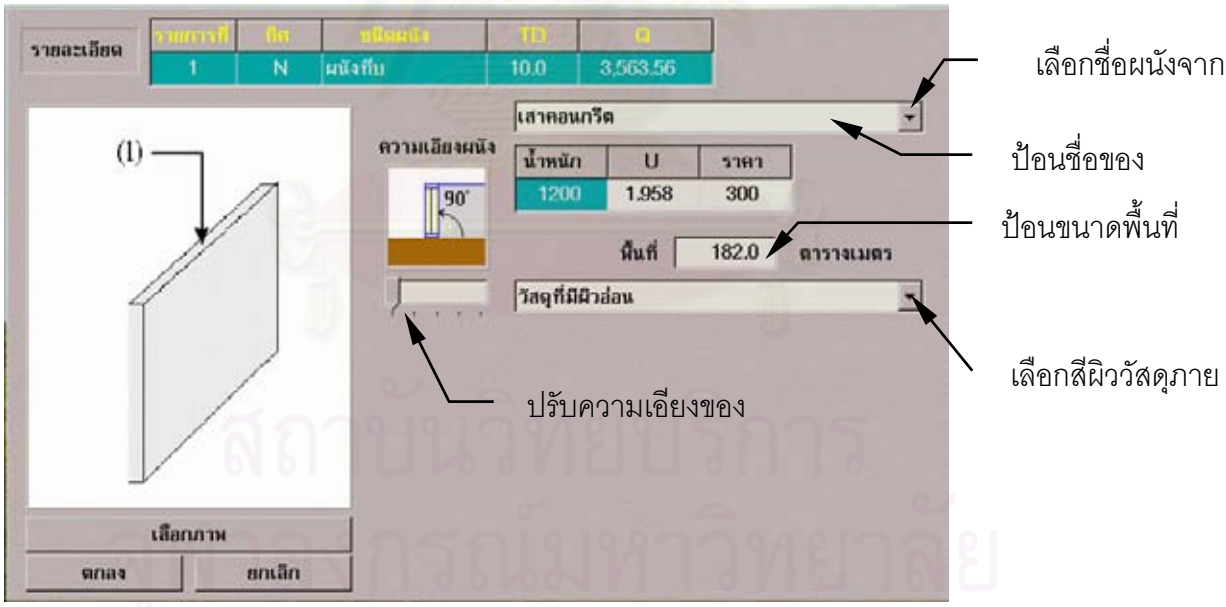
ในขั้นตอนแรกนี้ให้ท่านป้อนทิศและชนิดของรายการผนังก่อน ทิศที่ OTTVEE สามารถกำหนดได้ 16 ทิศ ตามรูปด้านล่างนี้



การกำหนดชนิดผนังสามารถกำหนดได้ 3 ชนิด ได้แก่ ผนังทึบ , ผนังโปร่งแสง , หลังคาทึบ และ หลังคาโปร่งแสง

ขั้นตอนที่ 2 ป้อนรายละเอียด ท่านสามารถป้อนรายละเอียดของผนังแต่ละรายการได้ตามชนิดของผนังดังนี้

ก. <u>ผนังทึบ</u>



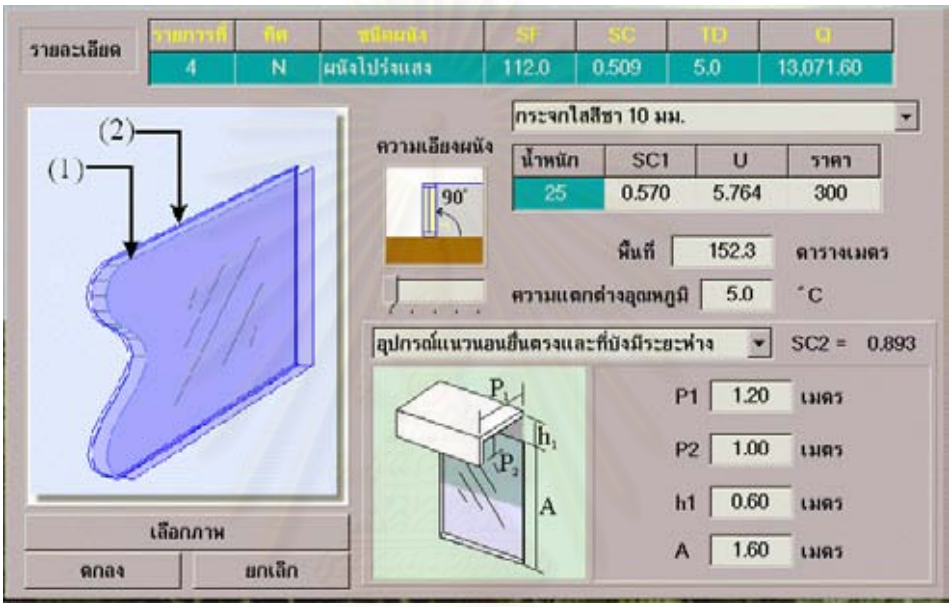
รูปที่ ก2 แสดงหน้าต่างในส่วนการแก้ไขข้อมูลผนังทึบ

ข้อมูลที่ผนังทึบต้องการคือ ชื่อผนัง , น้ำหนัก , U ของผนัง , ราคา, ภาพ , ความเอียงของผนัง , พื้นที่ และ สีผิววัสดุภายนอก

ข้อมูลที่สามารถใช้จาก Library ที่ได้เตรียมไว้แล้วได้แก่ น้ำหนัก , U ของผนัง , ราคา และ ภาพ

ส่วนด้านบนจะเป็นผลการคำนวณค่า Q และ การเลือกค่า TD ของผนังรายการนี้ เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วให้ท่านกดปุ่ม ตกลง เพื่อให้ OTTVEE รับทราบข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้ว หรือ ท่านต้องการใช้ข้อมูลเดิมก่อนเข้ามาป้อนรายละเอียดนี้ ให้กดปุ่ม ยกเลิก .

ข. <u>ผนังโปร่งแสง</u>



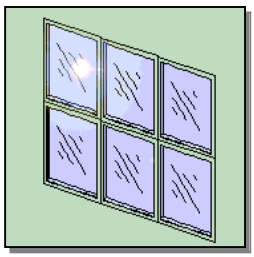
รูปที่ ก3 แสดงหน้าต่างในส่วนการแก้ไขข้อมูลผนังโปร่งแสง

ข้อมูลที่ผนังโปร่งแสงต้องการคือ ชื่อผนังโปร่งแสง , น้ำหนัก , SC_1 ของกระจก , U ของผนัง , ราคา, ภาพ , ความเอียงของผนังโปร่งแสง , พื้นที่ , ความแตกต่างของอุณหภูมิ (TD) และ SC_2

SC_2 หรือ Shading Coefficient ของ Shading Device ใน OTTVEE มีให้เลือกหลายแบบดังนี้

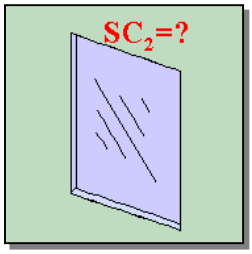
<u>ไม่มีอุปกรณ์บังแดด</u>

OTTVEE จะให้ค่า SC_2 เท่ากับ 1.00



<u>กำหนดค่าสัมประสิทธิ์</u>

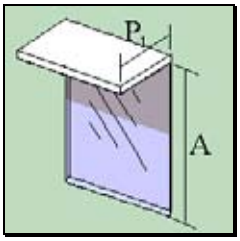
OTTVEE จะให้ผู้ใช้งานกำหนดค่า SC_2 เอง



<u>อุปกรณ์แนวนอนยื่นตรง</u>

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_1 คือ ความกว้างของ Overhange

A คือ ความสูงของหน้าต่างกระจก

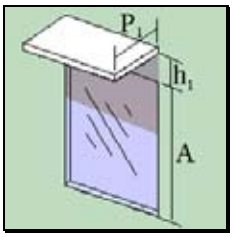


<u>อุปกรณ์แนวนอนยื่นตรงมีระยะห่าง</u>

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_1 คือ ความกว้างของ Overhange

h_1 คือ ระยะห่างระหว่าง Overhange กับ หน้าต่างกระจก

A คือ ความสูงของหน้าต่างกระจก

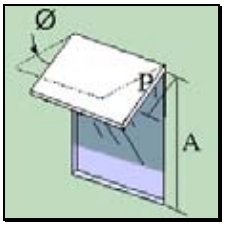


<u>อุปกรณ์แนวนอนยื่นเอียง</u>

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_1 คือ ความกว้างของ Overhange

ϕ คือ มุมของ Overhange

A คือ ความสูงของหน้าต่างกระจก



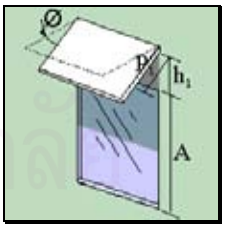
<u>อุปกรณ์แนวนอนยื่นเอียงมีระยะห่าง</u>

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_1 คือ ความกว้างของ Overhange

h_1 คือ ระยะห่างระหว่าง Overhange กับ หน้าต่างกระจก

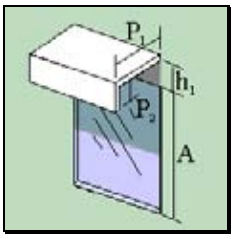
ϕ คือ มุมของ Overhange

A คือ ความสูงของหน้าต่างกระจก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>อุปกรณ์แนวนอนยื่นตรงและที่บังมีระยะห่าง</u>



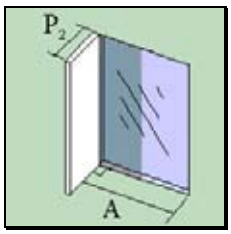
ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_1 คือ ความกว้างของ Overhange

P_2 คือ ความกว้างของที่บัง

h_1 คือ ระยะห่างระหว่าง Overhange กับ หน้าต่างกระจก

A คือ ความสูงของหน้าต่างกระจก

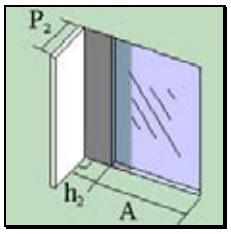
<u>อุปกรณ์แนวตั้งยื่นตรง</u>



ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_2 คือ ความกว้างของ Fin

A คือ ความกว้างของหน้าต่างกระจก

<u>อุปกรณ์แนวตั้งยื่นตรงมีระยะห่าง</u>

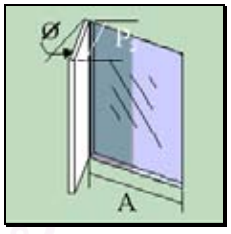


ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_2 คือ ความกว้างของ Fin

h_2 คือ ระยะห่างระหว่าง Fin กับ หน้าต่าง

A คือ ความกว้างของหน้าต่างกระจก

<u>อุปกรณ์แนวตั้งยื่นเอียง</u>

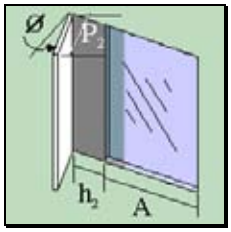


ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_2 คือ ความกว้างของ Fin

ϕ คือ มุมของ Fin

A คือ ความกว้างของหน้าต่างกระจก

<u>อุปกรณ์แนวตั้งยื่นเอียงมีระยะห่าง</u>



ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_2 คือ ความกว้างของ Fin

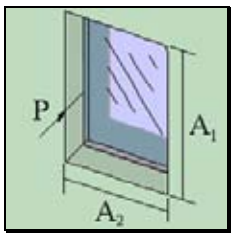
h_2 คือ ระยะห่างระหว่าง Fin กับ หน้าต่าง

ϕ คือ มุมของ Fin

A คือ ความกว้างของหน้าต่างกระจก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>หน้าต่างกระจกลึกเข้าไปในอาคาร</u>



ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P คือ ความลึกของหน้าต่าง

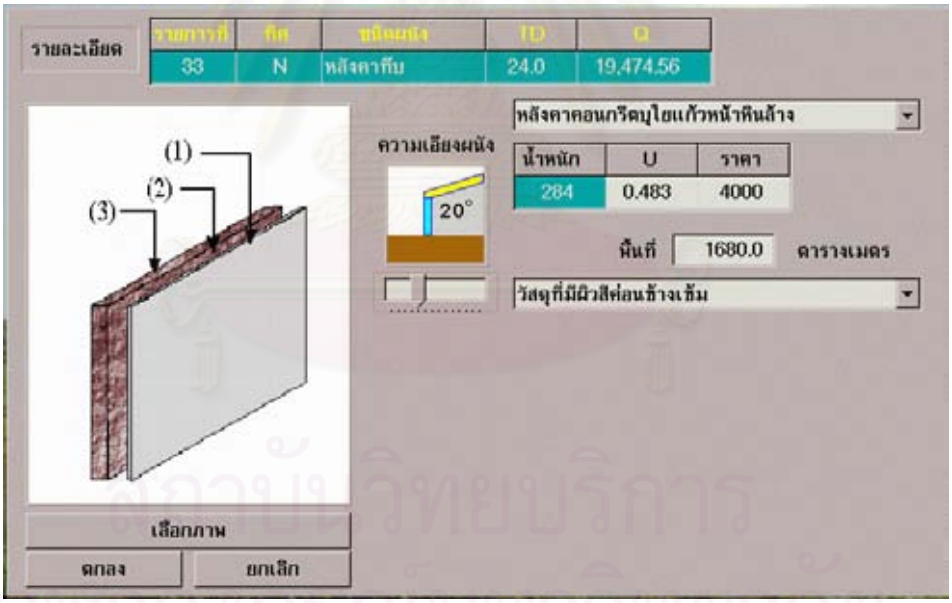
A_1 คือ ความสูงของหน้าต่างกระจก

A_2 คือ ความกว้างของหน้าต่างกระจก

ข้อมูลที่สามารถใช้จาก Library ที่ได้เตรียมไว้แล้วได้แก่ น้ำหนัก , SC_1 ของกระจก U ของผนัง ราคา และ ภาพ

ส่วนด้านบนจะเป็นผลการคำนวณค่า Q และ ค่า SF ของผนังโปร่งแสงรายการนี้ เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วให้ท่านกดปุ่ม ตกลง เพื่อให้ OTTVEE รับทราบข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วนี้ หรือ ท่านต้องการใช้ข้อมูลเดิมก่อนเข้ามาป้อนรายละเอียดนี้ ให้กดปุ่ม ยกเลิก .

ค. <u>หลังคาทึบ</u>



รูปที่ ก4 แสดงหน้าต่างในส่วนการแก้ไขข้อมูลหลังคาทึบ

ข้อมูลที่หลังคาทึบต้องการคือ ชื่อหลังคา , น้ำหนัก , U ของผนัง , ราคา, ภาพ , ความเอียงของหลังคา , พื้นที่ และ สีผิววัสดุภายนอก

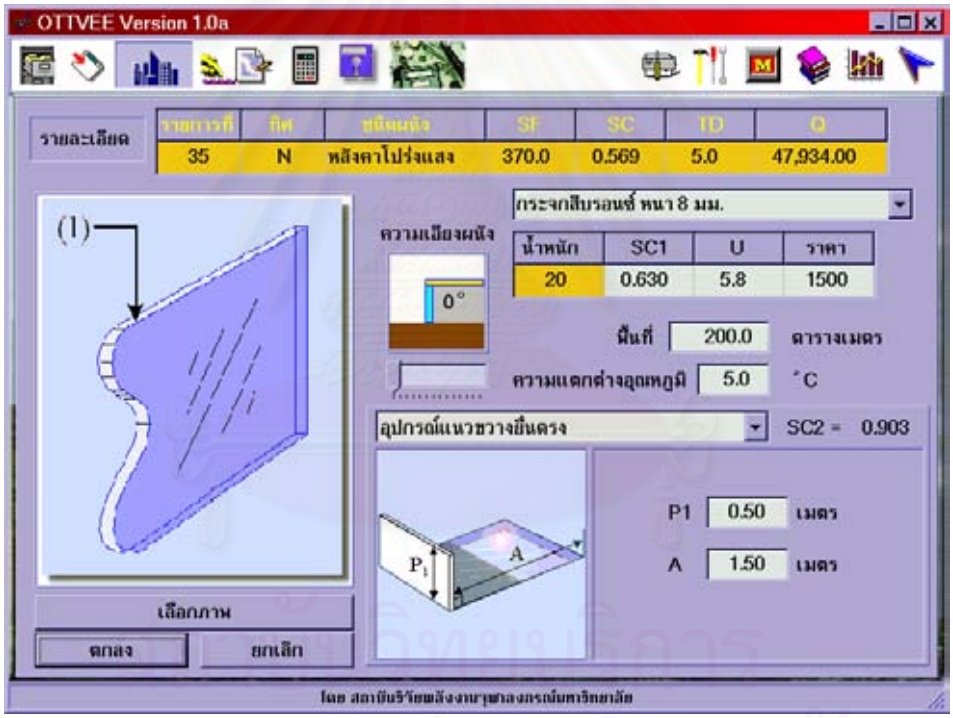
ข้อมูลจะคล้ายกับข้อมูลผนังทึบข้อแตกต่างคือความเอียงมีองศาที่แตกต่างกันคือ

- ผนังจะมีความเอียงตั้งแต่ 90° ถึง 70°
- หลังคาจะมีความเอียงตั้งแต่ 0° ถึง 65°

ข้อมูลที่สามารถใช้จาก Library ที่ได้เตรียมไว้แล้วได้แก่ น้ำหนัก , U ของหลังคา , ราคา และ ภาพ

ส่วนด้านบนจะเป็นผลการคำนวณค่า Q และ การเลือกค่า TD ของหลังคารายการนี้ เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วให้ท่านกดปุ่ม ตกลง เพื่อให้ OTTVEE รับทราบข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วนี้ หรือ ท่านต้องการใช้ข้อมูลเดิมก่อนเข้ามาป้อนรายละเอียดนี้ ให้กดปุ่ม ยกเลิก

ง. <u>หลังคาโปร่งแสง</u>



รูปที่ ก5 แสดงหน้าต่างในส่วนการแก้ไขข้อมูลหลังคาโปร่งแสง

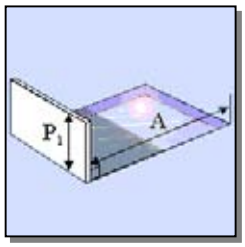
ข้อมูลที่หลังคาโปร่งแสงต้องการคือ ชื่อหลังคาโปร่งแสง , น้ำหนัก , SC_1 ของกระจก , U ของหลังคา , ราคา, ภาพ , ความเอียงของหลังคาโปร่งแสง , พื้นที่ , ความแตกต่างของอุณหภูมิ (TD) และ SC_2

SC_2 หรือ Shading Coefficient ของ Shading Device ใน OTTVEE มีให้เลือกหลายแบบดังนี้

<u>อุปกรณ์แนวขวางยื่นตรง</u>

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_1 คือ ความกว้างของอุปกรณ์แนวขวาง

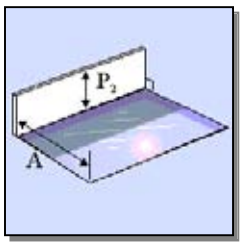
A คือ ความยาวของหน้าต่างกระจก



<u>อุปกรณ์แนวตามยื่นตรง</u>

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P_2 คือ ความกว้างของอุปกรณ์แนวตาม

A คือ ความกว้างของหน้าต่างกระจก

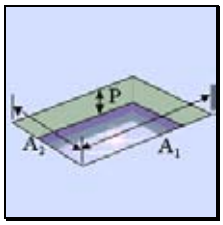


<u>หลังคาโปร่งแสงลึกเข้าไปในหลังคา</u>

ให้ผู้ใช้ป้อนค่า P คือ ความลึกของหน้าต่าง

A_1 คือ ความยาวของหน้าต่างกระจก

A_2 คือ ความกว้างของหน้าต่างกระจก

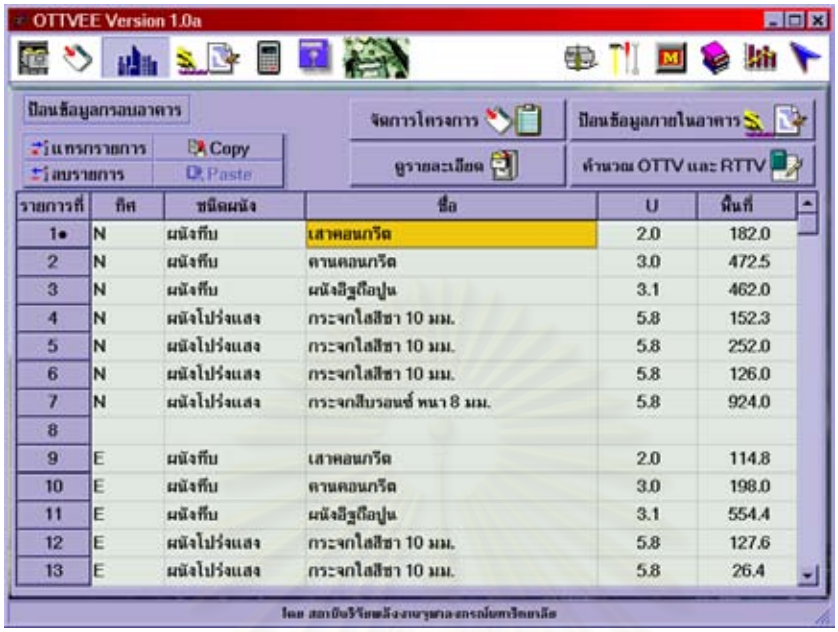


ข้อมูลที่สามารถใช้จาก Library ที่ได้เตรียมไว้แล้วได้แก่ น้ำหนัก , SC_1 ของกระจก , U ของหลังคา , ราคา และ ภาพ

ส่วนด้านบนจะเป็นผลการคำนวณค่า Q และ ค่า SF ของหลังคาโปร่งแสงรายการนี้ เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วให้ท่านกดปุ่ม **ตกลง** เพื่อให้ OTTVEE รับทราบข้อมูลที่ได้ป้อนไว้แล้วนี้ หรือ ท่านต้องการใช้ข้อมูลเดิมก่อนเข้ามาป้อนรายละเอียดนี้ ให้กดปุ่ม **ยกเลิก**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

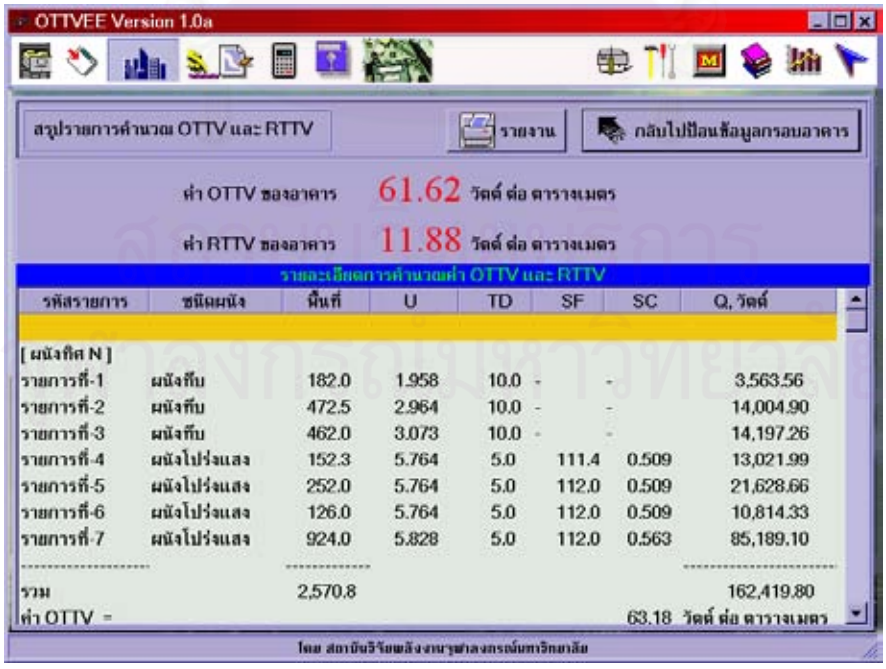
3. **การคำนวณค่า** OTTV/RTTV



รูปที่ ก6 แสดงหน้าต่างในส่วนข้อมูลกรอบอาคาร

เมื่อป้อนรายละเอียดทั้งหมดของกรอบอาคารของโครงการนี้แล้ว ให้ท่านกดปุ่ม

เพื่อเข้าส่วนการคำนวณ , แสดงผล และ รายงานผลการคำนวณ



รูปที่ ก7 แสดงหน้าต่างในส่วนคำนวณค่า OTTV / RTTV

เมื่อเข้ามาในส่วนนี้แล้ว OTTVEE จะทำการคำนวณค่า OTTV / RTTV ทันทีและแสดงผลลัพธ์ไว้คือ ส่วนบนจะแสดงค่า OTTV ของอาคาร และ ค่า RTTV ของอาคาร ถ้าต้องการดูรายละเอียดการคำนวณว่าผนังหรือหลังคาแต่ละรายการมีการคำนวณมาอย่างไร ให้ดูในส่วนล่าง ซึ่งได้เฉลี่ยในแต่ละทิศไว้แล้ว ถ้าท่านต้องการพิมพ์รายงานก็ให้กดปุ่ม

4. การคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร

4.1 ป้อนข้อมูลภายในอาคาร

ในการป้อนข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร ส่วนหนึ่งก็คือภาระของระบบปรับอากาศซึ่งเป็นส่วนที่ซับซ้อนที่สุด และจากบทที่ 2 การป้อนข้อมูลกรอบอาคาร ก็เป็นส่วนในการที่จะนำไปคิดภาระการปรับอากาศ ในบทนี้เราจะทำการป้อนข้อมูลส่วนที่เหลือเพื่อจะใช้คำนวณการใช้พลังงานของอาคารทั้งหมด

ในส่วนนี้จะเห็นได้ว่าในส่วนบนจะเป็นข้อมูลเฉพาะของโครงการนั้น ในส่วนภายในซึ่งมีข้อมูลเป็นจำนวนมากที่ต้องการ สามารถเลื่อนเปลี่ยนค่าได้ สามารถอธิบายเป็นไปตามลำดับต่อไปนี้

- ภาวะการออกแบบระบบปรับอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ และ ความชื้นที่ต้องการในการออกแบบ , ข้อมูลภูมิอากาศสามารถเลือกได้หลายภูมิอากาศตามต้องการ
- วันเริ่มต้นของปี คือ การกำหนดว่าวันที่ 1 ม.ค. ของการคำนวณนี้เป็นวันใดในสัปดาห์ เพื่อจะให้ OTTVEE รู้ว่าวันที่ใดเป็นวันหยุดหรือวันใดในสัปดาห์จะได้คำนวณพลังงานอย่างถูกต้อง
- รายการวันหยุดตลอดปี ให้ท่านกำหนด วันที่ ของวันหยุดให้ปี OTTVEE เตรียมรายการวันหยุดนี้ไว้ 20 รายการ
- ชนิดของระบบปรับอากาศ ให้ท่านเลือกชนิดของระบบปรับอากาศที่อาคารนี้ใช้งาน รายการชนิดของระบบปรับอากาศ สามารถแก้ไขและติดตั้งได้
- เวลาการเปิดปิดระบบปรับอากาศ เป็นการกำหนดเวลาการเปิด และ เวลาปิดระบบปรับอากาศ สามารถกำหนดเวลาแตกต่างกันได้ในแต่ละวันในสัปดาห์
- น้ำหนักพื้น และ ชนิดของผนังภายใน มีให้เลือก 4 ขนาด ซึ่งจะมีผลกับการสะสมความร้อนภายในอาคาร
- ชนิดของหลังคา คือ ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการประกอบเป็นหลังคาของอาคาร

● การรั่วไหลของอากาศในบริเวณปรับอากาศ มีให้ป้อนได้ 3 แบบคือ ใช้พื้นที่ผิวอาคาร, ปริมาณการเปลี่ยนแปลงอากาศ และ ปริมาณอากาศลิตรต่อวินาที

● กิจกรรมของผู้ใช้อาคาร คือ ลักษณะของผู้คนที่เข้ามาภายในอาคารมีให้เลือกหลายแบบซึ่งสามารถแก้ไขและติดตั้งได้ที่ ซึ่งติดตั้งค่าทั้งหมดไว้

● ปริมาณผู้ใช้อาคาร สามารถป้อนได้ 2 แบบ คือ ป้อนจำนวนคนที่ใช้อาคารโดยตรง หรือ กำหนดเป็นพื้นที่ต่อคน

● การคำนวณปริมาณอากาศบริสุทธิ์ คือ การกำหนดวิธีที่จะใช้คำนวณภาระของอากาศบริสุทธิ์ (fresh air) มี 2 วิธีให้เลือกคือ เปลี่ยนแปลงตามจำนวนคน (การเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละเวลาถูกกำหนดด้วยรูปแบบการเข้าออกของผู้ใช้อาคาร) หรือ ใช้ค่าสูงสุดคงที่

● รูปแบบการเข้าออกของผู้ใช้อาคาร (Occupancy Pattern) คือ ปริมาณการเข้าออกของผู้ใช้อาคารในแต่ละวันแต่ละชั่วโมง

● ปริมาณการระบายอากาศ (Ventilation) สามารถกำหนดปริมาณได้ 2 วิธีคือ ปริมาณการเปลี่ยนแปลง หรือ ปริมาณอากาศลิตรต่อวินาที

● การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง มี 2 ส่วนคือ

1. ภายในบริเวณปรับอากาศ สามารถกำหนดได้ 2 วิธีคือ ใช้ปริมาณวัตต์ต่อตารางเมตร หรือ กำหนดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างเป็นกิโลวัตต์ ซึ่งสามารถกำหนดเป็นหลอดไฟฟ้าแบบฟลูออเรสเซนต์ OTTVEE จะคำนวณการสูญเสียของบัลลาสต์ให้ด้วย

2. ภายในบริเวณปรับอากาศ สามารถกำหนดได้วิธีเดียวคือกำหนดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสามารถกำหนดเป็นหลอดไฟฟ้าแบบฟลูออเรสเซนต์ OTTVEE จะคำนวณการสูญเสียของบัลลาสต์ให้ด้วยเช่นกัน

● การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า มี 2 ส่วนคือ

1. ภายในบริเวณปรับอากาศ สามารถได้ 2 วิธีคือ ใช้ปริมาณวัตต์ต่อตารางเมตร หรือ กำหนดปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์
สามารถกำหนดได้ 10 ชนิดของอุปกรณ์และแต่ละชนิดมีรูปแบบการใช้ที่แตกต่างกันด้วยเพื่อให้ได้ค่าการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงขึ้นมาอีกขั้นหนึ่ง

2. ภายนอกบริเวณปรับอากาศ สามารถกำหนดปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ได้วิธีเดียว วิธีป้อนข้อมูลก็มีลักษณะเป็นเช่นเดียวกับการกำหนดภายในบริเวณปรับอากาศ

4.2 การคำนวณพลังงานและแสดงผลการคำนวณ

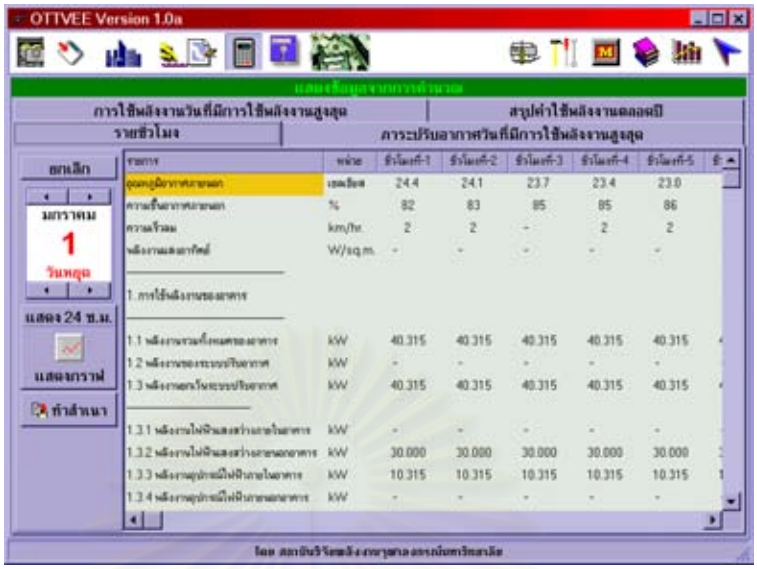
เมื่อท่านพร้อมที่จะทำการคำนวณให้กดปุ่มคำนวณ OTTVEE จะทำการคำนวณและปรากฏแถบวิ่งจนเต็มแสดงว่า OTTVEE ทำการคำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้ว แต่อาจจะมีข้อมูลที่ท่านป้อนผิดพลาดได้ ท่านต้องดูที่ช่องข้อความด้วยว่ามีอะไรผิดพลาดบ้าง

4.3 การแสดงผลการคำนวณพลังงาน

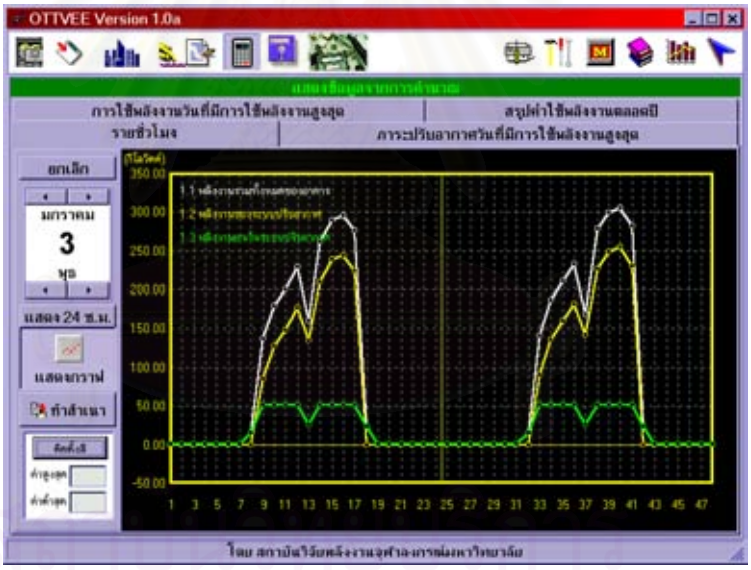
รูปที่ ก8 แสดงหน้าต่างในส่วนผลการคำนวณพลังงาน

การแสดงผลขั้นต้นจากการคำนวณจะปรากฏทันทีที่คำนวณเสร็จ ได้แก่ ขนาดระบบปรับอากาศ , เฉลี่ยตารางเมตรต่อตัน , ราคากรอบอาคาร , ราคาระบบปรับอากาศ และ ค่าไฟฟ้าทั้งปีของอาคารโครงการนี้

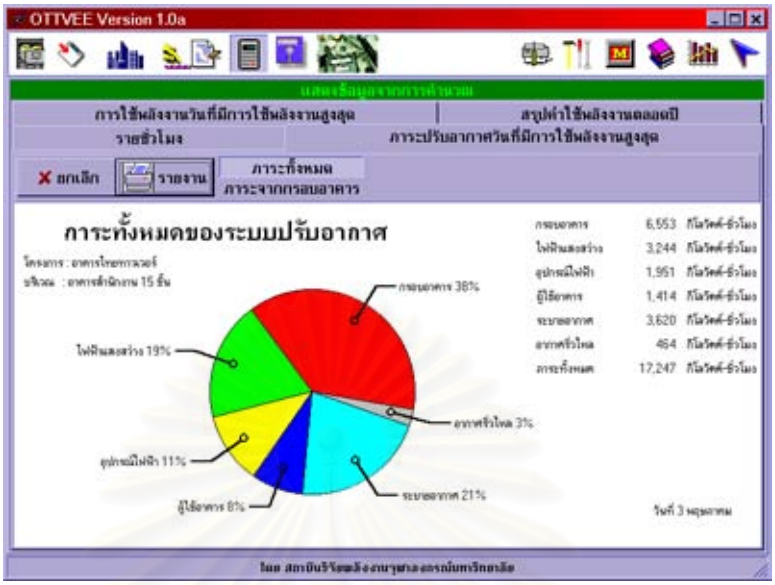
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



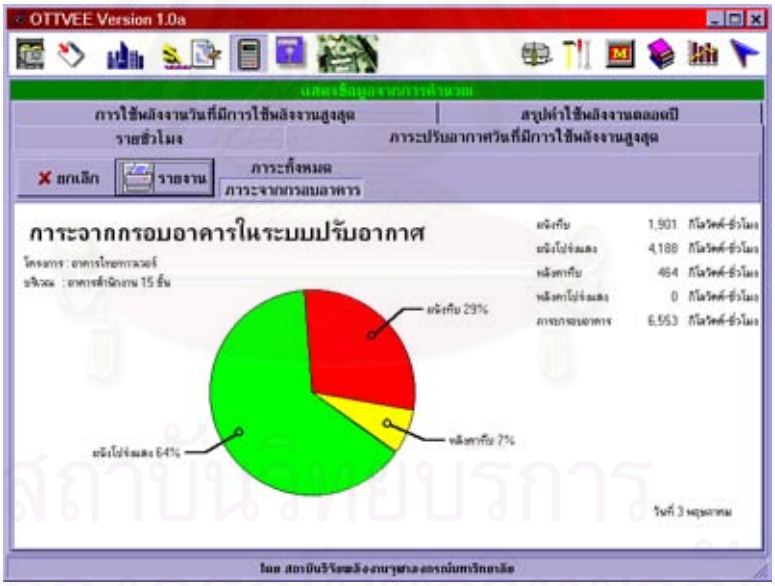
รูปที่ ก9 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงรายละเอียดเป็นตัวเลขในแต่ละชั่วโมง



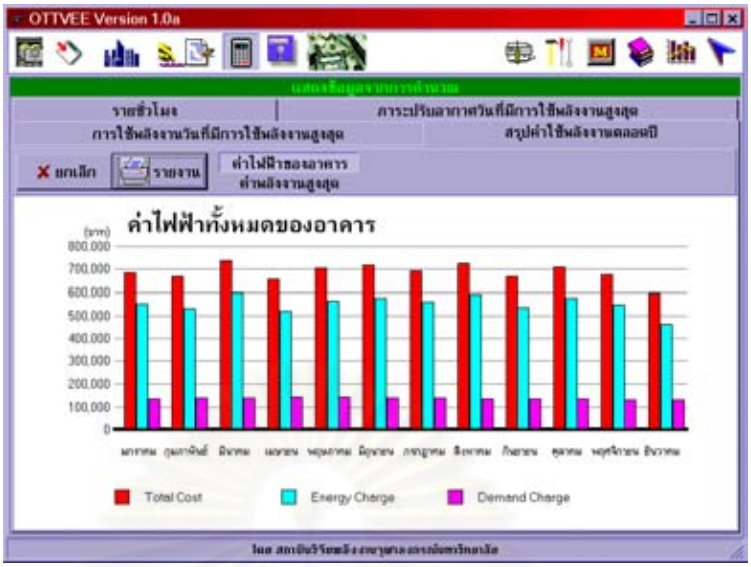
รูปที่ ก10 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟเส้นได้ทุกรายละเอียดเป็น 2 วัน ดังรูปคือกราฟของวันที่ 2-3 มกราคม



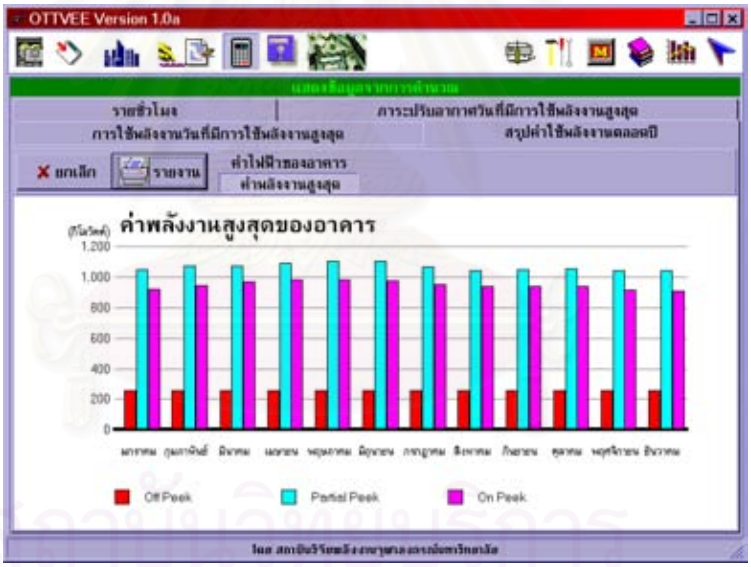
รูปที่ ก11 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟวงกลมแสดงสัดส่วนของภาระต่างๆของระบบปรับอากาศ ในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด



รูปที่ ก12 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟวงกลมแสดงสัดส่วนของภาคต่างๆ จากกรอบอาคาร ในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด



รูปที่ ก13 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟแท่งแสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารในแต่ละเดือน



รูปที่ ก14 แสดงหน้าต่างในส่วนรายละเอียดการคำนวณพลังงานแสดงกราฟแท่งแสดงค่าพลังงานสูงสุดในแต่ละเดือน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนัฐพล จิรัฐติกาลกิจ เกิดเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2521 ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 59/16 ซ.ชินเขต 2/39 ถ.งามวงศ์วาน แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา ปี พ.ศ. 2544 จบการศึกษาระดับอุดมศึกษา ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการอบรม ปี พ.ศ. 2537 รับการอบรมเรื่องการออกแบบสำหรับผู้พิการ จากสมาคมสถาปนิกสยาม ปี พ.ศ. 2538 ร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่องการออกแบบสถาปัตยกรรมแบบยั่งยืน จัดโดยสภาคณะบดีคณะสถาปัตยกรรม ปี พ.ศ. 2539 รับอบรมเรื่อง การออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัย จากสมาคมสถาปนิกสยาม

ประวัติการทำงานด้านการวิจัย ปี พ.ศ. 2546 ร่วมจัดทำการประเมินความเป็นไปได้ด้านพลังงานในการออกแบบโครงการกองบัญชาการสำนักงานทหารพัฒนา หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา
ปี พ.ศ. 2547 ผู้ช่วยวิจัย โครงการบ้านสาธิตประหยัดพลังงานแบบยั่งยืน เพื่อเป็นต้นแบบการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมของภูมิภาค ด้านการวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพของบ้านแบบPassive และบ้านแบบ Active

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย