

ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น:  
กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

นายประวิตร กิตติชาญธีระ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 2 7 4 2 8 9 9 2 5

ENERGY SAVING FROM DOUBLE-SKIN SHADING DEVICES  
OF RESIDENTIAL IN BANGKOK

MR. PRAWIT KITTICHANTHIRA



ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture  
Department of Architecture  
Faculty of Architecture  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2010  
Copyright of Chulalongkorn University

**530512**



ประวัติร กิตติชาญธิระ : ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบ  
ผนัง 2 ชั้น: กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร (Energy Saving From  
Double-Skin Shading Devices of Residential in Bangkok)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน เศรษฐบุตร, 105 หน้า.

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดพลังงานไฟฟ้าของ  
บ้านพักอาศัยด้วยการติดตั้งอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น, จนวนกันความร้อน และกระจกอนุรักษ์พลังงาน  
เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางในการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในเขตร้อน  
ชื้น พร้อมเสนอแนวทางในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแบบผนัง 2 ชั้น เพื่อป้องกันแสงแดดและ  
ความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารโดยการปิดแผงกันแดดที่บสนิทในเวลากลางวันและยังสามารถเปิดรับอากาศและ  
ทัศนียภาพได้เต็มที่ในเวลากลางคืน

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 นี้ให้เห็นว่ากรณี บ้านพักอาศัยที่มี  
สัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมาก การติดตั้งแผงกันแดดที่มีค่าการบังแดดที่สูงจะเหมาะสมที่สุดทางเชิง  
เทคนิค เพราะการใช้พลังงานจะยิ่งลดลงมากขึ้นเมื่อ WWR มีค่าสูงขึ้น ซึ่งตรงข้าม กับการใช้กระจก  
ประสิทธิภาพสูงซึ่งค่าการใช้พลังงานจะสูงขึ้นตามพื้นที่กระจกที่เพิ่มขึ้น โดยผลการจำลองการติดตั้งแผงกัน  
แดดเมื่อเทียบกับการใช้กระจก Double Low-E พบว่าการติดตั้งแผงกันแดดที่ 100% จะทำให้สามารถ  
ประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้กระจก Double Low-E ถึง 38% และเมื่อจำลองการใช้แผงกันแดดที่ 60%  
ควบคู่ไปกับผนังที่มีอุณหภูมิความร้อนพบว่าตั้งแต่ WWR50 – WWR100 นั้นจะมีการใช้พลังงานคงที่ ซึ่ง  
สามารถวิเคราะห์ได้ว่า พื้นที่กระจกยิ่งมาก พื้นที่ผนังที่เป็นฉนวนยิ่งน้อยลง ซึ่งทำให้ค่า U-Value เฉลี่ยของ  
อาคารเริ่มสูงขึ้น ซึ่งในความรู้ของผู้ออกแบบคิดว่าจะต้องสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น แต่ผลที่พบคือ ค่า U ที่  
สูงขึ้น กลับไม่มีผลต่อการใช้พลังงานที่มากขึ้นเลย ดังนั้นการใช้ผนังที่มีฉนวนหนา เพื่อลดค่า U-Value ของ  
อาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้นจึงไม่จำเป็น และไม่ใช่วิทางเลือกที่ถูกต้องเสมอไป

จากผลการวิเคราะห์การลงทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้แผงกันแดดเทียบกับการใช้กระจก  
Double Low-E พบว่าค่า Life Cycle Cost ของแผงกันแดดจะมีค่าน้อยกว่าการใช้กระจก Double Low-E  
เมื่ออาคารนั้นมีค่า WWR สูง (80% ขึ้นไป) อย่างไรก็ตาม ขนาดสัดส่วนของแผงกันแดดนี้ จะมีผลโดยตรง  
ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการใช้แผงกันแดดที่ 100% กับอาคารต้นแบบที่มีค่า WWR30  
นั้นจะสามารถประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 17% แต่เมื่อพื้นที่กระจกมีค่าสูงถึง WWR100 นั้นจะ  
สามารถประหยัดได้ถึง 49% ในการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนพบว่า การใช้แผงกันแดดถือเป็นทางเลือกที่ดี  
ที่สุดซึ่งระยะเวลาคืนทุนจะอยู่ที่ 17 ปี ซึ่งจะเร็วกว่าการใช้กระจก Double Low-E ถึง 6 ปี

ภาควิชา: สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิิต

*Rout Kiti*

สาขาวิชา: สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

*[Signature]*

ปีการศึกษา: 2553

## 5274289925 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : ENERGY SAVING, SHADING DEVICES, DOUBLE-SKIN, WOOD SHUTTER

MR. PRAWIT KITTICHANTHIRA: ENERGY SAVING FROM DOUBLE-SKIN

SHADING DEVICES OF RESIDENTIAL IN BANGKOK. THESIS ADVISOR :

ASSISTANT PROFESSOR ATCH SRESHTHAPUTRA, PhD., 105 pp.

The first purpose of this study was to compare the effectiveness of three materials in saving electricity. The three materials were a double-skin shading device, an insulation to prevent heat from coming into the building and energy-saving glass. The second was to reduce the workload of the air-conditioners in residences in a tropical climate, and the third was to design an appropriate double-skin shading device that can be extended to protect the building from the sun and retracted during the night.

Based on the VisualDOE 4.1 program used to analyze the energy use, technically, this device with high level of shading would be highly recommended for a house in which the glass area is greater than the wall area. It was found that less energy was consumed with higher levels of shading. In contrast, even with very good glass, more energy was consumed with greater areas of glass. When the double-skin shading device was compared with the double Low-E glass, the device saved more energy than the glass by 38% when level of shading used was at 100%. When the device operated with a level of shading at 60% and used in conjunction with insulated walls and the range of WWR value was from 50 to 100, the consumption of energy was stable. It was assumed that when more glass was used, less insulated wall would be used; as a result, the average U-Value of the building would be higher, thus consuming more energy. However, in fact, the high value of U did not affect the high consumption of energy. Therefore, the use of thick insulated walls to reduce the U-Value is not necessary in the tropical climate and is not always a good option.

In terms of investment, the life cycle cost of the device was less than that of the Double Low-E glass when the WWR value of the building was higher than 80%. However, the proportion of the area covered by the device directly affected the energy consumption. It can be concluded that when the level of shading provided by the device is at 100% in a building whose WWR value is 30, electricity consumption can be reduced by 17%. When the WWR value of the glass area reaches 100, the electricity savings can reach 49%. The pay-back period of the device is 17 years, which is 6 years faster than that of the Double Low-E glass; consequently, the device is a good alternative.

Department : Architecture

Field of Study : Architecture

Academic Year : 2010

Student's Signature Prawit Kittichantha

Advisor's Signature Atch Sreshthaputra

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุต  
เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความรู้ ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ อย่างดียิ่งจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอบพระคุณประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัย  
ฐิติและกรรมการ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และ  
ดร. ณรงค์วิทย์ อารัมมิตร ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการให้คำแนะนำต่างๆ

ขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น รุ่นพี่ และรุ่นน้องสาขาสถาปัตยกรรมที่คอยให้คำแนะนำ และ  
เป็นกำลังใจเสมอมา และขอขอบคุณบุคคลรอบข้างทุกท่าน ที่ได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่คอยให้กำลังใจ  
และความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติผู้ให้ความสนับสนุน  
ช่วยเหลือ ติดตาม และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
| สารบัญ.....   | ช    |
| สารบัญตาราง.....  | ฅ    |
| สารบัญภาพ.....  | ฉ    |
| บทที่   |      |
| 1 บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....  | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....  | 3    |
| 1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย.....  | 3    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....  | 3    |
| 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....   | 4    |
| 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 5    |
| 2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....   | 5    |
| 2.1.1 แนวทางในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Audit).....   | 5    |
| 2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร<br>(Thermophysical Properties of Building Materials)..... | 9    |
| 2.1.3 อิทธิพลของผนังมวลสารและฉนวนกันความร้อน.....   | 11   |
| 2.1.4 การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านกระจก.....  | 11   |
| 2.1.5 การศึกษาและวิเคราะห์ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบแผง<br>บังแดด.....                                | 23   |
| 2.1.6 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น.....   | 32   |
| 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....   | 39   |
| 3.1 วิธีการวิจัย.....   | 39   |
| 3.1.1 การสำรวจเก็บข้อมูลตัวอย่างบ้านพักอาศัย.....   | 39   |

| บทที่  | หน้า |
|--|------|
| 3.1.2 จำลองการใช้พลังงานและสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร.....                     | 40   |
| 3.1.3 ศึกษาถึงข้อมูลทางกายภาพของวัสดุประกอบอาคารต่างๆ.....                               | 43   |
| 3.1.4 การจำลองและวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ.....                    | 46   |
| 3.1.5 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พร้อมสรุปผล.....                                 | 47   |
| 4 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา และผลการวิเคราะห์อาคารทางเลือก.....                           | 49   |
| 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา.....  | 49   |
| 4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร.....   | 49   |
| 4.1.2 รายละเอียดองค์ประกอบอาคาร.....   | 51   |
| 4.1.3 ลักษณะพฤติกรรมการใช้งานของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและ<br>เครื่องใช้ไฟฟ้า..... | 52   |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอาคารทางเลือก (Alternative Case).....                            | 59   |
| 4.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์.....   | 83   |
| 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....  | 91   |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....  | 91   |
| 5.1.1 การประเมินและวิเคราะห์อาคารทางเลือกแบบต่างๆ.....                                   | 91   |
| 5.1.2 สรุปประเด็นและปัญหาที่สำคัญในการวิจัย.....   | 92   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....  | 94   |
| รายการอ้างอิง.....   | 96   |
| ภาคผนวก.....   | 99   |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....  | 105  |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |   | หน้า |
|----------|---|------|
| 4.1      | แสดงรายละเอียดของแต่ละพื้นที่การใช้งานภายในของอาคารกรณีศึกษา.....   | 49   |
| 4.2      | รายละเอียดวัสดุประกอบอาคาร.....   | 51   |
| 4.3      | แสดงค่าวัสดุที่เลือกใช้ประกอบอาคาร.....   | 52   |
| 4.4      | แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจกใสชั้นเดียวกับ WWR ขนาดต่างๆ.....   | 54   |
| 4.5      | สัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่ขนาดตั้งแต่ WWR10 – WWR100.....   | 55   |
| 4.6      | เปลือกอาคารทางเลือกชนิดต่างๆ.....   | 59   |
| 4.7      | แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจก Double Low-E Glass กับ WWR<br>ขนาดต่างๆ.....                                   | 60   |
| 4.8      | แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจก Double Reflective Glass กับ<br>WWR ขนาดต่างๆ.....                              | 61   |
| 4.9      | ผลการจำลองการใช้พลังงานสำหรับบ้านเดี่ยวที่มี WWR = 10 – 100 % โดย<br>เปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระจก 3 ชนิด..... | 62   |
| 4.10     | แสดงค่าการใช้พลังงานของการบังแดดที่ 20%-100%.....   | 69   |
| 4.11     | แสดงการใช้พลังงานเปรียบเทียบการใช้เครื่องปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลา.....  | 70   |
| 4.12     | แสดงค่าการใช้พลังงานของผนังที่มีฉนวนกันความร้อน.....  | 72   |
| 4.13     | แสดงผลการใช้พลังงานของการบังแดดที่ขนาดต่างๆ ควบคู่กับผนังที่ใส่ฉนวน<br>กันความร้อน.....                           | 73   |
| 4.14     | แสดงค่า U(eff) ของ BASECASE (Single Clear Glass 6 mm.).....   | 77   |
| 4.15     | แสดงค่า U(eff) ของ อาคารทางเลือก A (Double Low-E Glass).....  | 77   |
| 4.16     | แสดงค่า U(eff) ของ อาคารทางเลือก C (Single Clear Glass with Insulation)   | 78   |
| 4.17     | แสดงค่า U(eff) ของ อาคารทางเลือก F (100% Shading Device with Single<br>Clear Glass).....                          | 78   |
| 4.18     | แสดงค่า U(eff) ของ อาคารทางเลือก I (100% Shading Device with Single<br>Clear Glass with Insulation).....          | 79   |
| 4.19     | แสดงค่าเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่างๆ ใน WWR 30..   | 80   |
| 4.20     | แสดงค่าเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่างๆใน WWR 100.  | 81   |
| 4.21     | ลงทุนในติดตั้งแผงกันแดดให้กับ WWR ขนาดต่างๆ.....  | 84   |
| 4.22     | ค่าการลงทุนในการใช้กระจก Double Low-E Glass ที่ WWR ขนาดต่างๆ.....  | 84   |

| ตารางที่ |  | หน้า |
|----------|--|------|
| 4.23     | ค่าการลงทุนในการใช้กระจก Double Reflective Glass ที่ WWR ขนาดต่างๆ.. | 85   |
| 4.24     | ค่า Life Cycle Cost ของอาคารทางเลือก F (100% Shading Device).....    | 85   |
| 4.25     | ค่า Life Cycle Cost ของการใช้กระจก Double Low-E ใน 20 ปี.....        | 86   |
| 4.26     | แสดงระยะเวลาในการคืนทุน ของแต่ละอาคารทางเลือกที่ค่า WWR 100.....     | 87   |
| 5.1      | สรุปผลการบังแดดที่สัดส่วนต่าง ๆ ที่ WWR100.....                      | 93   |



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |  | หน้า |
|--------|--|------|
| 2.1    | สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์.....   | 12   |
| 2.2    | แสดงการสะท้อนแสงแบบต่างๆ.....  | 14   |
| 2.3    | แสดงการส่องแสงผ่านกระจก.....   | 16   |
| 2.4    | องค์ประกอบของพลังงานจากสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์.....                                | 18   |
| 2.5    | การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก.....  | 19   |
| 2.6    | สมการ RAT.....   | 21   |
| 2.7    | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SC และค่า SHGC.....                                     | 22   |
| 2.8    | แสดงลักษณะของเงาของแผงบังแดดแบบต่างๆ.....  | 25   |
| 2.9    | แสดงลักษณะของมุมกระทำ และมุมเบี่ยง.....  | 26   |
| 2.10   | รูปแบบแผงกันแดดที่ทำจากตะแกรงเหล็กฉีก.....   | 31   |
| 2.11   | รูปแบบแผงกันแดดที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม.....  | 31   |
| 3.1    | จำลองลักษณะการใช้งานของโปรแกรม VisualDoe 4.1.....                                  | 41   |
| 3.2    | จำลองลักษณะการใช้งานของโปรแกรม Energy Plus.....                                    | 42   |
| 3.3    | ตัวอย่างแผงกันแดดแบบผนัง 2 ชั้น.....   | 44   |
| 3.4    | แผงกันแดดแบบผนัง 2 ชั้นที่สามารถปรับขนาดช่องแสงได้.....                            | 45   |
| 3.5    | แบบแปลน รูปด้าน รูปตัดของแผงกันแดดที่ปรับแสงได้ (Wood Shutter).....                | 45   |
| 4.1    | แสดงรายละเอียดของกรณีศึกษา ประกอบด้วย แปลนพื้นที่ 1,2 และรูปด้านอาคาร.....         | 50   |
| 4.2    | แสดงตารางเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศของวันจันทร์-ศุกร์.....                         | 53   |
| 4.3    | แสดงตารางเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศของวันหยุดสุดสัปดาห์.....                       | 53   |
| 4.4    | แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละ Category.....                                      | 54   |
| 4.5    | แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจกใสชั้นเดียวกับ WWR ขนาดต่างๆ.....                | 55   |
| 4.6    | ภาพรูปด้าน A และ B ใน WWR ขนาดต่างๆ.....   | 57   |
| 4.7    | แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจก Double Low-E กับ WWR ขนาดต่างๆ.....             | 61   |
| 4.8    | แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจก Double Reflectiven Glass กับ WWR ขนาดต่างๆ..... | 62   |
| 4.9    | เปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระจก 3 ชนิด.....                                       | 63   |

| ภาพที่ | หน้า   |    |
|--------|--|----|
| 4.10   | การจำลองการบังแดดที่ 60% ด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1.....   | 64 |
| 4.11   | การจำลองการบังแดดที่ 80% ด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1.....   | 64 |
| 4.12   | การจำลองการบังแดดที่ 100% ด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1.....  | 64 |
| 4.13   | เปรียบเทียบการบังแดดที่ 20% กับกระจกชนิดต่างๆ.....   | 65 |
| 4.14   | เปรียบเทียบการบังแดดที่ 40% กับกระจกชนิดต่างๆ.....   | 65 |
| 4.15   | เปรียบเทียบการบังแดดที่ 60% กับกระจกชนิดต่างๆ.....   | 66 |
| 4.16   | เปรียบเทียบการบังแดดที่ 80% กับกระจกชนิดต่างๆ.....   | 67 |
| 4.17   | เปรียบเทียบการบังแดดที่ 100% กับกระจกชนิดต่างๆ.....  | 68 |
| 4.18   | เปรียบเทียบการบังแดดที่ 20%-100% กับ WWR ขนาดต่างๆ.....  | 70 |
| 4.19   | เปรียบเทียบเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลา.....  | 71 |
| 4.20   | เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่ผนังติดฉนวนกันความร้อน.....   | 72 |
| 4.21   | เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 20% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน.....                               | 73 |
| 4.22   | เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 40% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน.....                               | 74 |
| 4.23   | เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 60% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน.....                               | 74 |
| 4.24   | เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 80% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน.....                               | 75 |
| 4.25   | เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 100% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน.....                              | 76 |
| 4.26   | เปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อปีสำหรับอาคารที่มีค่า U(eff) แตกต่างกัน.....                          | 79 |
| 4.27   | กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่างๆ ใน<br>WWR 30.....                      | 81 |
| 4.28   | กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่างๆ ใน<br>WWR 100.....                     | 82 |
| 4.29   | เปรียบเทียบค่า Life Cycle Cost ของเปลือกอาคาร 2 ชนิด.....  | 86 |
| 4.30   | เปรียบเทียบระยะเวลาคุ้มทุนของอาคารทางเลือกกับ WWR ขนาดต่างๆ.....                                 | 87 |
| 4.31   | แสดงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของการใช้แผงกันแดดที่ 100% กับ<br>WWR ขนาดต่างๆ.....             | 88 |
| 4.32   | เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคารต้นแบบกับอาคาร<br>ทางเลือกต่างๆ.....              | 89 |
| 4.33   | เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคารต้นแบบกับอาคารที่<br>มีการกันแดดที่ขนาดต่างๆ..... | 90 |

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยปัจจุบัน สังคมมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเพราะเข้าใจว่าการใส่ฉนวนกันความร้อนหลาย ๆ ชั้น ในผนังอาคารพักอาศัยจะช่วยลดความร้อนและประหยัดพลังงานได้ แต่จากผลการวิจัยโดยสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย<sup>1</sup> บ้านที่มีหน้าต่างกระจกเป็นพื้นที่มากโดยไม่มีการบังแดดที่ถูกต้องแล้ว เมื่อทำการก่อสร้างหรือปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังหรือหลังคา กลับพบว่าจะยิ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ซึ่งในการวิจัยนี้อธิบายว่าการใช้ฉนวนกันความร้อนในผนังนั้น จะเหมาะสมกับอาคารสำนักงานหรืออาคารที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวัน แต่บ้านพักอาศัยจะเป็นการใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืนเสียเป็นส่วนใหญ่ การใส่ฉนวนหนา ๆ หลายชั้นโดยไม่ป้องกันความร้อนจากหน้าต่างด้วยการกันแดดเท่ากับจะยิ่งทำให้เกิดการเก็บกักความร้อนมากยิ่งขึ้น เพราะมีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาทางกระจกทำให้เกิดเป็นความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารหรือโครงสร้างอาคารไม่สามารถคายออกสู่ภายนอกบ้าน (ปรากฏการณ์เรือนกระจก Greenhouse Effect) และทำให้ร้อนมากขึ้นด้วยเนื่องจากมีฉนวนเป็นเสมือนกล่องเก็บกักความร้อน ก่อให้เกิดภาวะการทำความร้อนมากยิ่งขึ้นในเวลากลางคืนที่ผู้อาศัยกลับมาถึงบ้านแล้วเปิดเครื่องปรับอากาศ

นอกจากนี้ยังพบว่าการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยนอกจากจะขึ้นอยู่กับการใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพสูงแล้วนั้น ยังขึ้นอยู่กับการบังแดดที่มีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในอาคารในเวลากลางวันและสะสมในโครงสร้างอาคาร เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงเรื่องอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้นเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงและผนังที่ใส่ฉนวนกันความร้อน ซึ่งอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้นสามารถปิดทึบได้เต็มที่ในเวลากลางวัน เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการแผ่รังสี และแสงที่ส่องผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร และสามารถเปิดรับทัศนียภาพและอากาศที่อย่างเต็มที่ในกลางคืน ด้วยเหตุนี้จึงเล็งเห็นว่าแนวคิดของงานวิจัยเพื่อการศึกษา

---

<sup>1</sup> อรรจน์ เศรษฐบุตร "การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว" ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, 23-25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมโบสถ์สกาย จังหวัดกรุงเทพฯ ฯ"

ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น: กรณีศึกษา อาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานครจะเป็นประโยชน์ โดยองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้จะสามารถนำไปปรับปรุงแบบบ้านประหยัดพลังงานที่มีอยู่แล้วในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานให้ดีขึ้นแล้วยังสามารถนำแนวทางจากการวิจัยนี้ไปใช้ประกอบเป็นแนวทางต้นแบบในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้นทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไป

ในปัจจุบันนิยมใช้กระจกเป็นผนังอาคารเพื่อความสวยงามเป็นจำนวนมากขึ้นดังนั้น การเลือกวัสดุเปลือกอาคารรวมถึงการใช้กระจกจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะแผงกันแดดที่จะทำหน้าที่ป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารในเวลากลางวันเพื่อลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

การวิเคราะห์วัสดุเปลือกอาคาร และวิเคราะห์แผงบังแดดแบบผนัง 2 ชั้นนอกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานนั้น ถือเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน แต่อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ วัสดุเปลือกอาคาร และออกแบบแผงบังแดดนอกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานนั้น ซึ่งสถาปนิกผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องนี้ อีกทั้งยังต้องมีการคำนวณค่าตัวแปรและสมการต่าง ๆ มากมายเพื่อมาใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ ดังนั้นในการศึกษาประสิทธิภาพแผงกันแดดแบบผนัง 2 ชั้นที่ได้กล่าวมาแล้วในงานวิจัยนี้ จึงมีความมุ่งหวังที่จะนำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานระหว่างการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงกับ แผงกันแดดที่สัดส่วนต่าง ๆ เพื่อช่วยให้สถาปนิกผู้ออกแบบสามารถนำมาเลือกใช้กับอาคารได้อย่างถูกต้อง และสามารถลดระยะเวลาการทำงานของสถาปนิกในขั้นตอนการวิเคราะห์รูปทรงอาคาร วัสดุเปลือกอาคาร และออกแบบแผงบังแดดนอกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสัดส่วนของแผงกันแดดภายนอกที่ขนาดต่าง ๆ สำหรับผนังอาคารให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพที่มีความเหมาะสมสูงสุดเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและลดความร้อนเข้าสู่อาคารให้มากที่สุด

2. ศึกษาประสิทธิภาพการลดพลังงานด้วยการบังแดดแบบผนัง 2 ชั้น กระจกประสิทธิภาพสูง และฉนวนกันความร้อนเพื่อทำการวิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุงและลดภาระการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยเขตร้อนชื้น

3. เสนอแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดแบบผนัง 2 ชั้น โดยให้สามารถใช้ควบคู่ไปกับอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้นเพื่อป้องกันแสงแดดและความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารในเวลากลางวัน

4. ศึกษาการลงทุนในการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแบบผนัง 2 ชั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงและฉนวนกันความร้อนในเชิงเศรษฐศาสตร์

#### ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการศึกษาเฉพาะอาคารบ้านเดี่ยว 2 ชั้นในเขตกรุงเทพมหานคร
2. ทำการศึกษากันอากาศระดับกลาง พื้นที่ตั้งแต่ 200-250 ตร.ม.
3. ทำการศึกษากันอากาศที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศโดยจะทำการคิดคำนวณการใช้พลังงานของอาคารเฉพาะ พลังงานปรับอากาศทำความเย็น

#### ข้อจำกัดของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ทำการจำลองค่าการใช้พลังงานต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDoe4.1
2. ทำการวิจัยอุปกรณ์บังแดดภายนอกเฉพาะรูปแบบแผงกันแดดไม้ 2 ชั้นที่สามารถเปิดปิด และปรับแสงได้เท่านั้น
3. ทำการวิจัยเฉพาะการใช้พลังงานของอาคารเท่านั้น ไม่ได้ศึกษาเรื่องของทิศทางดวงอาทิตย์และปัจจัยเรื่องแสงมาเกี่ยวข้อง
4. การทดลองไม่รวมถึงความแตกต่างด้านสีของวัสดุแผงกันแดดภายนอกอาคารรวมถึงระยะห่างจากของแผงกันแดดกับผนังอาคาร

#### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ให้ทราบถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้นขนาดต่าง ๆ เมื่อเทียบกับการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงและฉนวนกันความร้อนทั้งในด้านประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์
2. นำแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้นดังกล่าว ไปใช้เป็นต้นแบบในการติดตั้งร่วมกับเปลือกอาคารของบ้านพักอาศัยเพื่อปรับปรุงหรือประยุกต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานและสภาพภูมิอากาศได้
3. นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงแบบบ้านมาตรฐานและเกณฑ์แบบประเมินบ้านประหยัดพลังงานให้เหมาะสมกับภูมิอากาศร้อนชื้น พร้อมเปรียบเทียบผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารของวัสดุชนิดต่าง ๆ

4. เป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้มากขึ้นเพื่อการก่อสร้างอาคารใหม่หรือปรับปรุงอาคารเก่าที่มีอยู่แล้ว เพื่อเป็นองค์ประกอบ ๗ หนึ่งใน การปรับปรุงหรือร่วมกับงานวิจัยอื่น ๆ เพื่อการประหยัดพลังงาน

### วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยเป็นไปตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการและวางแผนเป็นขั้นตอนดังนี้ คือ

1. การสำรวจเก็บข้อมูลตัวอย่างบ้านพักอาศัย ทำการสำรวจเพื่อรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบ้านพักอาศัย

2. จำลองการใช้พลังงานและสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร งานวิจัยนี้ใช้แนวทางการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์จริง (Simulation Research) เพื่อทำการหาค่าการใช้พลังงานของอาคารต้นแบบ (BASECASE) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลตัวอย่างบ้านพักอาศัยโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDoe4.1

3. ศึกษาถึงข้อมูลทางกายภาพของวัสดุประกอบอาคารต่าง ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการศึกษาในหัวข้อซึ่งจะเป็นการป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก และเรื่องของอุปกรณ์กันแดดเป็นหลัก

4. ทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ทั้งหมด 9 ทางเลือกโดยใช้โปรแกรม VisualDoe4.1 พร้อมนำผลการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานการใช้พลังงานของอาคารต้นแบบ (Base Case) พร้อมทั้งวิเคราะห์และอภิปรายข้อมูล

5. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบงบประมาณที่ต้องลงทุน แล้วจึงคำนวณหาจุดคุ้มทุนของแต่ละแนวทาง โดยคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน หรือ Life-Cycle Cost (LCC) ที่ใช้ในอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ

6. รวบรวมและสรุปผลการทดลองและประเมินผล เพื่อนำเสนอข้อเสนอนะในการวิจัย รวมถึงไปถึงแนวทางในการนำไปประยุกต์กับอาคารทั่วไปในการใช้งานจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและทฤษฎี

ในบทนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงผลงานวิจัย ทฤษฎี ข้อมูล และแนวความคิดจากเอกสาร บทความวิชาการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

#### 2.1 แนวทางในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Audit)

เพื่อเป็นการศึกษาถึงสภาพลักษณะการใช้พลังงานและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับอาคารที่ต้องการศึกษา เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการแก้ไข ปรับปรุงให้เกิดการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

##### 2.1.1 การศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร

Asian Development Bank กล่าวว่า การศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร คือ การศึกษาเบื้องต้นถึงการใช้พลังงานที่จำแนกตามระบบและประเภทของการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา เพื่อเป็นการยืนยันว่าอาคารนั้น ๆ มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และเพื่อหาแนวทางในการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ ดังนี้

1. ระบุหรือกำหนดได้ว่า อาคารที่ต้องการศึกษามีการใช้พลังงานที่ส่วนใด ใช้ ณ ช่วงเวลาใดและใช้พลังงานอย่างไร
  2. สามารถกำหนดแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา
  3. ทราบประสิทธิผลของการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา
  4. ทราบลักษณะการจัดการในด้านพลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา
- มีวิธีศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคารแยกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

**ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคารที่มีการเก็บบันทึกไว้**

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลอาคารที่มีการเก็บบันทึกไว้ในด้านการใช้พลังงาน โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลที่มีการเก็บย้อนหลังไปอย่างน้อย 1 ปี โดยทำการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดแนวโน้มของรูปแบบการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา เพื่อประเมินค่าการใช้พลังงานต่อตารางเมตร (evaluate energy use indices) เพื่อให้ทราบว่าระบบประกอบอาคารส่วนใดที่ด้อยประสิทธิภาพในการใช้พลังงานทั้งในตัวระบบที่เลือกใช้ และวิธีการในการดำเนินงานของระบบนั้น ๆ

ข้อมูลที่ต้องการเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นที่ 1

1. ข้อมูลค่าไฟฟ้าย้อนหลัง หรือ ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง
2. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (weather data) ณ ช่วงเวลาที่พิจารณา
3. ข้อมูลการใช้งานอาคาร และจำนวนผู้ใช้อาคาร

แนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 1

1. ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานแต่ละชนิด กับค่าใช้จ่ายแยกตามชนิดของพลังงานที่ใช้ในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้า, ก๊าซ, น้ำมัน เป็นต้น
2. หากมีข้อมูลที่เพียงพอควรนำข้อมูลการใช้พลังงานรายปีแต่ละปีมาเปรียบเทียบเพื่อประมาณการแนวโน้มในการใช้พลังงานในแต่ละปีว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร
3. ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะสภาพภูมิอากาศมีความสัมพันธ์ต่อการใช้พลังงานในแต่ละช่วง เวลาที่ทำการพิจารณาอย่างไร และวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ลักษณะการใช้พลังงานในอาคารเป็นเช่นนั้น
4. ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานกับจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่
5. วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารที่พิจารณา (กิโลวัตต์ ชั่วโมง/ตารางเมตร)

**ขั้นที่ 2 การสำรวจอาคาร เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงที่เป็นไปได้**

เป็นขั้นตอนที่ควรกระทำก่อนที่จะใช้เวลา และเงินทุนไปเพื่อการทดสอบแนวทางในการใช้พลังงานในด้านหนึ่งโดยเฉพาะ ในขั้นตอนที่ 2 นี้ จะเป็นการเข้าไปสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาหาอัตราส่วนในการใช้พลังงานในอาคารว่ามีการใช้พลังงานมากที่สุดในกิจกรรมหรือกระบวนการใด พิจารณาว่าการใช้พลังงานในส่วนใดที่มีการใช้เปลี่ยนแปลงและด้อยประสิทธิภาพ และจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่และการจัดระบบภายในอาคาร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาโดยละเอียดต่อไป

ข้อมูลที่ต้องการเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นที่ 2

1. รูปแบบอาคารที่ทำการออกแบบและงานระบบที่ใช้ในอาคารทุกระบบ
2. อุปกรณ์และเครื่องกลที่ใช้งานในอาคาร
3. การพิจารณาประสิทธิภาพของงานระบบที่ใช้ในอาคาร เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับลักษณะอาคารที่มีการออกแบบเดิมไว้หรือไม่อย่างไร

แนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 2

1. ทำการวิเคราะห์จำแนกข้อมูลการใช้พลังงานตามประเภทการใช้พลังงาน (energy use and cost break down) โดยพิจารณาเป็นอัตราส่วนการใช้งาน

2. วิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพของเครื่องกลและงานระบบ พิจารณาข้อดี/ข้อเสียของงานระบบ และเปรียบเทียบผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงงานระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการคำนวณเปรียบเทียบด้านอัตราการใช้พลังงาน ความคุ้มค่า เป็นหลัก

### ขั้นที่ 3 การศึกษาโดยละเอียด ประเมินแนวทางและความเป็นไปได้ในการปรับปรุงในด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

เป็นการศึกษาเพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลละเอียดประกอบการพิจารณา

ข้อมูลที่ต้องการเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นที่ 3

1. ปริมาณพลังงาน โดยละเอียดที่ใช้ในอุปกรณ์แต่ละชนิด งานระบบ ภายในอาคาร และสภาพภายในอาคารตามความเป็นจริง ซึ่งได้มาจากการเข้าไปทำการวัดการใช้พลังงานจริง เช่น การติดตั้งมิเตอร์วัด การวัดอุณหภูมิ การวัดความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

2. ข้อมูลด้านการลงทุนและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ณ ปัจจุบัน และ ค่าใช้จ่ายในกรณีที่มีการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารในแต่ละแนวทาง

3. ค่าใช้จ่ายที่ลดลงอันได้จากการปรับปรุงอาคาร ในกรณีนี้ข้อมูลจะได้มาจากการคำนวณ หรือการจำลองสภาพการใช้งานอาคารด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ อาทิ DOE, BLAST, ENERWIN เป็นต้น

แนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 3

1. ประมาณค่าใช้จ่ายที่เป็นไปได้เมื่อมีการปรับปรุงอาคารในแต่ละแนวทาง เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

2. เปรียบเทียบการใช้พลังงานในแนวทางการปรับปรุงอาคารแต่ละแนวทางกับการใช้พลังงานในอาคารเดิมก่อนทำการปรับปรุง โดยพิจารณาจากอัตราการคืนทุนเบื้องต้น และวงจรคืนทุนที่ใช้ในการปรับปรุง

2.1.2 แนวทางในการสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากหนังสือ Retrofitting of Building For Energy Conservation ได้เสนอแนวทางในการสำรวจอาคารดังนี้ (Retrofitting of Building For Energy Conservation, 1984)

1. การสำรวจเก็บข้อมูลของระบบเปลือกอาคาร ได้แก่การเก็บข้อมูลด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของตัวอาคาร

1.1.1 ประเภทของโครงสร้างอาคาร

1.1.2 ขนาดของอาคาร

- 1.1.3 ทิศทางและแนวแกนของอาคาร
- 1.1.4 วัสดุก่อสร้างอาคาร
- 1.1.5 ขนาดพื้นที่ช่องแสงในอาคาร
- 1.1.6 ลักษณะการกันแดดให้ตัวอาคาร
- 1.2 พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
- 1.3 การกำหนดตำแหน่งของห้องต่าง ๆ ในอาคาร
2. การสำรวจเก็บข้อมูลงานระบบในอาคาร ได้แก่การรวบรวมข้อมูล
  - 2.1 ประเภทของระบบเครื่องกลที่ใช้ในอาคาร
  - 2.2 ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในเครื่องกลแต่ละชนิด ได้จากการศึกษาแบบติดตั้งเครื่องกล หรือเก็บข้อมูลจากตัวเครื่อง
  - 2.3 ระบบแสงสว่าง
    - 2.3.1 กำหนดตำแหน่งดวงโคม ชนิด และขนาดของดวงโคมที่ใช้ในอาคาร
    - 2.3.2 เก็บข้อมูลวงจรในการเปิด/ปิด ดวงโคมและตำแหน่งสวิตซ์ไฟฟ้าในอาคาร
    - 2.3.3 เก็บข้อมูลระดับความส่องสว่างในอาคาร
    - 2.3.4 พิจารณาลักษณะการใช้งานในแต่ละพื้นที่ที่มีการติดตั้งดวงโคม
    - 2.3.5 เก็บข้อมูลตารางการใช้งานระบบแสงสว่างในแต่ละห้อง
3. การสำรวจเก็บข้อมูลลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อาคาร
  - 3.1 เก็บข้อมูลตารางการทำงานของผู้ใช้อาคาร
  - 3.2 พิจารณาจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลา
4. การสำรวจเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร
  - 4.1 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารแยกแต่ละกิจกรรม
  - 4.2 เก็บข้อมูลตารางการเปิด/ปิด หรือตารางการทำงานของระบบปรับอากาศ วิธีการปรับอากาศในแต่ละช่วงของปี ตารางและวิธีการดูแลรักษาเครื่อง
5. การสำรวจเก็บข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในอาคาร
6. การสำรวจเก็บข้อมูล utility ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงานที่ผ่านมาทั้งปริมาณค่าใช้จ่าย และความต้องการใช้พลังงานในอาคาร ข้อมูลประเภทของพลังงานที่มีการใช้งานในอาคาร (สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานไฟฟ้า)
7. การสำรวจเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

### 2.1.3 ข้อจำกัดในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยการจำลองสภาพในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Program)

จากหนังสือ Retrofitting of Building For Energy Conservation สามารถสรุปข้อจำกัดได้ดังนี้ (Retrofitting of Building For Energy Conservation, 1984: p 158-160)

1. การพิจารณาผลกระทบในระยะยาวของ การปรับปรุงตัวอาคารหรือวิธีการจัดการที่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมาก ค่าที่ได้จากการประเมินอาจไม่ตรงตามค่าที่เกิดขึ้นจริง
2. ข้อมูลที่นำมาใส่ในโปรแกรมอาจจะได้มาจากข้อมูลที่ไม่ตรงตามความเป็นจริง ทั้งข้อมูลตัวอาคารเช่นการใช้ข้อมูลที่ได้จากคู่มือวัสดุอาจมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ข้อมูลอุณหภูมิ และข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมของอาคาร โดยทั่วไปมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากอาคารจริงประมาณ 10-15 % สำหรับการใส่โปรแกรม DOE, BLAST, TRACE
3. การพิจารณาวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงอาคารหลายวิธีร่วมกันอาจไม่ได้รับผลได้อย่างเต็มที่ เช่น หากผู้ออกแบบเลือกวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร 2 วิธีที่ประเมินเบื้องต้นว่า แต่ละวิธีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ร้อยละ 10 % แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกันอาจเพิ่มประสิทธิภาพได้ไม่ถึง 20 % ก็ได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเมินได้ยาก

### 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร (Thermophysical Properties of Building Materials)

กระบวนการการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากอาคาร สามารถเกิดขึ้นได้ 4 วิธีคือ การนำความร้อน (conduction), การพาความร้อน (convection), การแผ่รังสี (radiation) และการระเหยกลายเป็นไอ หรือการควบแน่น (evaporation or condensation)

1. การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุ 2 ชิ้นที่สัมผัสกัน ความร้อนจะถ่ายเทผ่านวัสดุจากโมเลกุลที่ร้อนกว่าไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่า ในอนุภาคที่ติดกัน
2. การพาความร้อน เป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ ก๊าซต่าง ๆ หรือน้ำ โดยมีทิศทางของการถ่ายเทความร้อนจากที่ร้อนสู่ที่ที่เย็นกว่า เนื่องจากโมเลกุลที่ร้อนและเบาที่จะลอยตัวขึ้น ส่วนโมเลกุลที่เย็นและหนักกว่าจะตกลงข้างล่าง
3. การแผ่รังสีความร้อน เป็นการถ่ายเทพลังงานทะลุผ่านช่องว่างใด ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า จากพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าทะลุผ่านไปยังพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เป็นลักษณะของการกระจายรังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากพื้นผิวของวัตถุในทุกทิศทาง

4. การระเหยกลายเป็นไอหรือการควบแน่น จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และจากไอกลายเป็นของเหลว ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนของการเปลี่ยนสถานะนี้เองที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น (ดูดความร้อน หรือคายความร้อน)

คุณสมบัติของวัสดุทึบตัน (opaque materials) ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของอาคาร, อุณหภูมิภายในอาคาร และภาวะนำสบายภายในอาคาร มีดังนี้

### 2.2.1 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุที่บ่งบอกถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุทึบตันที่มีเนื้อเดียวถูกกำหนดค่าเป็น  $k$  คือจำนวน british thermal units ต่อชั่วโมง (BTU/h) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางฟุตที่มีความหนา 1 นิ้ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงผ่านวัสดุนี้  $1^{\circ}\text{F}$  ภายใต้สภาพการถ่ายเทความร้อนคงที่ (steady-state conditions) หน่วยของค่า  $k$  คือ BTU/h ft<sup>2</sup> เปรียบเท่ากับระบบเมตริกคือ  $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$

### 2.2.2 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

ค่า  $R$  เป็นค่าที่บอกให้รู้ว่าคุณสมบัติของวัสดุทึบตันนั้น มีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหนในการเป็นฉนวน ค่า  $R$  เป็นส่วนกลับของ conductance จะถูกวัดในจำนวนชั่วโมงที่ต้องการสำหรับความร้อน 1 BTU ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่ง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ  $1^{\circ}\text{F}$  หน่วยของ  $R$  คือ h ft<sup>2</sup> °F/BTU ในระบบเมตริกคือ  $\text{m}^2 \text{C}^{\circ}/\text{W}$  ยิ่งวัสดุมีค่า RValue มากเท่าไร ประสิทธิภาพในความเป็นฉนวนก็ยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น

### 2.2.3 คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุที่เกี่ยวกับการแผ่รังสี

พฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงรังสีความร้อนของพื้นผิวนอกอาคารของวัสดุทึบตันมี 3 แบบ ได้แก่ การดูดกลืนรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface absorptivity), การสะท้อนรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface reflectivity) และการคายรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface emissivity) เมื่อรังสีความร้อนกระทบพื้นผิววัสดุ บางส่วนจะถูกดูดกลืนและบางส่วนจะถูกสะท้อนออกจากวัสดุ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ลักษณะทางกายภาพเคมีของวัสดุ และความยาวของคลื่นรังสีที่ตกกระทบ โดยที่ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ของทั้งการดูดกลืนรังสีจะเท่ากับ 1 เสมอ

ค่าการคายรังสี คือความสามารถของวัสดุและพื้นผิวของวัสดุ ที่จะแผ่หรือปล่อยพลังงานออกมา พื้นผิวที่หยาบจะคายรังสีออกมาได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบและเป็นมัน ค่าการดูดกลืนรังสี คือ ความสามารถของวัสดุและพื้นผิวที่จะดูดกลืนความร้อน ส่วนค่าของการสะท้อนรังสีของพื้นผิวที่ยังมีความหนาแน่นและเรียบ การสะท้อนรังสีก็ยิ่งมีมากขึ้น ในเรื่องของสีนั้น วัสดุที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าวัสดุสีอ่อน

### 2.3 อิทธิพลของผนังมวลสารและฉนวนกันความร้อน

คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนและมวลสารจะมีส่วนสำคัญอย่างมากกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังภายนอกของอาคาร การใช้ผนังมวลสารจะสามารถลดอัตราการไหลพลังงานทางด้านภาวะการทำความเย็นของอาคารลงได้ ในสภาพภูมิอากาศที่อาคารนั้น ๆ มีภาวะการทำความเย็นเป็นหลัก และจะเป็นผลดีสำหรับอาคารที่ไม่มีการใช้งานในช่วงค่ำ เนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังมวลสารจะค่อย ๆ ถ่ายเทออกจากผนังในช่วงเวลาดังกล่าว จากการศึกษา (Balcomb J and R.Jones, 1988) พบว่า การใช้ฉนวนกันความร้อนทั่ว ๆ ไป เช่น โพลีสไตรีนโฟม อาจจะทำให้อิทธิพลของผนังมวลสารในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนลดลงได้ เนื่องจากฉนวนกันความร้อนนั้น ๆ จะไปลดทอนความร้อนบางส่วนของผนังลง ซึ่งอิทธิพลนี้ก็จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของฉนวนด้วย หากมองในภาพรวมแล้ว การใช้ผนังมวลสารจะมีประโยชน์อย่างมากถ้าใช้พิจารณาควบคู่ไปกับช่วงเวลาการดำเนินการของอาคาร เมื่อเทียบกับการใส่ฉนวนกันความร้อนให้กับผนังแต่เพียงอย่างเดียว

### 2.4 การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านกระจก (solar heat gain through glass)

ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคและภูมิภาคจะไม่เท่ากันและพลังงานที่เข้ามาในแต่ละทิศก็แตกต่างกันอย่างมากเช่น ณ ที่ละติจูด 16 องศาเหนือ พลังงานความร้อนสูงสุดจากรังสีอาทิตย์ที่เข้ามาทางหน้าต่างทิศใต้และทิศตะวันตกหรือตะวันออกเฉียงใต้จะมากกว่าพลังงานความร้อนสูงสุดจากรังสีอาทิตย์ ที่เข้ามาทางหน้าต่างทิศเหนือถึงโดยประมาณ 2.7 เท่า และ 5.5 เท่าตามลำดับ ถ้าเปิดหน้าต่างหรือช่องแสงในระนาบนอนความร้อนสูงสุดจากรังสีอาทิตย์เฉียงต่อปีที่เข้ามามีมากถึง 6.8 เท่าจากหน้าต่างทิศเหนือ ดังนั้นในการออกแบบหน้าต่างของอาคารนอกเหนือจากขนาดหน้าต่างหรือพื้นที่ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญต่อพลังงานความร้อนที่เข้ามาในอาคารแล้ว ทิศทางของช่องเปิดนั้นก็ยังเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งที่บ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาในอาคาร

การออกแบบหลีกเลี่ยงความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain) ควรหลีกเลี่ยงการใช้กระจกในทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เพราะพลังงานที่เข้ามาทั้งสองทิศดังกล่าวสูงมาก วิธีการป้องกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์เข้ามาในอาคารอีกวิธีหนึ่งก็คือ การบังแดดให้กับกระจก ค่าการบังแดดนั้นแสดงออกมาในรูปสัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient, SC) ค่า SC ที่ได้จากการออกแบบมาได้จากอุปกรณ์บังแดดหรือแผงกันแดดของอาคารเองและจากคุณสมบัติของกระจกเอง ค่า SC ที่เท่ากับ 1 นั้นเทียบเคียงมาจากพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร ในการคำนวณพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ผ่านเข้ามาทางกระจกสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q = A \times (\text{Average Solar Gain}) \times SC \dots\dots\dots 1$$

โดยที่ q = ปริมาณความร้อนหน่วย Btu/h (SI unit = Watt)

A = พื้นที่กระจกเป็นตารางฟุต (SI unit = m<sup>2</sup>)

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

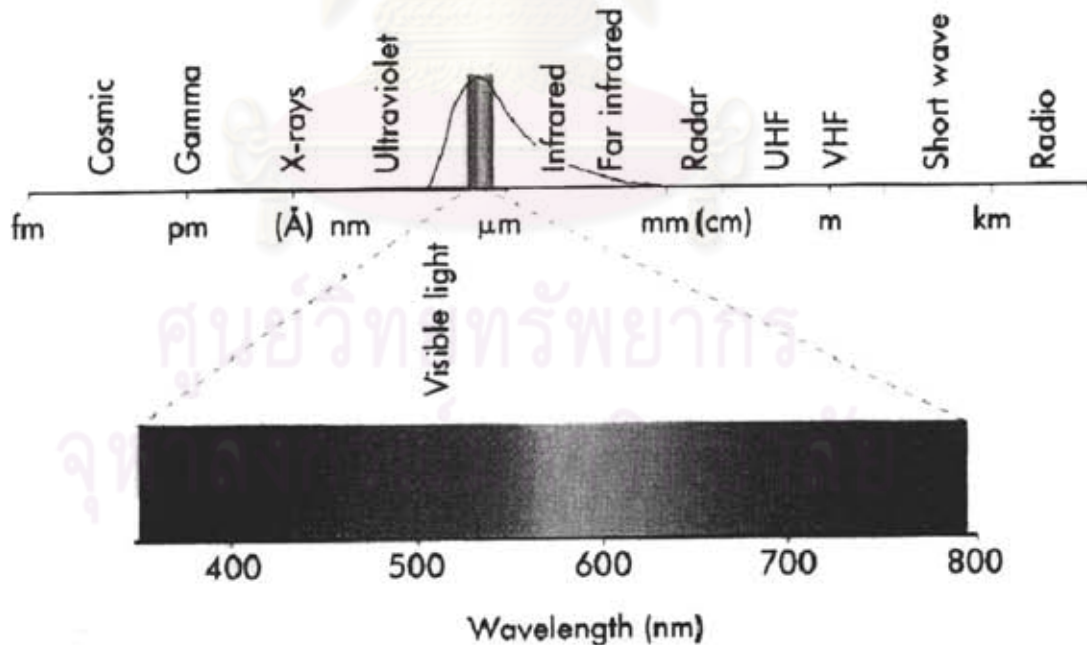
Average Solar Gain มีหน่วยเป็น Btu/h.ft<sup>2</sup> (SI unit = Watt/m<sup>2</sup>)

### 2.4.1 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับกระจกอนุรักษ์พลังงาน

#### 2.4.1.1 พฤติกรรมของแสงผ่านกระจก

การที่คนเราสามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ได้นั้น เนื่องจากคลื่นแสงที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์โดยคลื่นแสงดังกล่าวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ที่มีความถี่ของคลื่นสั้นมาก มีหน่วยวัดเป็นนาโนเมตร (Nanometre) ซึ่งคลื่นต่าง ๆ จะมีความยาวของคลื่นเรียงจากน้อยไปหามากคือ รังสีคอสมิก รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงที่คนเราสามารถมองเห็น รังสีอินฟราเรด ไมโครเวฟ คลื่นเรดาร์ คลื่นวิทยุโทรทัศน์ จนถึงคลื่นโทรทัศน์ที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์



ที่มา: <http://www.pilkington.com>



จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นการลำดับรังสีต่าง ๆ ซึ่งแสงที่ตามองเห็นจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380-780 นาโนเมตร แต่โดยทั่วไปแล้วมนุษย์สามารถตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 555 นาโนเมตรได้มากที่สุด ส่วนปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการมองเห็นประกอบด้วย ปริมาณแสง (Luminous Flux) ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) ความส่องสว่าง (Illuminous) และความสว่าง (Luminance) (วรวิมล ศิริวิรัช, 2550: 38-40) แสงที่เรามองเห็นนั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แสงขาว (White Light) ที่ประกอบด้วยสีต่าง ๆ รวมกันอยู่ในแสงขาว โดยเราสามารถมองเห็นสีแท้ที่รวมตัวกันอยู่ในแสงขาวได้หลายลักษณะ ดังนี้ (เปยานันต์ ประสารราชกิจ, 2521: 2-3)

1. คลื่นแสงถูกรบกวน (Interference) สีจะเกิดขึ้นเมื่อแสงส่องผ่านแผ่นโปร่งใสบาง ๆ เช่น น้ำมันหรือฟองสบู่ คลื่นแสงจะผ่านวัตถุนี้ไปไม่ได้ทั้งหมด จึงเกิดสีรุ้งขึ้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามความหนาบางของวัตถุ เช่น รุ้งบนเปลือกหอยมุก เป็นต้น

2. การหักเหของแสง (Refraction) เกิดจากการที่แสงส่องผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า เช่น กระจกหรือน้ำ แต่ละความยาวคลื่นของแสงจะหักเหแตกต่างกันไป ทำให้แสงขาวแตกออกเป็นสีต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การเกิดรุ้งกินน้ำ เป็นต้น

3. การเบี่ยงเบนของแสง (Diffraction) หมายถึง แสงจะแยกออกเป็นสี เมื่อมีสิ่งกีดขวางทางเดินของแสงแล้วปล่อยให้แสงลอดออกจากช่องที่เล็กมา ๆ หรือจากขอบที่คมมาก ๆ เช่น ให้แสงลอดผ่านเข้าทางรอยแตกของประตูไม้

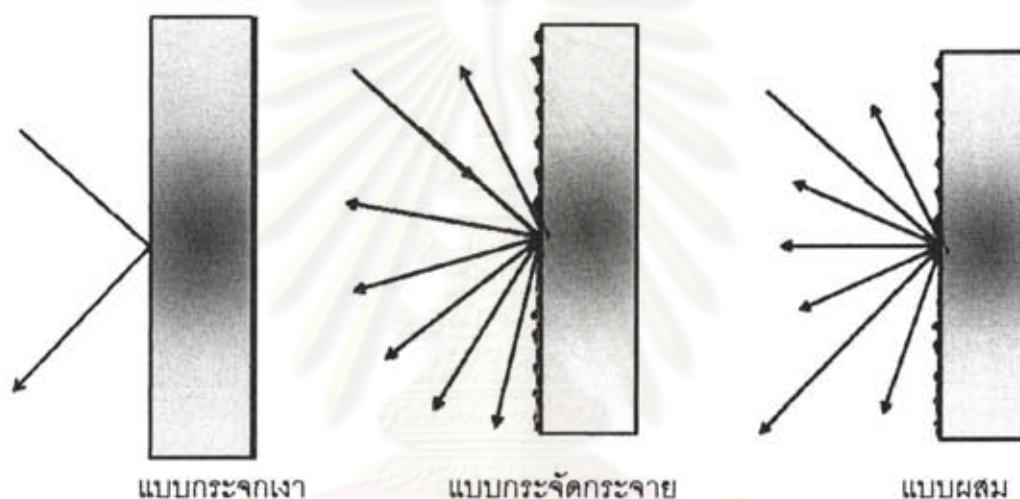
4. การดูดกลืนและการสะท้อนกลับ (Absorption and Reflection) เมื่อแสงตกกระทบผิวหน้าของวัตถุ คลื่นแสงบางตัวจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลที่ผิวหน้าของวัตถุนั้น ขณะที่คลื่นแสงส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดสะท้อนออกจากผิวหน้าของวัตถุ เช่น การเห็นสีแดงเกิดจากวัตถุดูดกลืนคลื่นแสงทั้งหมด ยกเว้นคลื่นแสงสีแดง ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นเป็นสีแดงขึ้น โดยสีต่าง ๆ ที่เราเห็นบนวัตถุที่เกิดขึ้นด้วยนี้ไม่ใช่สีบนตัววัตถุเอง แต่เกิดมาจากโครงสร้างโมเลกุลของวัตถุนั้น ๆ ยอมให้คลื่นแสงบางคลื่นดูดซึมเข้าสู่ผิวหน้าและสะท้อนคลื่นแสงที่เหลือออกมาอย่างดวงตาของเรา

เมื่อแสงตกกระทบกระจก จะส่งผลให้พฤติกรรมของแสงหรือแนวทางการเดินทางของแสงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถแบ่งพฤติกรรมของแสงออกเป็น 3 ประเภท (กิริณา ธรรมสุข, 2551: 16-17) ดังนี้

1. การสะท้อนของแสง (Light Reflection) หมายถึง การที่แสงตกกระทบผิวของกระจกแล้วสะท้อนแสงออกมาโดยที่ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการสะท้อนแสงแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะได้แก่ (1) การสะท้อนของแสงแบบกระจเง (Specular Reflection) เป็นการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อตกกระทบบนพื้นผิวของกระจกที่เรียบและแบน โดยแสงที่ตกกระทบจะมีการสะท้อนในลักษณะที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

แสงเช่น กระจกเงาทึบแสง (2) การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) การสะท้อนแสงแบบนี้เกิดขึ้นในกรณีที่แสงตกกระทบบนกระจกที่มีพื้นผิวไม่ราบเรียบ หรือผิวด้าน ทำให้แสงที่สะท้อนออกมากระจายไปทุกทิศทาง มุมสะท้อนแสงและมุมตกกระทบบจะไม่เท่ากัน โดยหากกระจกมีผิวไม่ราบเรียบเสมอกันทั่วแผ่น จะทำให้แสงที่สะท้อนออกมาจะมีการกระจายแสงอย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) ในทางกลับกัน หากผิวกระจกนั้นไม่ราบเรียบอย่างสม่ำเสมอ แสงจะสะท้อนออกมาอย่างกระจัดกระจายไม่เสมอกัน ซึ่งเรียกว่า (3) การสะท้อนแบบผสม (Spread Reflection) เป็นลักษณะการสะท้อนแสงที่ผสมผสานกันระหว่างทางแบบกระจกเงาและการสะท้อนแสงแบบกระจาย โดยเป็นการสะท้อนแสงที่พบมากที่สุด (Button & Pye, 1993: 45-46) ดังแสดงในภาพ 2.2-2.3

ภาพที่ 2.2 แสดงการสะท้อนแสงแบบต่างๆ



ที่มา: Button and Pye (1993: 45-46)

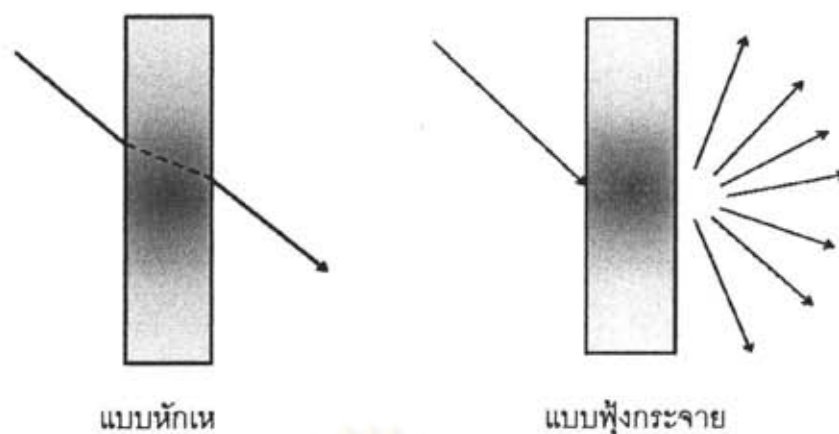
ในการพิจารณาค่าคุณสมบัติกระจกจะพบว่า มีทั้งค่าสะท้อนแสงภายนอก (Visible Light Reflection Out) และค่าสะท้อนแสงภายใน (Visible Light Reflection In) กระจกที่มีค่าการสะท้อนแสงภายนอกมากจะทำให้ปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาในอาคารลดลง ทำให้อาคารต้องใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์เพิ่มขึ้น อีกทั้งถ้าค่าสะท้อนแสงนั้นมากเกินไปจะรบกวนบุคคลภายนอกอาคารได้ ซึ่งตามกฎหมายกำหนดค่าสะท้อนแสงภายนอกได้ไม่เกินร้อยละ 30 นอกจากนี้ หากมีค่าการสะท้อนแสงภายในมากจะทำให้ผู้ใช้อาคารในตอนกลางวันมองเห็นเงาของตัวเองสะท้อนในกระจก และไม่สามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอกได้ชัดเจน เช่น กระจกสะท้อนแสงที่มีสีทึบ

2. การดูดกลืนของแสง (Light Absorption) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนเข้าไปในเนื้อกระจกที่แสงตกกระทบ โดยปริมาณการดูดกลืนของแสงขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดกลืนของกระจกที่เป็นตัวกลางซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสีและประเภทของกระจก เช่น กระจกสีชาดำจะมีการดูดกลืนแสงมากทำให้แสงธรรมชาติส่องผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อย จึงทำให้ภายในอาคารมืดสลัว นอกจากนั้น แสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปจะถูกเปลี่ยนรูปจากพลังงานแสง (Light) ไปเป็นพลังงานความร้อน (Heat) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร

3. การส่องผ่านของแสง (Light Transmission) หมายถึง การที่แสงตกกระทบกระจกแล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของกระจกได้ โดยเมื่อแสงตกกระทบกระจก แสงส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกระจก ในขณะที่แสงอีกส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านออกมา ดังนั้นปริมาณแสงทั้งหมด จึงหมายถึงผลรวมของปริมาณแสงสะท้อน ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน และปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่านนั่นเอง การส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ (1) กระจกโปร่งใส (Transparent Medium) เช่น กระจกใสและกระจกสีต่าง ๆ เมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเหและการเปลี่ยนทิศทางของแสง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีและคุณสมบัติของกระจกนั้น ๆ และแสงจะทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 2.11 และ (2) กระจกโปร่งแสง (Translucent Medium) เช่น กระจกฝ้า กระจกพันทราย กระจกเคลือบสีเซรามิกโปร่งแสง เป็นต้น การส่องผ่านของแสงที่ผ่านตัวกลางประเภทนี้จะมีลักษณะกระจายและไม่สามารถมองเห็นแสงแหล่งกำเนิดที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน (บุรพล แจ้งสว่าง, 2548: 19-20) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ จะพบว่ามีความส่องผ่าน (Visible Light Transmission) ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการควบคุมแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานอาคาร เช่น ห้องสมุดที่ต้องการใช้แสงสว่างธรรมชาติมาก ๆ จะเลือกใช้กระจกที่มีค่าส่องผ่านสูง ในขณะที่อาคารสำนักงานที่ใช้งานตอนกลางวันและต้องการความเป็นส่วนตัวโดยมิให้บุคคลภายนอกมองเห็นเข้ามาในอาคารได้ชัดอาจเลือกใช้กระจกสะท้อนแสงที่มีค่าส่องผ่านต่ำกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพ 2.3 แสดงการส่องแสงผ่านกระจก



ที่มา: Button and Pye (1993: 46)

แนวคิดในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้นนอกจากจะคำนึงถึงพฤติกรรมของแสงที่กระทำต่อกระจกแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบช่องแสงเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ลง เมื่อกล่าวถึงแสงสว่างธรรมชาติจะหมายถึงแสงสว่างในเวลากลางวัน ซึ่งมีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติจึงขึ้นอยู่กับการโคจรขึ้นลงของดวงอาทิตย์ และการโคจรนี้มีผลกระทบกับการเห็นสีต่าง ๆ ของเรา แสงธรรมชาติจะแปรเปลี่ยนตามเวลาและฤดูกาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโลกที่โคจรไปรอบ ๆ ดวงอาทิตย์ ในแต่ละวันก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นจะมีแสงเรือง ๆ บนท้องฟ้า สีที่เห็นจะได้ชัดเจนเนื่องจากมีปริมาณแสงน้อยมาก จะปรากฏเป็นเพียงโทนสีเย็นทึม ๆ คล้ายสีเทา เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นสีจะค่อย ๆ อุ่นขึ้นและปรากฏเป็นแสงขาว (White Light) แสงขาวนี้เป็นแสงที่จะเห็นสีได้ชัดเจนที่สุดในตอนเที่ยงวัน ในช่วงบ่ายแสงจะยังคงอุ่นขึ้นเรื่อย ๆ และจะออกเป็นสีแดงเร็วเมื่อเวลาดวงอาทิตย์ใกล้ตกดิน นอกจากนี้ สภาพที่เปลี่ยนแปลงอากาศจะเป็นตัวแปรทำให้สีของแสงธรรมชาติเปลี่ยนไปได้ เช่น ปริมาณเมฆบนท้องฟ้าจะกรองคลื่นแสงสีแดง แสด และเหลือง ทำให้สีต่าง ๆ ปรากฏหม่นลง ในการวางมาตรฐานสีจะใช้สีที่ปรากฏภายใต้สภาพแสงที่แรงที่สุดขณะเที่ยงวัน สาเหตุที่ยึดสีภายใต้แสงนี้เป็นมาตรฐานก็เพราะถือเป็นสภาพแสงที่แจ่มชัด การพิจารณาความถูกต้องของสี (Color Rendering) วัตถุต่าง ๆ ด้วยวิธีง่าย ๆ เทียบได้จากแสงเที่ยงวัน แม้ว่าการเทียบสี 2 สีให้เท่ากันอย่างถูกต้องจะทำได้ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) ก็ตาม เช่นเดียวกับวิธีการเทียบสีกระจกที่จะต้องมองสีกระจกผ่านแสงธรรมชาติ จึงจะเห็นสีกระจกอันใกล้เคียงกับกระจกผนังที่จะใช้งานจริงมากที่สุด

แสงธรรมชาติมีผลกระทบต่อสีภายในเช่นเดียวกับภายนอกอาคาร องค์ประกอบต่าง ๆ ในงานตกแต่งภายใน ไม่ว่าจะเป็นพื้น ผนัง เครื่องเรือน ล้วนได้รับอิทธิพลจาก

แสงที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ห้องที่หน้าต่างหรือช่องแสงหันไปทางทิศตะวันออกจะได้รับแสงแดด ในช่วงเช้า ห้องที่หันไปทางทิศตะวันตกจะได้แสงที่ร้อนแรงของแดดบ่ายไปจนถึงเย็น แสงเหนือเป็นแสงสว่าง ที่ไม่ได้รับแดดเข้าภายในอาคารโดยตรง จึงเป็นแสงที่รวมคลื่นแสงทุกสีไว้ ห้องที่ได้รับแสงทางทิศเหนือจึงสามารถเห็นสีได้ถูกต้องชัดเจน อีกทั้งการเปิดช่องให้แสงเข้าทางด้านบน (Skylights) แสงจะกระจายไปทั่วห้องช่วยสร้างสมดุลแสงจากทุกทิศทางได้ดี

อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาใช้แสงธรรมชาติในอาคาร จะต้องให้ความสำคัญกับสภาวะน่าสบายด้วย โดยภาวะสบายเนื่องจากการมองเห็นและแสงสว่าง (Visual and Lighting Comfort) หมายถึง การที่ภายในอาคารมีแสงสว่างเพียงพอ และแสงไม่บาดตาเกินไป ความบาดตา (Glare) ของแสงเกิดจากความแตกต่างระหว่างแสงภายนอกกับแสงภายในมีมากเกินไป หรืออาจเกิดจากแสงที่มากเกินไป ถึงแม้ว่าคนเราจะสามารถปรับสายตาให้เหมาะสมกับความสว่างที่มากเกินไปในที่แจ้งได้ แต่หากความสว่างบริเวณที่สว่างที่สุดกับบริเวณที่มีมืดที่สุดมีความแตกต่างกันมากเกินไป บริเวณที่มีแสงสว่างมากเกินไปอาจก่อให้เกิดสภาวะไม่น่าสบาย ในขณะที่บริเวณที่มีมืดที่สุดอาจทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้เลย ซึ่งหากมีความแตกต่างกันมากกว่า 10:1 อาจก่อให้เกิดแสงบาดตาได้ (Button & Pye, 1993: 98)

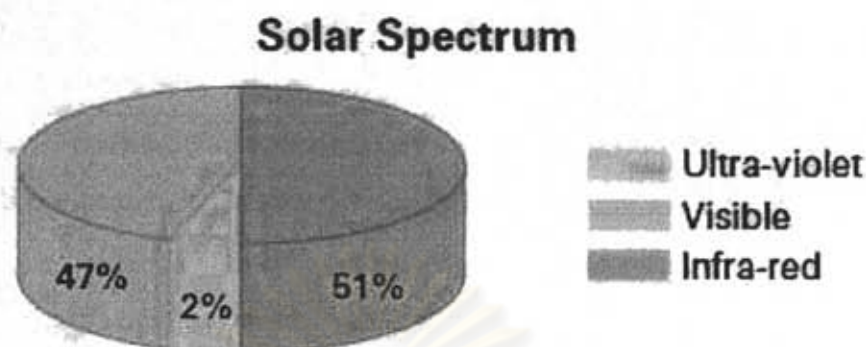
หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระจกและสภาวะน่าสบาย พบว่ากระจกมีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย เนื่องจากการได้รับความร้อน (Heat Gain) และการสูญเสียความร้อน (Heat Loss) ผ่านกระจกสามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิภายในห้องได้ นอกจากนี้ยังมีการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีระหว่างกระจกและผู้ที่อยู่ภายในอาคาร ยกตัวอย่างเช่น คนที่ทำงานติดกับหน้าต่างกระจก อุณหภูมิของผิวกระจกด้านที่อยู่ภายในอาคารจะมีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายอันเป็นผลมาจากการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างคนกับหน้าต่าง ดังนั้น สภาวะน่าสบายนี้จะขึ้นอยู่กับความใกล้หน้าต่าง ตลอดจนขนาดของหน้าต่าง และอุณหภูมิผิวของกระจก (Button & Pye, 1993: 123)

#### 2.4.1.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

แสงอาทิตย์หรือแสงแดด คือ แสงที่มีแหล่งกำเนิดจากดวงอาทิตย์และเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมายังผิวโลก พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ คือ (1) รังสีอุลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet หรือ UV) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 280-380 นาโนเมตร โดยทั่วไปแล้วจะมีปริมาณร้อยละ 2 ของรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังโลก (2) แสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 380-780 นาโนเมตร ประกอบด้วยสีที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้แก่ สีแดง ส้ม เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม และ ม่วง โดยความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้หรือแสงธรรมชาติมีปริมาณร้อยละ 47 ของพลังงานของรังสีอาทิตย์ และ (3) รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มี

ความถี่ระหว่าง 780-2,500 นาโนเมตร มีอัตราส่วนร้อยละ 51 ของรังสีอาทิตย์ (<http://www.gjames.com.au>, 2010: 18) ดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 องค์ประกอบของพลังงานจากสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์

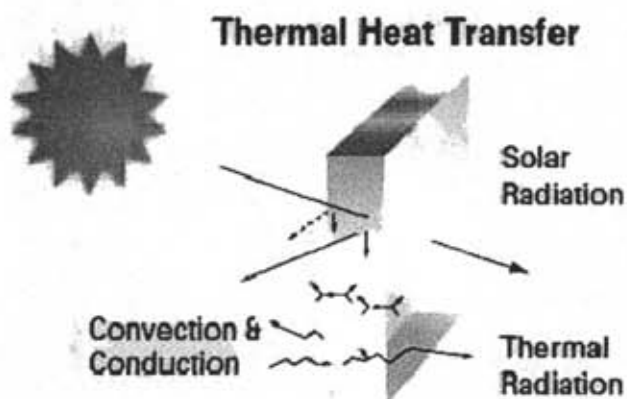


ที่มา: <http://www.gjames.com.au> (2010: 18)

จึงกล่าวได้ว่าแสงธรรมชาติและรังสีอินฟราเรดนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพลังงานแสงอาทิตย์และเป็นปัจจัยที่ควรพิจารณาเมื่อจะเลือกกระจกที่ใช้เป็นผนังอาคาร และถึงแม้ว่ารังสี UV จะมีปริมาณน้อยกว่าแสงธรรมชาติ และรังสีอินฟราเรด แต่ก็สามารถทำให้วัสดุตกแต่งภายในอาคารที่ทำจากผ้าและพลาสติกซีดจางและเสื่อมคุณภาพในระยะยาวได้ การเคลือบสารสะท้อนแสง (Solar Reflective Coating) และสารแผ่รังสีต่ำ (Low-Emissivity Coating) บนผิวกระจกเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ผ่านกระจกได้ อีกทั้งการใช้ฟิล์ม PVB กันระหว่างกระจกลามิเนตนั้นจะช่วยลดรังสี UV ที่ผ่านเข้ามาในอาคารเช่นกัน

เมื่อผนังกระจกได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ จะเกิดการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นตัวผลักดัน และความร้อนนั้นจะถ่ายเทจากที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งอุณหภูมิทั้ง 2 ที่เท่ากัน กระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารที่เป็นกระจกอาศัยการเดินทางของความร้อนผ่านกระจกในลักษณะต่าง ๆ กันได้ 3 รูปแบบ ดังภาพที่ 2.5

## ภาพที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก



ที่มา: <http://www.gjames.com.au> (2010: 10)

1) การนำความร้อน (Thermal Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลของสาร 2 ชนิด ที่อยู่ติดกัน มีการชนกัน และแลกเปลี่ยนพลังงานซึ่งกันและกัน การนำความร้อนเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่ร้อนกว่าหรือมีพลังงานมากกว่าเกิดการสั่นสะเทือนแล้วถ่ายเทพลังงานของมันไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่าหรือมีพลังงานน้อยกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่าโมเลกุลที่มีพลังงานมากกว่าจะสูญเสียพลังงานให้แก่โมเลกุลที่มีพลังงานน้อยกว่าโดยที่ตัวกลางของมันไม่มีการเคลื่อนที่ (อรรถจัน เศรษฐบุตร, 2552: 5; More, 1993) กล่าวไว้ว่า ความสามารถในการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้คือ (1) ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววัตถุที่มีความหนาแน่นสูงและมีโพรงอากาศน้อย จะนำความร้อนได้มาก (2) ความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยหากอุณหภูมิของวัตถุแต่ละด้านแตกต่างกันมาก จะเกิดการนำความร้อนได้มาก (3) ความหนาของวัตถุ ซึ่งวัตถุที่มีความหนาน้อย จะเกิดการนำความร้อนได้มาก (4) พื้นที่เปิดการที่อาคารมีพื้นที่เปิดต่อความแตกต่างของอุณหภูมิมาก ย่อมทำให้เกิดการนำความร้อนมาก และ (5) ระยะเวลาในการสัมผัสความร้อน โดยหากวัตถุมีการสัมผัสความร้อนเป็นระยะเวลาช้านานก็จะเกิดการนำความร้อนได้มาก ดังนั้น โลหะจึงเป็นวัตถุที่นำความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาคือ คอนกรีต และอิฐตามลำดับ (พุทธิพันธ์ สวัสดิ์รัตนาร, 2550: 15) อาจกล่าวได้ว่าการที่เราใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อน (R Value) สูง หรือวัสดุที่มีค่าการส่งผ่านความร้อน (U Value) ต่ำ จะช่วยลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้ โดยหากอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารแตกต่างกันมาก จะมีการนำความร้อนเข้าไปภายในอาคารได้มาก ในทางกลับกัน หากอุณหภูมิดังกล่าวมีความแตกต่างกันน้อย ก็จะสามารถนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อย (พุทธิพันธ์ สวัสดิ์รัตนาร, 2550: 17) ในการพิจารณาค่าการนำความร้อนของผนังกระจกนั้นจะต้องพิจารณาค่า U ของกระจกเป็นสำคัญ ซึ่งค่า U นี้สามารถขอได้ที่ผู้ผลิตกระจก ค่า U นี้อาจเกิดจากการ

คำนวณโดยใช้โปรแกรมจำลอง (Simulation Software) หรือเกิดจากการสแกนค่ากระจกจริงจากผู้ผลิต ในการคำนวณหาค่าการนำความร้อนผ่านผนังกระจกจะต้องพิจารณาพื้นที่ของกระจกและความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารร่วมกับค่า  $U$  ของกระจก)

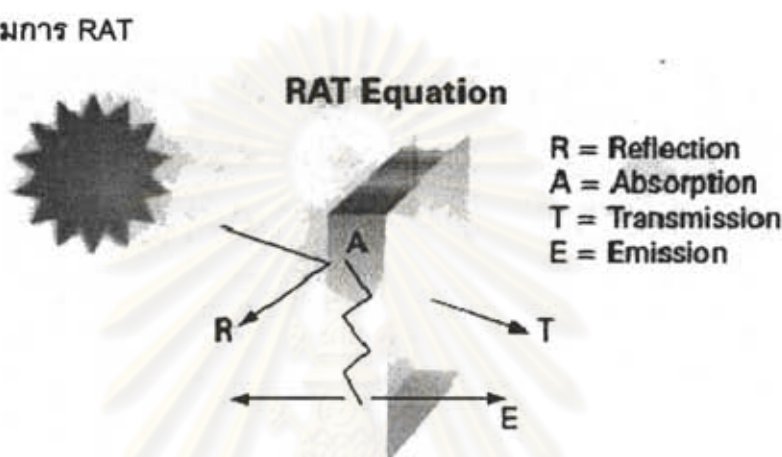
2) การพาความร้อน (Thermal Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวกลางที่เป็นของไหล ซึ่งได้แก่ ก๊าซ หรือของเหลว ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปจากผิวของวัสดุ ซึ่งถ้าวัสดุอุณหภูมิสูงกว่าของไหลที่พัดผ่าน ความร้อนจากวัตถุก็จะถูกพาไป แต่ถ้าของไหลมีอุณหภูมิสูงกว่าวัตถุ จะเกิดการพาความร้อนจากของไหลไปสู่ผิวของวัตถุ การพาความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ (1) การพาความร้อนแบบอิสระโดยธรรมชาติ (Free or Natural Convection) ซึ่งอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของไหลจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและ (2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) โดยใช้แรงภายนอกมาบังคับการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่างกัน สำหรับกรณีที่มีความเร็วมากกว่า 4-5 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะถือว่าเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ (อรรถน์ เศรษฐบุตร, 2552) การเจาะช่องเปิดอาคารแสดงถึงมีการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ดังนั้นหากต้องการให้มีการระบายอากาศภายในอาคารเพื่อป้องกันการนำความร้อนที่เกินความต้องการเข้าสู่อาคาร จำเป็นต้องปรับสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคารให้มีอุณหภูมิต่ำลงก่อน ในทางกลับกัน อาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศจะต้องลดพื้นที่ผิวที่มีความแตกต่างของความกดอากาศสูงให้มีค่าน้อยลง เพื่อลดโอกาสการรั่วซึมของอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอากาศชื้นเข้าสู่อาคาร (พุทธิพันธ์ สวัสดิ์รัตนาร, 2550: 14)

3) การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) เป็นการเดินทางโดยตรงของพลังงานผ่านที่ว่างที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง การที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ทำให้การแผ่รังสีเกิดขึ้นได้แม้ต้องผ่านสุญญากาศ พลังงานรังสีสามารถเดินทางด้วยความเร็วเท่าความเร็วแสง และเดินทางจากแหล่งที่ร้อนกว่าในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electronic Wave) ไปสู่ด้านที่เย็นกว่าในทุกทิศทางและทำให้อุณหภูมิของตัวกลางนั้นเพิ่มสูงขึ้น ตัวอย่างการแผ่รังสีความร้อนที่สำคัญคือ การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก ซึ่งมีการถ่ายเทปริมาณความร้อนมาที่ผิวโลกคิดเป็นร้อยละ 68.2 ส่วนปริมาณความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่เหลืออีกร้อยละ 31.8 จะถูกสะท้อนกลับไปในลักษณะคลื่นสั้นสู่ชั้นบรรยากาศโลก (อรรถน์ เศรษฐบุตร, 2552) การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีของวัสดุจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 4 ประการคือ (1) ความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน (Absorptivity) (2) ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity) (3) ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) และ (4) ความสามารถในการส่งผ่านรังสีความร้อน (Transmissivity) (กิรณา ธรรมสุข, 2551: 10)



เช่นเดียวกัน การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีของกระจกนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อแสงอาทิตย์มากกระทบที่ผิวกระจกและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) นี้จะถูกสะท้อนออกมาสู่อากาศ (Solar Reflectance) บางส่วนถูกดูดกลืนในเนื้อกระจก (Solar Absorption) บางส่วนถูกดูดกลืนในเนื้อกระจกก่อนแล้วค่อยแผ่รังสีความร้อนออกมาสู่ทั้งภายนอกและภายในอาคาร (Solar Emissivity) และสุดท้ายคือส่วนที่พลังงานแสงอาทิตย์สามารถทะลุผ่านกระจกเข้ามาในอาคาร (Solar Transmittance) เมื่อรวมพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดจะได้สมการ RAT ดังแสดงในภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6 สมการ RAT



ที่มา: <http://www.gjames.com.au> (2010: 18)

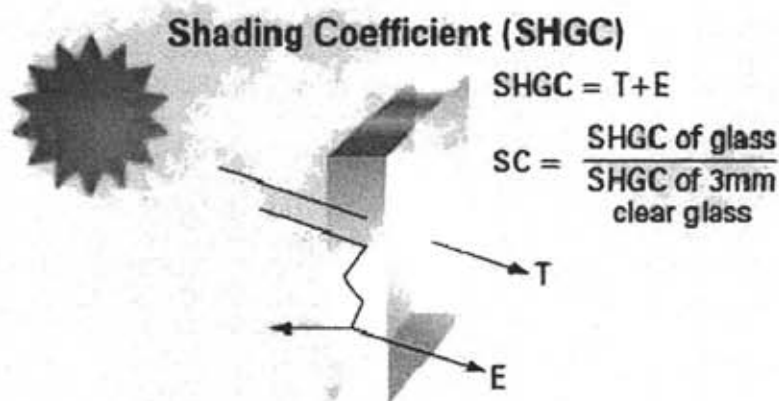
#### 2.4.1.3 คุณสมบัติของกระจกอนุรักษ์พลังงาน

ในการคำนวณค่าถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารด้านข้าง (OTTV) จะพิจารณาทั้งผนังทึบและผนังกระจก แต่การพิจารณาผนังกระจกนั้น จะต้องให้ความสำคัญกับค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของกระจก โดยเฉพาะค่าที่มีผลกระทบต่อ OTTV อันมีอยู่ 2 ปัจจัยหลักได้แก่

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient หรือ SHGC) หมายถึง อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนที่โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร ดังแสดงในรูปที่

2.7

ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SC และค่า SHGC



ที่มา: <http://www.gjames.com.au> (2010: 18)

2) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (Overall Coefficient of Heat Transmission หรือ U Value) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดของวัสดุ และฟิล์มอากาศ ค่า U เป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total Thermal Resistance) มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )

3) สารเคลือบกระจก การเคลือบสารบนผิวกระจกมีวัตถุประสงค์เพื่อให้กระจกสามารถสะท้อนแสงและคลื่นความร้อนบางส่วน of แสงแดดได้ดี ในขณะที่สีและความใสของกระจกจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคลือบนั้น ๆ เราสามารถแยกประเภทของกระจกที่มีสารเคลือบออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ (1) กระจกสะท้อนแสงหรือกระจกสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Reflective Glass) คือ การนำเอากระจกธรรมดาเคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ที่มีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ส่งผลให้มีค่าแสงส่องผ่าน (VT) ค่อนข้างน้อย ทำให้คนภายนอกอาคารมองเห็นในอาคารได้ลำบาก ในขณะที่คนที่อยู่ภายในอาคารสามารถมองออกไปภายนอกอาคารได้ดีกว่า จึงสร้างความเป็นส่วนตัวให้กับผู้ใช้งานในอาคารโดยเฉพาะในเวลากลางวัน กระจกสะท้อนแสงยังช่วยลดแสงจ้าที่เข้ามาสู่อาคารให้นุ่มนวลลงและยังสามารถลดความร้อนจากแสงแดดได้มาก จึงทำให้เป็นกระจกที่สามารถประหยัดพลังงานในอาคารได้ดี อย่างไรก็ตาม การใช้กระจกสะท้อนแสงอาจไม่เหมาะกับอาคารที่ต้องการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร และไม่ควรใช้กระจกประเภทนี้ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิภายนอกและภายในแตกต่างกันเกินไป เพราะจะทำให้กระจกแตกง่ายได้ง่าย (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2547: 2-28) (2) กระจกแผ่นรังสีต่ำ (Low-E Glass) จะใช้สารเคลือบที่แตกต่างจากการกระจกสะท้อนแสงโดยมีส่วนผสมของโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาในอาคารมากกว่ากระจกสะท้อนแสงโดยทั่วไป กระจก Low-E จะลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้น้อยกว่ากระจกสะท้อนแสง (มีค่า SHGC สูงกว่า) จึงประหยัดพลังงานได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม กระจก Low-E มีความทนทานต่อ

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารได้ดีกว่า จึงมีคุณสมบัติในการเก็บรักษาอุณหภูมิภายในอาคารได้ดี จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในอาคารที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้คงที่ กระจก Low-E นั้นยอมให้แสงธรรมชาติส่องผ่านเข้าภายในอาคารได้มาก ในขณะที่ช่วยลดความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้ดี ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ได้ถึงร้อยละ 75 ดังนั้น จึงส่งผลให้ค่า U ลดลงด้วย (Button & Pye, 1993: 132-133) กระจก Low-E มีทั้งประเภท Hard Coat Low-E ซึ่งเป็นการเคลือบโลหะลงบนผิวของกระจก ในขณะที่กระจกกำลังอ่อนตัว เพื่อทำให้สารเคลือบหลอมเป็นเนื้อเดียวกับผิวของกระจก และแบบ Soft Coat Low-E ที่เกิดจากการนำกระจกธรรมดาไปเคลือบสารโลหะทับบนผิวกระจกที่แข็งตัวแล้ว

## 2.5 การศึกษาและวิเคราะห์ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบแผงบังแดด

ช่องเปิดถือเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบสถาปัตยกรรม ซึ่งเหตุผลในการเปิดช่องเปิดนี้อาจเพื่อประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เช่น เพื่อการมองเห็นภายนอกอาคาร เพื่อการรับลมและเพื่อการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคาร และจากการเปิดช่องเปิดนี้เองที่ทำให้แสงแดดเข้ามาสู่ตัวอาคาร ซึ่งทำให้เกิดความร้อนจากแสงแดดโดยตรง กับภายในอาคาร

ขนาดและทิศทางของช่องเปิดถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการรับรังสีจากดวงอาทิตย์ และการถ่ายเทความร้อนที่ตามมา ช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่ต้องการการควบคุมมากกว่าและสิ่งสำคัญคือการเลือกชนิดของกระจกและประสิทธิภาพของแผงบังแดดเพื่อป้องกันรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์จะเกิดผลดีต่ออิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนของช่องเปิดนั้น ๆ ทิศทางของช่องเปิดนั้นก็มีส่วนสำคัญต่อรังสีจากดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิดนั้นด้วย เพราะลักษณะของการโคจรของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่ตั้ง และทิศทางต่าง ๆ มีความต่างกัน ดังนั้นการเลือกช่องเปิดในทิศทางที่มีค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มีปริมาณมาก เช่น ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ก็จะทำให้ช่องเปิดนั้นรับรังสีจากดวงอาทิตย์มากกว่าช่องเปิดทางด้านอื่น ๆ ดังนั้นผู้ใช้อาคารควรหลีกเลี่ยงช่องเปิดขนาดใหญ่และช่องเปิดในทิศทางที่มีค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มีปริมาณมาก แต่หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ก็ควรมีการออกแบบให้ช่องเปิดนั้นได้รับร่มเงา โดยอาจจะใช้แผงบังแดดที่มีประสิทธิภาพในการกันแดดเป็นอย่างดีเข้ามาช่วย

การออกแบบแผงบังแดดให้กับตัวอาคารนั้น เราควรจะคำนึงถึงหลาย ๆ ส่วนด้วยกัน เนื่องจากแผงบังแดดนั้นไม่ได้มีประโยชน์ในหน้าที่ใช้สอยเพียงอย่างเดียว แต่แผงบังแดดยังมีผลต่อหน้าตาอาคารอีกด้วย ฉะนั้นเมื่อเราจะทำการออกแบบแผงบังแดดจึงควรมีการศึกษารายละเอียดถึงคุณประโยชน์ของแผงบังแดดแต่ละชนิด รวมทั้งควรมีการสำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้สอย

อาคารต่อแผงบังแดด เพื่อนำผลที่ได้มาออกแบบหรือนำมาปรับปรุงแผงบังแดดเพื่อความเหมาะสมและส่งผลให้เกิดประโยชน์สูงสุด

โดยปกตินั้นการออกแบบแผงบังแดดแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ การออกแบบภายนอกอาคารและการออกแบบภายในอาคาร การออกแบบแผงบังแดดภายนอกอาคารมีผลดีอย่างมาก เพราะตัวชิ้นส่วน ที่ใช้ในการบังแดดนั้นจะต้องร้อนขึ้นและแผ่รังสีออกมา ซึ่งถ้าหากว่าแผงบังแดดนั้นอยู่ภายในอาคารแล้วตัวแผงบังแดดเองจะคลายความร้อนเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศภายในอาคารขึ้นอีก ในกรณีที่แผงบังแดดอยู่ภายนอกอาคารนอกจากการแผ่รังสีจากตัวแผงบังแดดเองจะเข้ามาไม่ถึงแล้ว ยังสามารถให้ลมพัดพากระจายความร้อนจากที่แผงบังแดดภายนอกได้อีกด้วย (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 56)

ช่องเปิดที่มีแผงบังแดดนั้น เราสามารถแบ่งชนิดของแผงบังแดดออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามลักษณะการทำงานแผงบังแดดได้ ดังนี้คือ (ปิยชาติ แก้วแดง และคณะ อ้างถึงใน Watson, 1993:161)

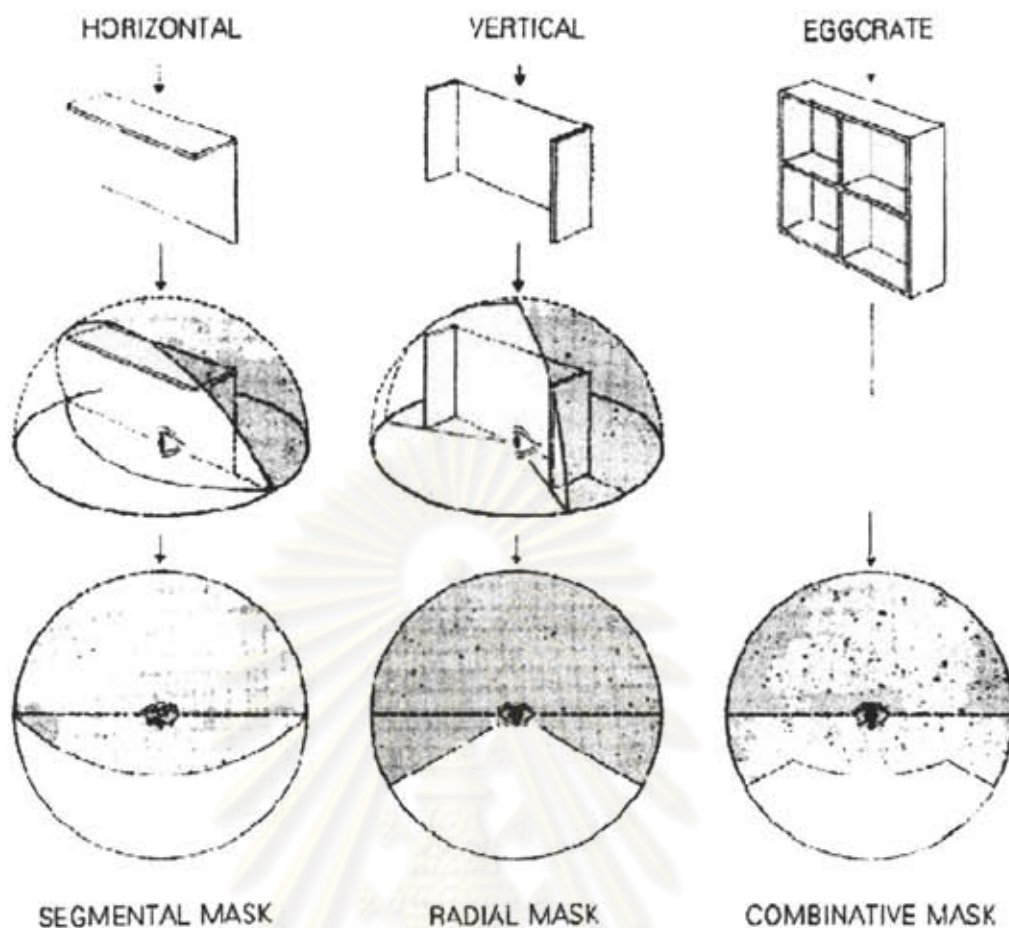
- แผงบังแดดที่สามารถปรับทิศทางได้ (Adjustable Shading Device)
- แผงบังแดดที่สามารถปรับทิศทางได้อัตโนมัติ (Movable Shading Device)
- แผงบังแดดที่กำหนดทิศทางและการจัดวางไว้อย่างตายตัว (Fixed Shading Device)

ซึ่งในแต่ละชนิดของแผงบังแดดนั้น เราก็สามารถที่จะแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้อีกตามทิศทางและรูปร่างของแผงบังแดดและการวางตัวของแผงบังแดด ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบได้ ดังนี้คือ (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 73)

1. แผงบังแดดแนวตั้ง (Vertical louvers)
2. แผงบังแดดแนวนอน (Horizontal overhangs)
3. แผงบังแดดแบบตาราง (Egg crate types)

โดยที่แผงบังแดดแต่ละแบบต่างก็สร้างร่มเงาให้กับตัวอาคาร ในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปโดยสามารถอธิบายได้ในรูปแบบเครื่องหมายเงา (Shading mask) โดยแผงบังแดดแนวตั้งจะให้เครื่องหมายเงารูปร่างเป็นส่วนของวงกลมเป็นเส้นรัศมี (Radial mask) แผงบังแดดแนวนอนจะให้เครื่องหมายเงาเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Segmental mask) ของวงกลม และแผงบังแดดผสมจะให้เครื่องหมายเงาจากมุมเงาทางตั้งและทางนอนรวมกัน

ภาพที่ 2.8 แสดงลักษณะของเงาของแผงบังแดดแบบต่าง ๆ



ที่มา: Olgyay (1992: 87)

### 2.5.1 การออกแบบขนาดและตำแหน่งของแผงบังแดด

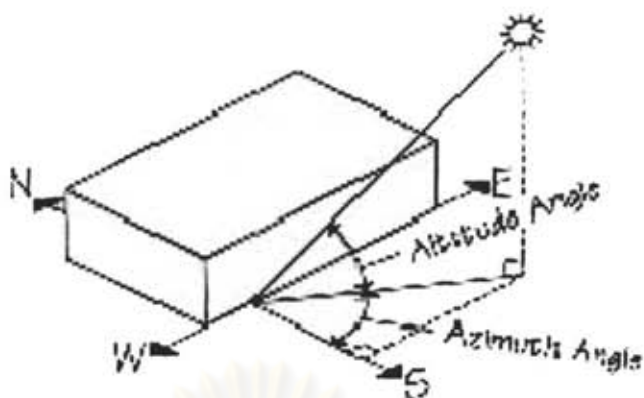
ในการออกแบบแผงบังแดดนั้นเราจำเป็นต้องทำความเข้าใจกับ มุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งมุมต่าง ๆ เหล่านี้ จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบแผงบังแดด โดยมุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีดังนี้คือ

- มุมไต่ (Angle of Declination) คือ มุมที่เกิดขึ้นเนื่องจากดวงอาทิตย์ทำมุมกับเส้นศูนย์สูตร (หรือ ระนาบของเส้นศูนย์สูตร)

- มุมกระทำ (Altitude Angle) คือ มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำจริงทางแนวตั้งกับระนาบขอบฟ้า (อ่านค่าได้ด้วยมุมตัด (Profile Angle) กับมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle)

- มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) คือ มุมตามแนวระดับที่ดวงอาทิตย์กระทำกับทิศใต้ ซึ่งในตอนเช้าจะหมุนไปทางตะวันออก และตอนบ่ายจะหมุนไปทางทิศตะวันตก Azimuth ในซีกโลกภาคเหนือ เช่น ประเทศไทย คือมุมที่ดวงอาทิตย์หมุนตามแนวระดับเบี่ยงทิศใต้ ส่วน Azimuth ในซีกโลกภาคใต้ คือมุมที่ดวงอาทิตย์หมุนตามแนวระดับเบี่ยงกับทิศเหนือ

ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะของมุมกระทำ และมุมเบี่ยง



ที่มา: Olgyay (1992: 87)

- มุมตัด (Profile Angle) คือ มุมที่ระดับของดวงอาทิตย์กระทำในระนาบที่ตั้งฉากกับผนัง หรืออาคาร ค่าของมุมตัด (Profile Angle) จะแตกต่างไปจากค่าของมุมกระทำ (Altitude Angle) และในการออกแบบ ค่ามุมตัด มีความสำคัญมากกว่า มุมกระทำ เพราะนำไปพล็อตหาค่าความลึกของที่บังแดดแน่นอนได้

โดยค่าของมุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแผงบังแดดข้างต้นนั้น สามารถหาได้จากสมการ ต่าง ๆ ดังนี้

สมการของ มุมไต่ (Angle of Declination) อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$\delta = 0.4093 \sin (2 \pi ( J - 81 ) / 368)$$

เมื่อ

$\delta$  คือ มุมไต่ (Angle of Declination) ของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน

$J$  คือ วันที่ ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี (Julian date) โดยไม่สนใจเดือนต่าง ๆ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ วันที่ 1 จนถึงวันที่ 365 ของปี

สมการของ มุมกระทำ (Altitude Angle) อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$a = \arcsin ( (\sin l) (\sin \delta) - (\cos l) (\cos \delta) (\cos (\pi / 12)) )$$

เมื่อ

$a$ , คือ มุมกระทำ (Altitude Angle) ของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน

$l$  คือ ตำแหน่งละติจูด หน่วยเรเดียน

$\delta$  คือ มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์

$t$  คือ เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง

มุมของ มุมกระทำ (Altitude Angle) จะมีค่าของมุมอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง  $\pi/2$  ถ้าทิศทางของดวงอาทิตย์อยู่ต่ำกว่าแนวระดับหรือเกินกว่า  $\pi/2$  จะให้ค่าเป็นลบ สมการของมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$a_s = \arctan \left( \frac{-[\cos \delta \sin (\pi t/12)]}{-[\cos l \sin + (\sin l) (\cos \delta) (\cos (\pi t/12))] } \right)$$

เมื่อ

- $a_s$  คือ มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) ดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน
- $l$  คือ ตำแหน่งของมุมละติจูด หน่วยเรเดียน
- $\delta$  คือ มุมไถ่ (Angle of Declination) ของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน
- $t$  คือ เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง

มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) จะเริ่มจากศูนย์องศา ในแนวของทิศใต้ และหมุนตามเข็มนาฬิกา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือ เป็นระยะทาง  $\pi$  และให้ทิศทางดังกล่าวเป็นบวก สำหรับทิศทางตรงข้าม เมื่อเริ่มจากศูนย์องศาในแนวทิศใต้หมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นไปทางเหนือ ผ่านทิศตะวันออกเป็นระยะทาง  $\pi$  จะให้ทิศทางดังกล่าวเป็นลบในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีการต่าง ๆ นั้นจะต้องมีการคำนวณถึงแสงธรรมชาติบนพื้นผิวแนวตั้งเสมอเช่นหน้าต่าง หรือผนังอาคาร ดังนั้นมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) ที่เกิดขึ้นจะเป็นมุมในแนวนอน ระหว่างมุมที่อ้างถึง (ศูนย์องศาทางทิศใต้) กับมุมที่เกิดขึ้นจริงของผนังที่ตั้งจากนั้น ๆ

มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) ของดวงอาทิตย์ เมื่อตกกระทบกับผนัง หรือช่องเปิดที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศใต้ จะพิจารณามุม มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) ได้จากสมการดังนี้

$$a_2 = a_s - a_0$$

เมื่อ

$a_2$  คือ ระดับมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) ของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน

$a_s$  คือ มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) หน่วยเรเดียน

$a_0$  คือ ความสูงมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) หน่วยเรเดียน

มุมตัด (Profile Angle) ของแสงดวงอาทิตย์ จะเป็นมุมที่เกิดขึ้น ระหว่าง แนวระนาบปกติกับมุมตกกระทบ ของดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$a_p = \arccos (\cos a_s / \cos a_z)$$

เมื่อ

$a_p$  คือ มุมตัด (Profile Angle) หน่วยเรเดียน

$a_s$  คือ มุมกระทำ (Altitude Angle) ของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน

$a_z$  คือ ระดับของมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) ดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน

เมื่อเราได้ทราบถึงมุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เราก็จะต้องทำการหาค่าของมุมต่าง ๆ เหล่านั้น เพื่อนำค่าของมุมต่าง ๆ ที่ได้มาเป็นข้อมูลในการออกแบบแผงบังแดด และก่อนที่จะออกแบบนั้นเราจะต้องเลือกวันและเดือนที่ต้องการกันแดดซึ่งขึ้นอยู่กับความร้อนหนาวในฤดูต่าง ๆ และสภาพลมฟ้าอากาศในเขตความสบาย (Comfort Zone) โดยตรวจสอบดูในแผนภาพ ซึ่งแสดงเขตความสบาย สำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะที่กรุงเทพฯ เมื่อดูจากแผนภาพแสดงเขตความสบาย (comfort Zone) จะเห็นว่าเราต้องการการกันแดดตลอดปี (ตรังใจ บุรณสมภพ, 2539: 137) และในเครื่องมือหามุมดวงอาทิตย์ จะเห็นว่า ทางด้านทิศใต้แสงแดดจะเข้ามุมตัด (Profile Angle) ต่ำสุดในเดือนธันวาคม เราจึงมักเลือกเวลาออกแบบในเดือนธันวาคม เมื่อเราได้วันและเดือนแล้ว เราควรที่จะเลือกเวลาที่ต้องการจะกันแดด โดยดูจากเวลาที่จะใช้สอยอาคาร ซึ่งอาคารแต่ละชนิดต่างก็มีเวลาการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเมื่อเราได้วันและเวลาแล้ว เราก็จะทำการออกแบบโดยอาศัยแผนภาพแสดงตารางโคจรของดวงอาทิตย์ มาหามุมต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ก็จะเริ่มทำการออกแบบแผงบังแดด

โดยการออกแบบแผงบังแดด แบ่งลักษณะการออกแบบออกได้เป็น 2 อย่าง คือ แผงบังแดดตามแนวนอน เช่น กันสาด ชายคา เป็นต้น และแผงบังแดดแนวตั้ง และในกรณีที่ไม่สามารถใช้แผงบังแดดแนวนอน หรือแนวตั้งเพียงอย่างเดียว (ทั้งนี้โดยพิจารณาจากมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำว่าไม่วิกฤติจนเกินไป จนการออกแบบกระทำไม่ได้) ซึ่งในกรณีหลังนี้จะต้องใช้วิธีการออกแบบผสมระหว่างแผงบังแดดตามแนวตั้งกับตามแนวนอน (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 82)

### 2.5.2 การออกแบบแผงบังแดดตามแนวนอนหรือแนวระดับ (Horizontal overhangs)

การออกแบบแผงบังแดดแบบตามแนวนอนหรือแนวระดับนี้ ก็คือการออกแบบกันสาด หรือชายคานั้นเอง ให้สามารถป้องกันแสงแดดส่องเข้ามาผ่านประตู หรือหน้าต่าง ซึ่งประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับขนาด และตำแหน่งของแผงบังแดด



### 2.5.2.1 ความกว้างของแผงบังแดดแนวนอน

การหาความกว้างของการยื่นแผงบังแดด จะต้องได้ค่าของมุมตัด (Profile Angle) เสียก่อนโดยจะต้องรู้ว่าจุดวิกฤติในการออกแบบอยู่ที่วัน และเวลาใด ที่จะใช้อาคาร แล้วเอาค่าของมุมตัด (Profile Angle) มาหาความกว้าง และใช้ค่ามุมเบี่ยง (Bearing Angle) นำมาหาความยาว ซึ่งหลักการในการป้องกันแสงแดดของที่บังแดดตามแนวนอน คือ ช่องเปิดของผนังอาคารจะต้องป้องกันมุมตัด (Profile Angle) ที่มีค่าน้อยที่สุดทางทิศนั้น ซึ่งถ้าต้องการป้องกันแสงแดดตลอดทั้งปีจะต้องใช้ค่าของมุมตัดที่น้อยที่สุดของตลอดทั้งปี

### 2.5.2.2 ความยาวของแผงบังแดดแนวนอน

นอกจากความยาวของการยื่นแผงบังแดดหรือชายคาออกไปแล้ว ยังต้องพิจารณาความกว้างของแผงบังแดดด้วย มิฉะนั้นแสงแดดจะสาดเฉียงลอดด้านข้างเข้าไปในบริเวณที่ต้องการมิให้แสงแดดเข้าไปกระทบได้ โดยการหาความยาวของแผงบังแดดนั้น เราจะต้องได้ค่าของมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) เสียก่อน ซึ่งต้องเป็นจุดวิกฤติของวัน และเวลาใด ที่จะใช้อาคารหรือของตลอดทั้งปี และในการหา นั้นจะต้องหาทั้งจากทางด้านซ้ายของช่องเปิด และทางด้านขวาของช่องเปิดอีกด้วยเนื่องจากบางครั้งมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) ของช่องเปิดของด้านทั้งสองอาจมีค่าที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางของช่องเปิดนั้น ๆ

### 2.5.3 การออกแบบแผงบังแดดตามแนวตั้ง (Vertical louvers)

ในบางกรณีการยื่นแผงบังแดดตามแนวระดับหรือชายคาแต่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถจะป้องกันแสงแดดได้ ทั้งนี้จะพบเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมตัด (Profile Angle) มีค่าน้อยมาก (แสดงว่าดวงอาทิตย์อยู่เรีย ๆ ขอบฟ้า) หรือเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) มาก ๆ ในเวลาเช้ามากและบ่ายมาก ดวงอาทิตย์อยู่ต่ำและมีมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) มาก จนทำให้ต้องยึดความกว้างของแผงบังแดดตามแนวระดับออกไปด้านข้างเกินปกติไปมาก เราอาจใช้แผงบังแดดทางแนวตั้งในการกันแดดแทน

#### 2.5.3.1 ขนาดความลึกและทิศทางของแผงบังแดดแนวตั้ง

ขนาดความลึก และ ทิศทางของแผงบังแดดตามแนวตั้ง ได้จากค่าของมุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ (Azimuth หรือ Bearing Angle) โดยจะต้องหาสองค่าคือ ในเวลาที่เข้าที่ที่สุด (ที่เริ่มต้องการกันแดด) และสายที่สุดหรือบ่ายมากที่สุด (ที่ไม่ต้องการกันแดด) ซึ่งสองเวลานี้มีค่ามุมเบี่ยงมากที่สุดทางทิศตะวันออก และ ทิศตะวันตก

#### 2.5.3.2 ความสูงของแผงบังแดดตามแนวตั้ง

ขนาดความสูงจะหาได้โดยใช้มุมตัด (Profile Angle) ของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งสูงสุดซึ่งในจุดบนสุดของหน้าต่างในระหว่างเวลาที่ต้องการร่มเงา สิ่งหึงระวังของแผงบัง

แดดตามแนวตั้ง คือ มุมตัด (Profile Angle) ของดวงอาทิตย์เพราะถ้ามุมตัดมีค่ามาก มุมก็ยิ่งสูง แฉกบังแดดตามแนวตั้งก็จะต้องสูงขึ้นตามไปด้วย

#### 2.5.4 บทสรุปและการวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแผงบังแดด

ทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแผงบังแดดข้างต้น ทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบแผงบังแดด โดยจากการวิเคราะห์แบ่งตามลักษณะของการรับค่าตัวแปรจะพบว่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแผงบังแดดนั้นเป็นตัวแปรที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ตามการออกแบบ ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ประกอบไปด้วย

- ขนาดของช่องเปิด ขนาดของช่องเปิดส่งผลต่อแสงเงาที่เกิดขึ้นในอาคารซึ่งหากช่องเปิดมีขนาดใหญ่ก็ย่อมทำให้แสงที่เข้าถึงภายในอาคารย่อมมีมากตามไปด้วย ดังนั้นขนาดของแผงบังแดดของช่องเปิดจึงต้องมีขนาดที่สอดคล้องกับขนาดช่องเปิดด้วยเช่นกัน

- ตำแหน่งของช่องเปิด ตำแหน่งของช่องเปิดมีผลต่อมุมของแดดที่เกิดขึ้นกับช่องเปิดนั้น ๆ เพราะที่ตำแหน่งพิกัด Latitude Longitude ต่าง ๆ มีผลต่อมุมแดดที่จะเกิดขึ้นกับตัวอาคารที่แตกต่างกันออกไป

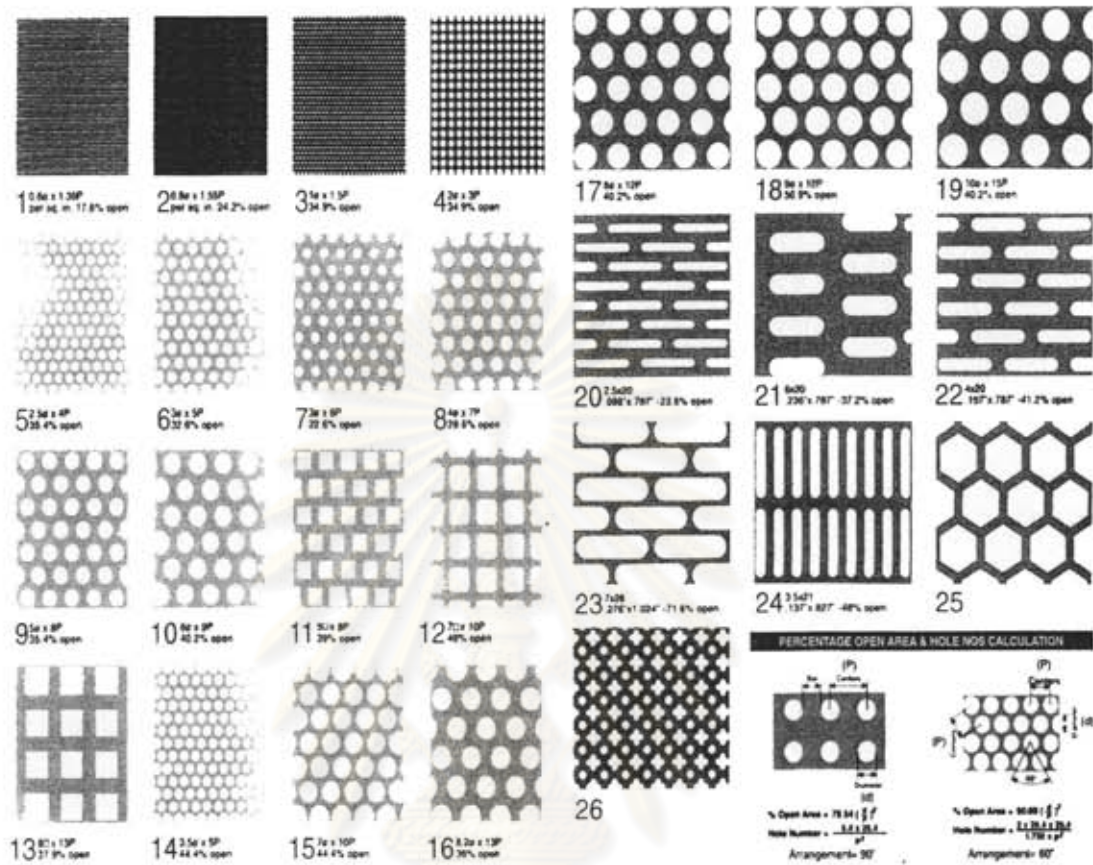
- ตำแหน่งทิศทางของช่องเปิด ทิศทางต่าง ๆ นั้นมีผลต่อรูปแบบของแผงบังแดด ดังในงานวิจัยเรื่อง รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน : การให้แสงสว่างธรรมชาติ และลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร (กนกวรรณ อุสันโน, 2539: 126-146) ซึ่งจากการวิจัยพบว่าอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมในทิศทางต่าง ๆ มีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป

- วันเวลาที่ต้องการบังแดด วันเวลาที่ต้องการคำนวณหาเพื่อการบังแดดเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเพราะทิศทางของแสงแดดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในตลอดปี ดังนั้นวันเวลาที่ต้องการบังแดดจึงเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อให้แผงบังแดดนั้นมีประสิทธิภาพในการบังแดดในวันเวลานั้น แต่ถ้าหากมีความต้องการให้แผงบังแดดนั้นมีประสิทธิภาพตลอดทั้งปีก็ควรมีการคำนึงถึงวันเวลาที่เป็นจุดวิกฤติเพราะเป็นวันเวลาที่แสงแดดจะส่องเข้าไปในช่องเปิดทำมุมมากที่สุดหรือมีปริมาณแสงแดดเข้าสู่อาคารมากที่สุด ดังนั้นถ้าหากต้องการให้แผงกันแดดนั้นป้องกันแสงแดดได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดทั้งปี

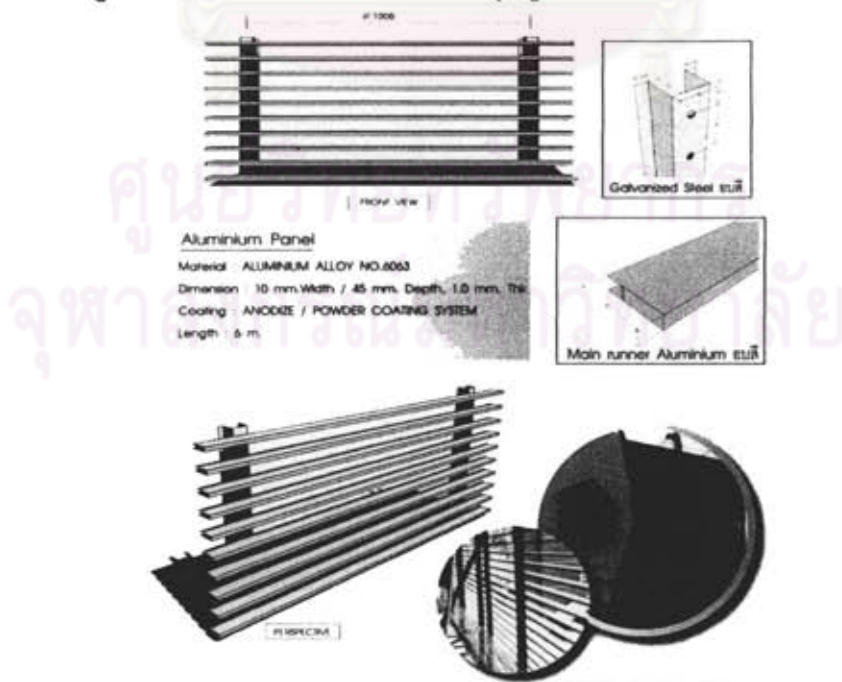
- รูปแบบของแผงบังแดด รูปแบบของแผงบังแดดนั้นในการออกแบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับ การเลือกใช้ว่าผู้ใช้ต้องการที่จะใช้เพียง รูปแบบของแผงบังแดดในแนวนอนเท่านั้น แต่รูปแบบของแผงบังแดดนั้นถูกกำหนดโดย ตำแหน่งและทิศทางของช่องเปิดจึงทำให้ในการเลือกรูปแบบที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบแผงบังแดดนั้น ไม่สามารถกำหนดรูปแบบตายตัวว่าเป็นเพียง รูปแบบของแผงบังแดดในแนวนอนเท่านั้น แต่ต้องมีการรองรับการออกแบบแผงบังแดดทั้ง แผงบังแดดแนวตั้ง (Vertical louvers) และแผงบังแดดแนวนอน (Horizontal

overhangs) ซึ่งรูปแบบของแผงบังแดดต่าง ๆ นี้ มีลักษณะของเงาที่เกิดขึ้นแตกต่างกันออกไปและมีความเหมาะสมกับช่องเปิดในทิศทางต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไปอีกด้วย

ภาพที่ 2.10 รูปแบบแผงกันแดดที่ทำจากตะแกรงเหล็กฉีก



ภาพที่ 2.11 รูปแบบแผงกันแดดที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม



## 2.6 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

### 2.6.1 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินโครงการลงทุน

2.6.1.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับต้นทุนเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average Cost of Capital หรือ WACC)

ยูจีน และฮุสตัน (2544: 282-306) กล่าวถึงเหตุผลในการใช้ต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุน (WACC) ว่าในกรณีที่บริษัทสามารถจัดหาเงินทุนจากส่วนของเจ้าของ (Equity) เพียงอย่างเดียว ต้นทุนของเงินทุน (Cost of Capital) ที่จะใช้ในการวิเคราะห์งบลงทุนควรเป็นอัตราผลตอบแทนที่ต้องการในส่วนของเจ้าของ (Required Rate of Return on Equity) อย่างไรก็ตาม บริษัทส่วนใหญ่มักจัดหาเงินทุนจากหลายแหล่ง เช่น เงินกู้ และหุ้นสามัญ เป็นต้น โดยที่ต้นทุนของเงินทุนแต่ละแหล่งนั้นจะมีต้นทุนที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการเฉลี่ยต้นทุนของเงินทุนทั้งจำนวนด้วยการคำนวณหาต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุน (Weighted Average Cost of Capital-WACC) ที่ไม่ใช่ต้นทุนเฉพาะในส่วนของเจ้าของ (Cost of Equity) เพียงอย่างเดียว

หากบริษัทระดมเงินทุนเพื่อการลงทุนในสินทรัพย์ และต้องการรักษาโครงสร้างเงินทุน (Capital Structure) เหมือนเดิม นั่นคือ การรักษาอัตราส่วนของหนี้สิน และส่วนของเจ้าของให้คงเดิม บริษัทจะต้องระดมทุนเพิ่มด้วยส่วนผสมของหนี้สิน และส่วนของเจ้าของ ซึ่งส่วนที่เป็นของเจ้าของ อาจมาจากกำไรสะสมหรือการจำหน่ายหุ้นสามัญก็ได้

ในการคำนวณต้นทุนของเงินทุนทุกประเภท จะใช้ต้นทุนหลังภาษีเสมอ โดยต้นทุนของหนี้ระยะยาว (หลังภาษี) จะเท่ากับอัตราดอกเบี้ยหักด้วยภาษีที่ประหยัดได้ ตามสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนของหนี้ระยะยาว (หลังภาษี)} &= \text{อัตราดอกเบี้ย} - \text{ภาษีที่ประหยัดได้} \\ &= K_d - k_d T \\ &= k_d (1-T) \end{aligned}$$

โดยสาเหตุที่ต้องคิดต้นทุนหลังภาษีเนื่องจากโดยปกติแล้วดอกเบี้ยสามารถนำไปเป็นค่าใช้จ่ายก่อนเสียภาษีได้ แต่ละบริษัทจะมีโครงสร้างเงินทุนที่เหมาะสม (Optimal Capital Structure) ซึ่งก็คือส่วนผสมของหนี้สิน และส่วนของเจ้าของ ที่ทำให้ราคาของหุ้นสามัญสูงสุด ดังนั้น บริษัทที่ต้องการจะทำให้มูลค่าของบริษัทสูงสุด จะกำหนดโครงสร้างเงินทุนที่เหมาะสมและใช้เป็นเป้าหมาย (Target) หลังจากนั้น จะมีการระดมทุนโดยพยายามให้เป็นไปตามเป้าหมายนั้นตลอดเวลา ทั้งนี้ ส่วนผสมของหนี้สินและส่วนของเจ้าของตามเป้าหมาย รวมทั้งต้นทุนของแต่ละองค์ประกอบนั้น จะใช้ในการคำนวณหาต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุน (WACC) ตามสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$WACC = W_d k_d (1-T) + W_p k_p + W_c k_s$$

โดยที่

$W_d$  = สัดส่วนของหนี้สิน

$W_p$  = สัดส่วนของหุ้นบุริมสิทธิ์

$W_c$  = สัดส่วนของส่วนของผู้ถือหุ้น

$k_d$  = ต้นทุนของหนี้สินก่อนภาษี

$k_p$  = ต้นทุนของหุ้นบุริมสิทธิ์

$k_s$  = ต้นทุนในส่วนของผู้ถือหุ้น

ในบางครั้งจะเรียกหุ้นบุริมสิทธิ์และส่วนของผู้ถือหุ้นรวมกันว่า เงินทุนของผู้ถือหุ้น (Cost of Equity หรือ  $k_e$ ) และมีสัดส่วนของเงินทุนของผู้ถือหุ้น ( $W_e$ )

การถ่วงน้ำหนัก (Weight) จะยึดตามมูลค่าตามบัญชีที่แสดงไว้ในงบดุล (Book Values) หรือตามราคาตลาดของหลักทรัพย์แต่ละประเภท ในทางทฤษฎีแล้ว การถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนนั้นควรจะยึดตามราคาตลาด (Market Values) แต่ถ้าการถ่วงน้ำหนักตามมูลค่าตามบัญชีใกล้เคียงกับการถ่วงน้ำหนักตามราคาตลาด ก็อาจจะใช้แทนกันได้ ด้วยเหตุนี้ ต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุน (WACC) จึงแสดงถึงต้นทุนของเงินทุนส่วนเพิ่ม (Marginal Cost of Capital-MCC) เพราะเป็นต้นทุนของการระดมทุนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละบาท

อย่างไรก็ตาม ต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุนได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ มากมาย บางปัจจัยบริษัทไม่สามารถควบคุมได้ ในขณะที่บางปัจจัยได้รับผลกระทบจากนโยบายในการจัดหาเงินทุนและนโยบายการลงทุนของบริษัทเอง

1) ปัจจัยที่บริษัทไม่สามารถควบคุมได้ ประกอบด้วย

1.1) อัตราดอกเบี้ย (Interest Rates) หากอัตราดอกเบี้ยสูงขึ้น ต้นทุน (อัตราดอกเบี้ย) จากหนี้สินจะสูงขึ้น เพราะบริษัทต้องจ่ายดอกเบี้ยให้สถาบันการเงินหรือผู้ถือพันธบัตรสูงขึ้น นอกจากนี้ หากอัตราดอกเบี้ยสูงขึ้น ต้นทุนในส่วนของผู้ถือหุ้นสูงขึ้นด้วย เนื่องจากอัตราผลตอบแทนที่ไม่มีความเสี่ยง ( $k_{RF}$ ) จะสูงขึ้น

1.2) อัตราภาษี (Tax Rates) อัตราภาษีมีผลต่อต้นทุนของเงินทุนด้วยเช่นกัน เนื่องจากอัตราภาษีใช้ในการคำนวณหาต้นทุนของหนี้สิน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ WACC แต่ผลกระทบของอัตราภาษีต่อต้นทุนของเงินทุนอาจจะเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก

## 2) ปัจจัยที่บริษัทสามารถควบคุมได้ ประกอบด้วย

2.1) นโยบายของโครงสร้างเงินทุน (Capital Structure Policy) โดยปกติบริษัทสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเงินทุนได้ ซึ่งจะกระทบต้นทุนของเงินทุน ต้นทุนหลังภาษีของหนี้สินมักจะต่ำกว่าต้นทุนในส่วนของผู้ถือหุ้น ดังนั้น ถ้าบริษัท ตัดสินใจใช้แหล่งเงินทุนจากหนี้สินเพิ่มขึ้นและลดสัดส่วนในส่วนของผู้ถือหุ้นลง จะมีผลทำให้ WACC ต่ำลง อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการใช้หนี้สินเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความเสี่ยงทั้งในส่วนของผู้ถือหุ้นและผู้ถือหุ้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และในที่สุดจะส่งผลให้ต้นทุนของทั้งหนี้สินและส่วนของผู้ถือหุ้นเพิ่มขึ้น และก็จะกระทบกับ WACC เช่นเดียวกัน

2.2) นโยบายการลงทุน (Investment Policy) จากในตอนต้นที่กล่าวมา เราสมมติว่าในการที่บริษัทจะระดมทุนเพิ่ม เพื่อจะนำเงินลงทุนได้มากนั้นไปลงทุนในธุรกิจเดิม ความเสี่ยงทางธุรกิจไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม ถ้าบริษัทมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของธุรกิจ เช่น เปลี่ยนจากธุรกิจการเกษตรเป็นธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ ก็จะมีผลต่อต้นทุนของเงินทุนเป็นอย่างมาก เนื่องจากความเสี่ยงทางธุรกิจเปลี่ยนแปลงไป

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีข้อจำกัดบางประการ กระบวนการในการประเมินหาต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุน (Cost of Capital) นั้น มีประโยชน์ในการใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจว่าโครงการใดควรลงทุนหรือไม่ โดยเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนจากโครงการกับต้นทุนของเงินทุนที่จะนำมาลงทุนในโครงการนั้น ๆ

### 2.6.1.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow)

การคิดลดกระแสเงินสด เป็นเครื่องมือการประเมินโครงการลงทุน (Capital Budgeting) โดยพิจารณาถึงมูลค่าของเงินตามกาลเวลา (Time Value of Money) เพื่อคำนวณหาค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการจะตัดสินใจลงทุนในโครงการต่าง ๆ ดังนี้

#### 1) มูลค่าผลตอบแทนการลงทุนปัจจุบัน (Net Present Value: NPV)

มูลค่าผลตอบแทนการลงทุนปัจจุบัน (NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไปภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (Discount Rate) หรือค่าของทุน (Cost of Capital) ที่กำหนด จากคำนิยามดังกล่าวข้างต้น การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ คือ (1) กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ (2) กระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการ (3) ระยะเวลาของโครงการ และ (4) อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ และการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0$$

ในที่นี้

$n$  = อายุของโครงการ (ปี)

$ES_t$  = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Cost Savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง  $n$

$I_0$  = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

$i$  = อัตราลดค่า (Discount Rate)

ค่าของทุนที่ใช้เป็นอัตราลดค่า (Discount Rate) จะมีค่าเดียวกันตลอดอายุโครงการและขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาดที่ผู้ลงทุนเผชิญอยู่ ซึ่งอย่างน้อยควรมีค่าของทุนเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำที่ผู้ลงทุนได้รับ

ในการเลือกโครงการ ค่า NPV จะแสดงให้เห็นว่าโครงการที่กำลังพิจารณา มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไรเมื่อสิ้นสุดโครงการ ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นบวก แสดงว่าผลประโยชน์ในอนาคตเมื่อนำมาคิดมูลค่าปัจจุบันแล้วมีค่ามากกว่าเงินลงทุน นั่นคือการลงทุนในโครงการนั้นได้รับผลตอบแทนคุ้มกับการลงทุน โครงการดังกล่าวจึงเป็นโครงการที่สมควรจะลงทุน ดังนั้นจึงควรเลือกโครงการที่ให้ค่า NPV เป็นบวกมากที่สุด แต่การใช้ NPV เพียงอย่างเดียว อาจทำให้มีข้อจำกัดในการตัดสินใจในการเลือกโครงการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่โครงการมีขนาดต่างกัน แต่ให้ค่า NPV ที่เป็นบวกเท่ากัน ดังนั้นการตัดสินใจให้การสนับสนุน ควรจะต้องนำเครื่องมืออื่นมาประกอบการพิจารณาควบคู่ไปกับการใช้ค่า NPV

2) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนการลงทุน หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการหนึ่ง ๆ ซึ่งเป็นอัตราลดค่า (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน (Total Investment) เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการประหยัดพลังงานตลอดอายุโครงการ จากคำนิยามข้างต้น การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนลดค่า จะต้องทราบข้อมูลดังนี้ คือ (1) กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ (2) กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ และ (3) ระยะเวลาของโครงการ ซึ่งการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน จะตั้งอยู่บนสมมติฐานว่า ไม่มีมูลค่าซากและเงินลงทุนสุทธิเท่ากับต้นทุนทางบัญชี โดยมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

ในที่นี้

$n$  = อายุของโครงการ (ปี)

Est = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Cost Savings) รายปี ตั้งแต่  
ปลายปีที่ 1 ถึง  $n$

$I_0$  = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

การคำนวณหาค่า IRR ก็คือการหาค่า Discount Rate ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ( $NPV = 0$ ) นั่นเอง ถ้าค่า IRR มากกว่าหรือเท่ากับอัตราผลตอบแทนที่ผู้ลงทุนเลือกใช้ เป็นจุดตัดสินใจก็ถือได้ว่าโครงการดังกล่าว เป็นโครงการที่น่าลงทุนโดยทั่วแล้ว ทั้งนี้ในการประเมินโครงการจากค่า IRR และ NPV จะให้ผลการตัดสินใจรับโครงการหรือปฏิเสธโครงการเป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่ในบางกรณีที่ใช้ข้อสมมติ เช่น การนำเงินที่ได้ในแต่ละปีไปลงทุนใหม่ (Reinvestment) หรือการใช้วิธีหักค่าเสื่อมราคา แบบ Double-Declining Balance Method แทนแบบเส้นตรง (Straight Line Method) ก็อาจทำให้คำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธีขัดแย้งกันได้ ดังนั้นการพิจารณาประเมินโครงการลงทุนจากทั้ง 2 วิธี จึงต้องคำนึงถึงสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ

3) ระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงมูลค่าปัจจุบัน (Discounted Payback Period: DPB)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการในอนาคต สามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอรับการสนับสนุนจะมีลักษณะการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรกและให้ผลตอบแทนในแต่ละปี การหาระยะเวลาคืนทุน สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

3.1) การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period-PB) จะใช้วิธี Static  
คำนวณได้จากสูตร

$$\text{งวดเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ (Total Investment)}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

3.2) การหาระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงมูลค่าปัจจุบัน (Discounted Payback Period-DPB) จะใช้วิธี Dynamic สามารถคำนวณได้จากสูตร

งวดเวลาคืนทุน = จำนวนปีที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์



ระยะเวลาคืนทุนที่ได้จากทั้ง 2 วิธี จะมีความแตกต่างกัน โดยค่าจาก Static Method จะให้งวดเวลาคืนทุนเร็วกว่า Dynamic Method เนื่องจาก Dynamic Method จะใช้การคำนวณค่าแบบสะสมจากมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนและพลังงานที่ประหยัดได้ซึ่งคิดอัตราลดค่า (Discount Rate) ในการเลือกโครงการระยะเวลาคืนทุนจะแสดงให้เห็นว่าต้องใช้เวลานานเพียงใดในการได้ทุนคืน เกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ถ้าต้องเลือกโครงการใดโครงการหนึ่งเพียงโครงการเดียว จะเลือกโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่า แต่ถ้าสามารถเลือกได้ทุกโครงการจะเลือกโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม การพิจารณาแต่เพียงระยะเวลาคืนทุนนั้นมีข้อเสียในการเลือกโครงการ คือ วิธีนี้จะไม่ให้ความสนใจต่อเงินเข้าสุทธิใน ส่วนที่ได้หลังจากช่วงเวลาคืนทุนแล้ว ซึ่งอาจจะมีผลตอบแทนภายหลังมากกว่าโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วก็ได้

### 3) การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity/Scenario Analysis)

ยูจีน และฮุสตัน (2544: 354-358) กล่าวว่า การวิเคราะห์ความอ่อนไหว เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการลงทุนที่แสดงให้เห็นว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด โดยกำหนดให้ตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงโดยที่ปัจจัยอื่น ๆ มีค่าคงที่ หรือเปลี่ยนแปลงตัวแปรหลาย ๆ ตัวในเวลาเดียวกันเพื่อศึกษาผลกระทบของ NPV เมื่อสถานการณ์เปลี่ยนแปลงไป

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจะเริ่มจากสภาวะปกติที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario) โดยการใช้มูลค่าที่คาดการณ์ไว้ (Expected Value) ของตัวแปรแต่ละตัว หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ามูลค่าที่คาดว่าจะใกล้เคียงความจริงมากที่สุดมาทำการวิเคราะห์กรณีที่น่าจะเป็นมากที่สุด (Most Likely Case Scenario) หลังจากนั้น จึงวิเคราะห์กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario) และกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario) โดยการเปลี่ยนตัวแปรแต่ละตัวให้ สูงกว่าหรือต่ำกว่ามูลค่าที่คาดการณ์ไว้แต่แรกและเปรียบเทียบค่า NPV จากการเปลี่ยนแปลงของ ตัวแปรซึ่งโดยปกติแล้วโอกาสในการเกิดกรณีที่ดีที่สุดและกรณีที่แย่ที่สุดจะอยู่ที่ร้อยละ 25 ในขณะที่กรณีที่น่าจะเป็นมากที่สุดมีโอกาสในการเกิดร้อยละ 50 (ยูจีน และฮุสตัน, 2544: 256)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการประเมินความเสี่ยงของโครงการ อย่างไรก็ตาม การประเมินด้วยแนวทางนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างเนื่องจากมีการ กำหนดทางเลือกให้ไม่ก้ำกึ่งทางเลือกเท่านั้น

## 2.6.2 การคำนวณ Life cycle cost และ discounted payback period

การคำนวณ life cycle cost

life cycle cost (ต่อปี) = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน + ค่าบำรุงรักษา + ค่าไฟฟ้า + ดอกเบี้ย + ค่าเงินจากอัตราเงินเฟ้อ + อื่น ๆ

## 2.6.3 การคำนวณประเมินระยะเวลาคืนทุน (simple payback period)

simple payback period เป็นวิธีการคำนวณประเมินระยะเวลาคืนทุนหรือจุดคุ้มทุน (ปี) อย่างง่ายเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการเลือกแนวทางของการออกแบบว่าเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ วิธีการคำนวณทำได้ดังนี้ (William T, 1983: 80)

simple payback period = เงินลงทุนเบื้องต้น ( C )

ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรายปี ( A )

## 2.6.4 การคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทน (internal rate of return)

internal rate of return (IRR) เป็นอัตราส่วนผลตอบแทนที่ทำให้ผลตอบแทนที่ได้รับจากการประหยัดตลอดอายุการใช้งาน (lifetime saving) เท่ากับเงินลงทุนทั้งหมด (lifetime cost) ซึ่งในที่นี้จะเป็นราคาต้นทุนวัสดุเบื้องต้น (first cost)

lifetime saving = lifetime cost

[ A □ P ] = ราคาต้นทุนวัสดุเบื้องต้น ( P )

ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรายปี ( A )

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### วิธีการวิจัย

งานวิจัยใช้การสำรวจรูปแบบบ้านจัดสรรมาตรฐานทั่วไปในท้องตลาดและศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารของบ้านพักอาศัยเพื่อนำมาสร้างเป็นรูปแบบอาคารตัวแทน (Reference Building) แล้วจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลของอาคารต้นแบบ (Base Case) โดยจะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

#### 3.1 การสำรวจเก็บข้อมูลตัวอย่างบ้านพักอาศัย

ทำการสำรวจเพื่อรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบ้านพักอาศัยจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย<sup>2</sup> ซึ่งเป็นแบบบ้านมาตรฐานสำหรับบ้านพักอาศัยในท้องตลาด ประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอยไม่ต่ำกว่า 150 ตารางเมตร เริ่มต้นโดยการสุ่มเลือกตัวอย่าง อาคารที่ปลูกสร้างในบริเวณ กรุงเทพฯ และปริมณฑล การศึกษาอาคารตัวอย่างมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ขนาดอาคารลักษณะพื้นที่ใช้สอยช่วงเวลาการใช้งานอาคาร สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคารและลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคาร การเลือกเก็บตัวอย่างอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้นได้ทำโดยการสุ่มเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างบ้านที่ก่อสร้างในปัจจุบัน และภายใน 5 ปีที่ผ่านมา โดยได้ข้อมูลจากจากผู้ประกอบการบ้านจัดสรร บริษัทรับสร้างบ้าน และบ้านพักส่วนตัวที่เจ้าของทำการสร้างเองในกลุ่มตัวอย่างจากผู้ประกอบการบ้านจัดสรรทั้งรายใหญ่ที่มีการจดทะเบียนบริษัทในตลาดหลักทรัพย์ และผู้ประกอบการรายย่อยต่าง ๆ ส่วนใหญ่แบบทางสถาปัตยกรรมจะไม่ซับซ้อนโครงสร้างเรียบง่าย เพื่อประสิทธิภาพในการก่อสร้างและการควบคุมต้นทุนค่าก่อสร้าง การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างตามมาตรฐานการก่อสร้างโดยทั่วไป และหาได้ในท้องตลาด สำหรับกลุ่มตัวอย่างจากบริษัทรับสร้างบ้าน และบ้านพักส่วนตัวที่เจ้าของทำการสร้างเอง ลักษณะอาคารบางส่วนจะมีความแตกต่างทางรูปแบบสถาปัตยกรรมมากกว่ากลุ่มตัวอย่างบ้านจัดสรร แต่โดยรวมก็ยังคงไม่ซับซ้อนมาก เนื่องจากปัจจัยทางงานวิศวกรรมโครงสร้าง เทคนิควิธีการก่อสร้าง และที่สำคัญคือ

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร "การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว" ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3 23 – 25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมโบสถ์สกาย จังหวัดกรุงเทพฯ ฯ "

ต้นทุนของการก่อสร้าง วัสดุก่อสร้างที่ใช้ก็จะเช่นเดียวกับกลุ่มตัวอย่างบ้านจัดสรร ซึ่งเป็นวัสดุทั่วไปตามมาตรฐานท้องตลาด ความแตกต่างของการใช้วัสดุก่อสร้างจะเน้นไปที่การตกแต่งภายในเป็นหลัก ซึ่งในแง่ของการศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร วัสดุตกแต่งภายในที่แตกต่างเหล่านี้ มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่แตกต่างจากวัสดุตามท้องตลาด ทั่วไปจึงไม่เป็นผลต่อการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารมากนัก

### 3.2 จำลองการใช้พลังงานและสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

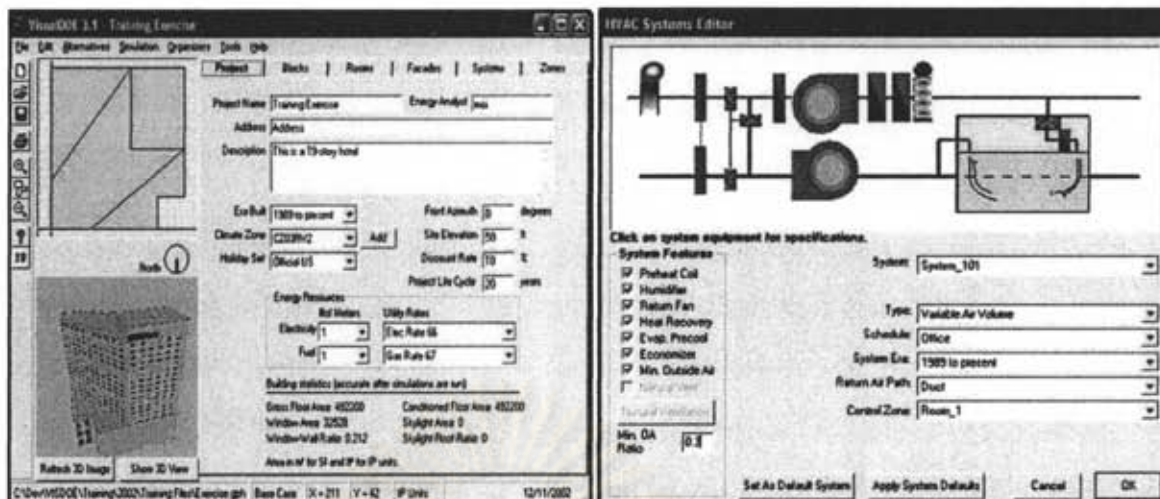
งานวิจัยนี้ใช้แนวทางการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์จริง (Simulation Research) โดยจะใช้เทคนิคการจำลองสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารที่เป็นทั้งผนังทึบและกระจกและทำการหาค่าการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิง (Reference Building) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลตัวอย่างบ้านพักอาศัยโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDoe4.1 และใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงจากกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อนำผลที่ได้มาพัฒนาเป็นฐานการใช้พลังงาน

#### 3.2.1 โปรแกรม VisualDoe 4.1

เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งพัฒนาโดย Lawrence Berkeley Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ช่วยคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี โดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งนำมาจัดรูปแบบเป็นไฟล์ชนิดต่าง ๆ เช่น TRY TMY2 WYEC หรืออื่น ๆ DOE 4.1E เป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบความแม่นยำโดยนักวิจัยจากทั่วโลกมาตลอดระยะเวลากว่า 20 ปี ตั้งแต่โปรแกรมได้รับการเขียนขึ้นมา ซึ่ง VisualDoe4.1 ยังได้ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยพัฒนามาตรการและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการใช้พลังงานในหลายประเทศทั่วโลกอีกด้วย องค์ประกอบหลักของ VisualDoe4.1 จะมีทั้งสิ้น 4 ส่วนได้แก่ LOADS SYSTEM PLANT และ ECONOMIC ซึ่งจะทำหน้าที่ตั้งแต่การคำนวณภาระการทำความเย็น จนถึงการใช้พลังงานในส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคารทั้งในส่วนจากระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า

VisualDoe4.1 จะคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) จากปัจจัยภายนอกอาคารซึ่งได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านช่องหน้าต่าง และการรั่วซึมของอากาศภายนอกนำมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในอาคารซึ่งได้แก่ ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อนำภาระการทำความเย็นจากภายนอกมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในแล้ว VisualDoe4.1 ก็จะสามารถคำนวณขนาดของเครื่องปรับอากาศและปริมาณการใช้พลังงาน

ภาพที่ 3.1 จำลองลักษณะการใช้งานของโปรแกรม VisualDoe4.1



### 3.2.2 โปรแกรม Energy Plus

โปรแกรม Energy Plus เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยวิศวกรและสถาปนิกในการออกแบบตัวอาคารเพื่อแนวคิดและหลักการอนุรักษ์พลังงาน หรือเป็นอาคารที่ช่วยประหยัดการใช้พลังงานในตัวอาคารนั่นเอง เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยบริษัท NREL

Nick Long วิศวกรผู้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชิ้นนี้ได้กล่าวว่า โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในด้านการออกแบบตัวอาคารนี้ ถือเป็นการนำเอาหลักการทางด้านการออกแบบอาคารตามหลักวิศวกรรมมาผสมผสานกับหลักการทางด้านการออกแบบอาคารเพื่อให้ได้อาคารที่ประหยัดการใช้พลังงานอย่างลงตัว โดยในตัวโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์จะสามารถสร้างแบบจำลองของการพลังงานที่ใช้ในตัวอาคาร และการนำเอาพลังงานจากธรรมชาติเข้ามาใช้ประโยชน์

โปรแกรมตัวใหม่นี้ถือเป็นการผสมผสานของ โปรแกรม EnergyPlus ที่จะเป็นส่วนหลักของโปรแกรมในส่วนของกรสร้างแบบจำลองของพลังงานที่จะใช้ในตัวอาคารและการหมุนเวียนของพลังงานธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในตัวอาคาร และในส่วนโปรแกรม SketchUp ของกูเกิ้ลจะเป็นส่วนหลักในด้านการออกแบบตัวอาคาร การร่างแบบ วาดแบบตัวอาคาร ซึ่งผลลัพธ์ของการออกแบบอาคารโดยใช้โปรแกรมตัวใหม่นี้จะทำให้ได้อาคารที่มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนออกมาสู่สิ่งแวดล้อมที่น้อยและมีการใช้พลังงานต่าง ๆ ในปริมาณลดลง

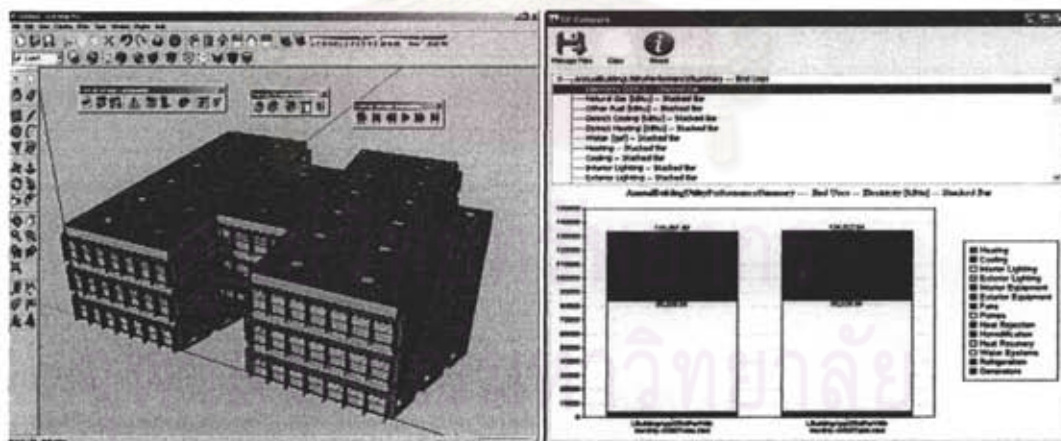
ลักษณะของแบบจำลองของตัวอาคารมีลักษณะเป็นแบบ 3 มิติ และสามารถวิเคราะห์แบบอาคารที่ออกแบบว่ามีประสิทธิภาพในการเก็บกักพลังงานและการใช้พลังงานได้คุ้มค่าเพียงใดตั้งแต่ขั้นตอนแรก ๆ ของการร่างแบบของตัวอาคาร โปรแกรม OpenStudio เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย ใช้เวลาไม่นานในการออกแบบ และไม่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโปรแกรม

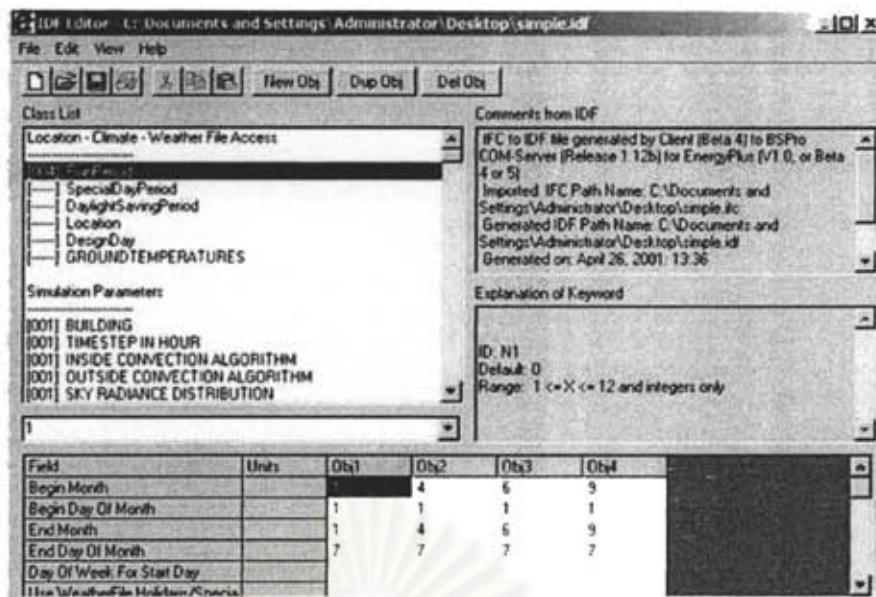
โปรแกรม EnergyPlus เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกออกแบบโดย กระทรวงพลังงานเมื่อปี 2001 และเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพของการเก็บกักพลังงานธรรมชาติของอาคารไม่ว่าจะเป็น ความร้อน แสงสว่าง ระบบน้ำ ไฟ หรือระบบพลังงานอื่น ๆ ส่วนโปรแกรมการออกแบบ ร่างแบบของภูเก็ลถือเป็นโปรแกรมทางด้านการออกแบบอาคารเพื่อการก่อสร้าง

การรวมกันของ 2 โปรแกรมทำให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบอาคารตามหลักการอนุรักษ์พลังงานได้เป็นอย่างดี โปรแกรมสามารถสร้างแบบจำลองของพระอาทิตย์ในแต่ละวันของปีว่าจะเคลื่อนผ่านอาคารลักษณะใด เราควรออกแบบหน้าต่างหรือใช้วัสดุประเภทไหนเพื่อจะได้นำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานได้ดีที่สุด เป็นต้น นอกจากนี้เรายังสามารถออกแบบและทดลองประสิทธิภาพของอาคารที่เราออกแบบด้วยการเปิดไฟลิวติโอเพื่อดูผลของการออกแบบของเราได้อีกด้วย ว่ามีความเหมาะสมต่อธรรมชาติมากน้อยเพียงใด

ทางวิศวกรผู้เขียนโปรแกรมวางแผนที่จะพัฒนาโปรแกรม OpenStudio ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยจะเพิ่มลูกเล่นต่าง ๆ ของการออกแบบ และเชื่อมต่อข้อมูลของแบบที่ร่างกับราคาของวัสดุ เพื่อที่จะประมาณราคาของอาคารได้ทันทีในขั้นตอนการออกแบบ หรือแม้กระทั่งการเชื่อมโยงข้อมูลการออกแบบเข้ากับกฎหมายการออกแบบตัวอาคารเพื่อความสะดวกของการใช้งานอีกด้วย

ภาพที่ 3.2 จำลองลักษณะการใช้งานของโปรแกรม Energy Plus





### 3.3 ศึกษาถึงข้อมูลทางกายภาพของวัสดุประกอบอาคารต่าง ๆ

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในหัวข้อซึ่งจะเป็นการป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก และเรื่องเปลือกอาคารเป็นหลัก และในแต่ละหัวข้อที่ได้ทำการศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) เนื่องจากขนาดของช่องแสงมีผลต่อการถ่ายเทรังสีอาทิตย์ หากช่องแสงมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น หรือไม่ได้มีการป้องกันรังสีอาทิตย์ตรงอย่างเหมาะสม จะทำให้เกิดความร้อนในอาคาร ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มภาระในการทำความเย็นในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ

3.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (U-value) เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนของผนังเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อภาระในการทำความเย็นในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ

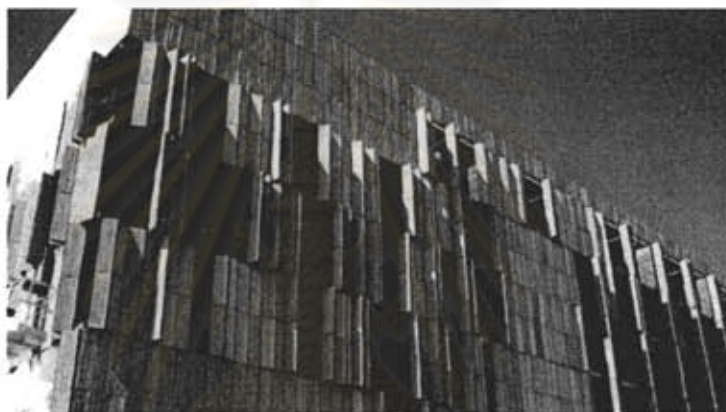
3.3.3 ใช้หน้าต่างกระจก 2 ชั้น หรือมากกว่า เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดที่เป็นกระจกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อภาระในการทำความเย็นในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ การใช้หน้าต่าง 2 ชั้นหรือมากกว่า จะช่วยลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดที่เป็นกระจก จากภายนอกสู่ภายใน

3.3.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดที่เป็นกระจกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อภาระในการทำความเย็นในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ การใช้กระจกที่มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ต่ำจะช่วยลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดที่เป็นกระจก จากภายนอกสู่ภายใน

3.3.5 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (SC) เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดที่เป็นกระจกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อภาระในการทำความเย็นในกรณีที่มีเครื่องปรับอากาศ การเพิ่มแผงบังแดดที่มีการออกแบบอย่างเหมาะสม จะช่วยลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดที่เป็นกระจก จากภายนอกสู่ภายใน

ราคาในส่วนของเปลือกอาคารต่อราคาค่าก่อสร้างทั้งหมด เพื่อให้ประกอบในการออกแบบและช่วยในการกำหนดขอบเขตของการนำเสนออาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ รวมไปถึงการติดตั้งแผงกันแดดแบบ 2 ชั้น (ภาพที่ 1.1) กับกระจกอนุรักษ์พลังงานชนิดต่าง ๆ และฉนวนกันความร้อนในผนังอาคาร

ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างแผงกันแดดแบบผนัง 2 ชั้น

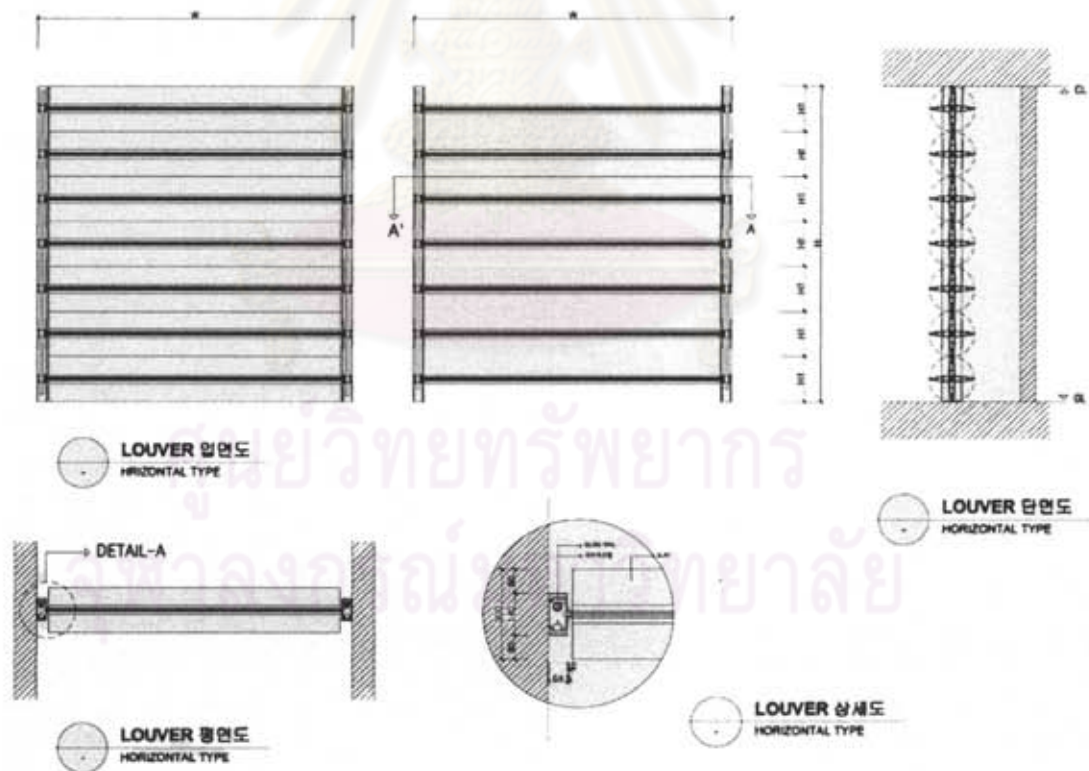


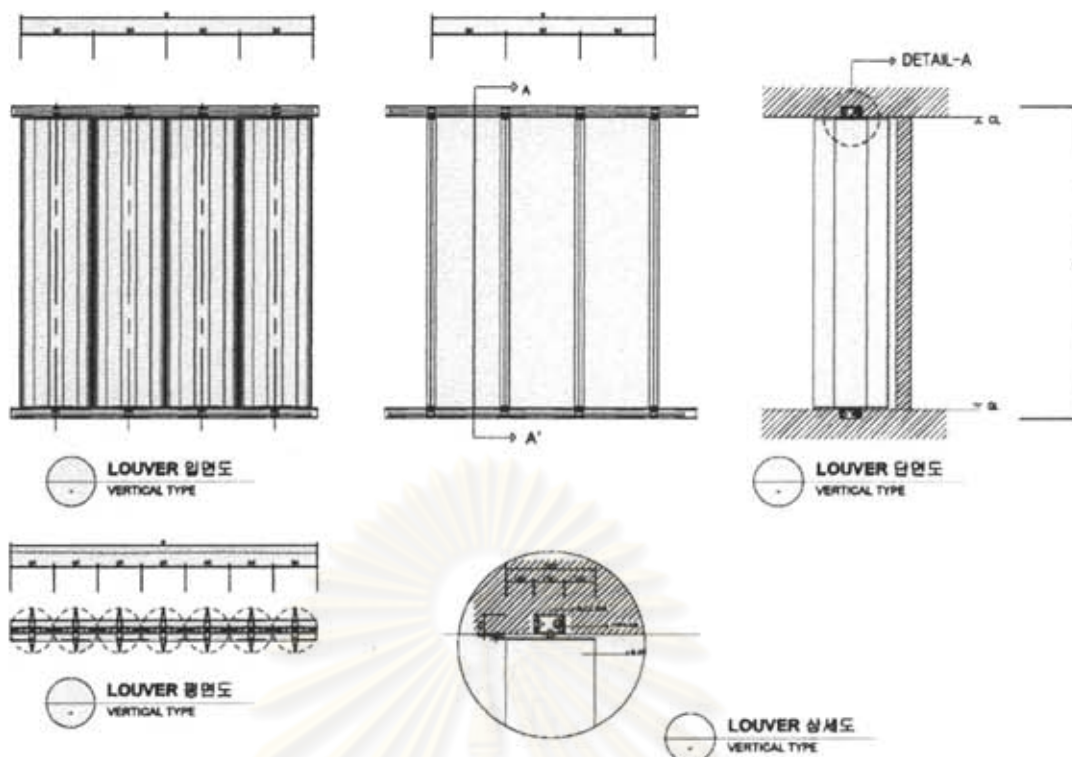


ภาพที่ 3.4 แผงกันแดดแบบผนัง 2 ชั้นที่สามารถปรับขนาดช่องแสงได้



ภาพที่ 3.5 แบบแปลน รูปด้าน รูปตัดของแผงกันแดดที่ปรับแสงได้ (Wood Shutter)





### 3.4 การจำลองและวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ

หลังจากได้กำหนดอาคารทางเลือกเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการจำลองการใช้พลังงานของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDoe4.1 และนำผลการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานการใช้พลังงานของอาคารต้นแบบ (Base Case) พร้อมทั้งวิเคราะห์และอภิปรายข้อมูลรวมทั้งทำการคำนวณค่าการประหยัดพลังงานรายปีที่คาดว่าจะได้จากทางเลือกต่าง ๆ เมื่อเทียบกับฐานการใช้พลังงาน (Baseline)

โดยผลจากการจำลองโดยโปรแกรม VisualDoe 4.1 ได้นำมาใช้วิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภทจากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบฐานการใช้พลังงาน (Baseline) ผลที่ได้นำมาพัฒนาเป็นรูปแบบการใช้พลังงานของอาคาร (Energy Use Profile) ตามรายละเอียดต่อไปนี้

1. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี (kWhต่อปี)
2. สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย (kWh/sq.m. ต่อปี)
3. สัดส่วนการใช้พลังงานจากกลุ่มการใช้หลัก 3 กลุ่มซึ่งได้แก่การทำความเย็น (Cooling) แสงสว่าง (Lighting) และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Receptacles)
4. สัดส่วนการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นอันเนื่องมาจากส่วนประกอบสถาปัตยกรรมต่าง ๆ เช่นผนัง พื้น หลังคา ประตู หน้าต่าง หลอดไฟ แหล่งความร้อนภายในอื่น ๆ และการรั่วซึมของอากาศจากภายนอก

### 3.4.1 จำลองสภาพการถ่ายเทความร้อนและการใช้พลังงาน

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการจำลองสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารและการเปรียบเทียบใช้พลังงานของอาคารต้นแบบกับอาคารกรณีศึกษาโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDoe 4.1 และใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงจากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อนำผลที่ได้มาพัฒนาเป็นฐานการใช้พลังงาน (Baseline)

### 3.4.2 การวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงาน

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานจากฐานการใช้พลังงาน นำมาสร้างเป็นทางเลือกการออกแบบและเลือกวัสดุเปลือกอาคารโดยในเบื้องต้นจะมุ่งเน้นที่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ ส่วนวัสดุเปลือกอาคารที่จะนำมาใช้ในเป็นทางเลือกการประหยัดพลังงานจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. วัสดุก่อสร้างที่หาได้ทั่วไปในท้องตลาด
2. มีค่าความเป็นฉนวนกันความร้อน
3. มีส่วนประกอบหลักที่สามารถผลิตได้ในประเทศ
4. มีคุณสมบัติเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของเมืองไทย
5. เป็นวัสดุที่มีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมใช้ก่อสร้างอาคารในอนาคต
6. ไม่เป็นวัสดุที่มีแนวโน้มว่าจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพ
7. ไม่เป็นวัสดุที่มีแนวโน้มว่าจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมภายหลัง

### 3.5 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พร้อมสรุปผล

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) แสดงการคำนวณระยะเวลาคัมพุน (Payback period) และผลตอบแทนการลงทุน (Rate of return) และค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุการใช้งานอาคาร 20 ปี (Life-cycle cost) ด้วยสูตรต่าง ๆ ดังนี้  
วิธีการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0$$

ในที่นี้

$n$  = อายุของโครงการ (ปี)

$ES_t$  = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Cost Savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง  $n$

$I_0$  = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

$i$  = อัตราลดค่า (Discount Rate)

วิธีการหาระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period-PB) จะใช้วิธี Static คำนวณได้จากสูตร

$$\text{งวดเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ (Total Investment)}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

วิธีการคำนวณ Life Cycle Cost สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

life cycle cost (ต่อปี) = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน + ค่าบำรุงรักษา + ค่าไฟฟ้า + ดอกเบี้ย + ค่าเงินจากอัตราเงินเฟ้อ + อื่น ๆ

วิธีการคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทน (internal rate of return) สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{lifetime saving} = \text{lifetime cost}$$

$$[A \square P] = \text{ราคาต้นทุนวัสดุเบื้องต้น (P)}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรายปี (A)}$$

การคำนวณ LCC (Life Cycle Cost, ค่าต้นทุนตลอดอายุวัฏจักร) คือการคำนวณหาค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานของอาคารซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ มูลค่าของการลงทุน (Owning), ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตลอดอายุการใช้งาน (Operating) โดยการนำค่าพลังงานที่สามารถลดได้ในแต่ละแนวทางมาวิเคราะห์เปรียบเทียบงบประมาณที่ต้องลงทุน แล้วจึงคำนวณหาจุดคุ้มทุนของแต่ละแนวทาง โดยคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน หรือ Life-Cycle Cost (LCC) แล้วจึงหาความคุ้มค่าในการลงทุนที่จะใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น ที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน โดยแนวทางที่ได้จากการวิจัยจะเป็นทางเลือกให้กับสถาปนิกและผู้ออกแบบต่อยอดทางความคิดในการออกแบบแผงกันแดดได้ในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา และผลการวิเคราะห์อาคารทางเลือก

ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา

4.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ของงานวิจัยเกี่ยวข้องของ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย<sup>3</sup> พบว่าลักษณะโดยรวมส่วนใหญ่ของอาคารบ้านจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีส่วนที่ว่างชั้นล่างสำหรับจอดรถ บางหลังอาจมีระเบียงห้องชั้นบน ทำโดยการยื่นส่วนของพื้นออกจากโครงสร้างหลัก (Cantilevered Beam) หรือดอยช่วงผนังเข้าไป ในตัวโครงสร้างหลัก จากการประมวลภาพรวมของกลุ่มอาคารศึกษา อาคารอ้างอิงที่ใช้ในการจำลองเพื่อศึกษาการใช้พลังงานและการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารนี้ มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ประมาณ 30 % อาคารอ้างอิงมีพื้นที่ใช้สอยรวม 255 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอยภายใน (Net area) 213 ตารางเมตร รูปแบบทางสถาปัตยกรรมและแปลนอาคารแสดงใน รูปที่ 4.1 ซึ่งการศึกษานี้ได้ดำเนินการด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลอาคารพักอาศัยในท้องตลาด แล้วนำมาจำลองสภาพการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDoe 4.1 พร้อมทั้งวิเคราะห์สภาพปัญหาและเสนอแนวทางเลือกเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารต่อไปในอนาคต

กรณีศึกษาทำการศึกษา บ้านเดี่ยวขนาดกลาง 2ชั้นทั่วไป โดยมีพื้นที่ต่าง ๆ รายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 4.1 แสดงรายละเอียดของแต่ละพื้นที่การใช้งานภายในของอาคารกรณีศึกษา

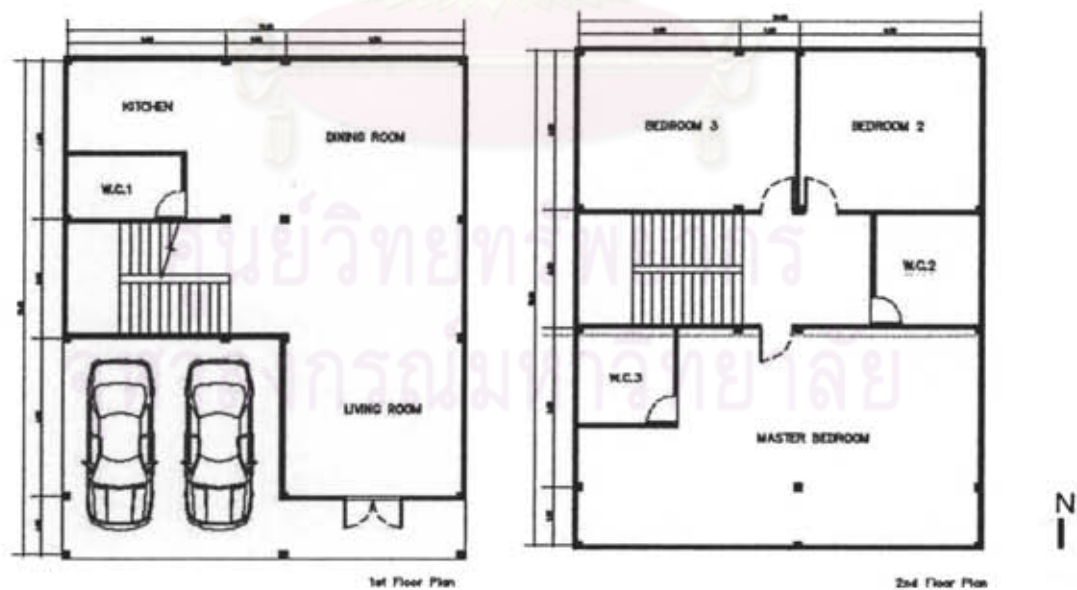
| ห้อง                      | พื้นที่ (ตารางเมตร) |
|---------------------------|---------------------|
| ชั้น 1                    |                     |
| ห้องรับแขก และห้องกินข้าว | 55                  |

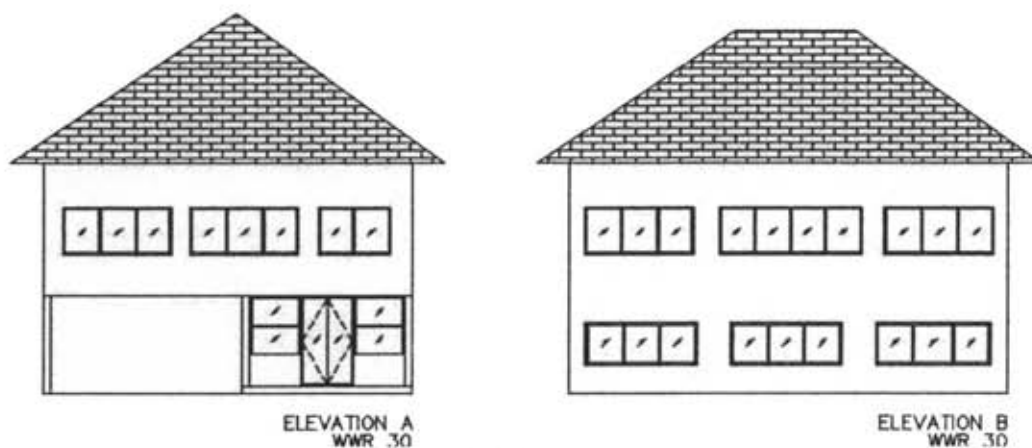
<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร "การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว" ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3 23 – 25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมโบสถ์สกาย จังหวัดกรุงเทพฯ ฯ "

ตาราง 4.1 (ต่อ)

| ห้อง                     | พื้นที่ (ตารางเมตร) |
|--------------------------|---------------------|
| ห้องครัว                 | 9                   |
| ห้องพักผ่อน และบันได     | 38                  |
| ห้องน้ำ 1 และห้องเก็บของ | 9                   |
| รวมพื้นที่ชั้น 1         | 111                 |
| ชั้น 2                   |                     |
| ห้องนอนใหญ่              | 50                  |
| ห้องน้ำ 2                | 6                   |
| ห้องนอน 2                | 21.60               |
| ห้องนอน 3                | 18.40               |
| ห้องน้ำ 3                | 6                   |
| รวมพื้นที่ชั้น 2         | 102                 |
| รวมพื้นที่ทั้งหมด        | 213                 |

ภาพที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของกรณีศึกษา ประกอบด้วย แปลนพื้นที่ชั้น 1,2 และรูปด้านอาคาร





#### 4.2 รายละเอียดองค์ประกอบอาคาร ตารางที่ 4.2 รายละเอียดวัสดุประกอบอาคาร

| รายการ         | รายการ                         | รายละเอียด                                  | วัสดุเก็บผิว     |
|----------------|--------------------------------|---|------------------|
| พื้น           | พื้นที่ชั้นล่าง                | พื้นที่คอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป ชนิดลอน       | กระเบื้องเซรามิก |
|                | พื้นที่จอดรถ                   | พื้นที่คอนกรีตหล่อในที่                     | คอนกรีตฉาบเรียบ  |
|                | พื้นที่ชั้นบน                  | พื้นที่คอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป ชนิดแผ่นเรียบ | ไม้เนื้อแข็ง     |
|                | พื้นที่ห้องน้ำ                 | คอนกรีตหล่อในที่                            | กระเบื้องเซรามิก |
| ผนัง           | ผนังทั่วไป                     | ก่ออิฐฉาบผิว ฉาบปูนเรียบ                    | ทาสีน้ำพลาสติก   |
|                | ผนังห้องน้ำ                    | ก่ออิฐฉาบผิว ฉาบปูนเรียบ                    | กระเบื้องเซรามิก |
| ฝ้าเพดานภายนอก |                                | ฝ้าซีเมนต์แผ่นเรียบ                         | ทาสีน้ำพลาสติก   |
| ฝ้าเพดานภายใน  |                                | ฝ้ายิปซัมบอร์ด                              | ทาสีน้ำพลาสติก   |
| หลังคา         | กระเบื้องหลังคาซี<br>แพคโมเนีย |   |                  |
| ประตู          | วงกบ                           | ไม้เนื้อแข็ง                                |                  |
|                | บานประตูภายนอก                 | ไม้เนื้อแข็ง                                |                  |
|                | บานประตูภายใน                  | บาน H.D.F.                                  |                  |
|                | บานประตูห้องบริการ             | บานพลาสติกสังเคราะห์ (PVC)                  |                  |
| หน้าต่าง       | วงกบ 1                         | ไม้เนื้อแข็ง                                |                  |
|                | บานหน้าต่างทั่วไป 1            | ไม้เนื้อแข็ง กระจกทึบกระจกใส                |                  |
|                | วงกบ 2                         | อลูมิเนียม สี Powder Coat                   |                  |
|                | บานหน้าต่างทั่วไป 2            | อลูมิเนียม สี Powder Coat กระจกทึบกระจกใส   |                  |

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าวัสดุที่เลือกใช้ประกอบอาคาร

| Type     | วัสดุ (w/m <sup>2</sup> °C)                      | U-value | SHGC |
|----------|--|---------|------|
| หลังคา   | กระเบื้องโมเนีย ฝ้าเพดาน<br>ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. | 1.365   |      |
| ผนัง     | ก่ออิฐฉาบปูนทั้งภายใน<br>ภายนอก หนา 10 ซม.       | 3.473   |      |
| หน้าต่าง | บานอลูมิเนียม หนา 1.5 มม.<br>กระจกใส 6 มม.       | 5.871   | 0.73 |

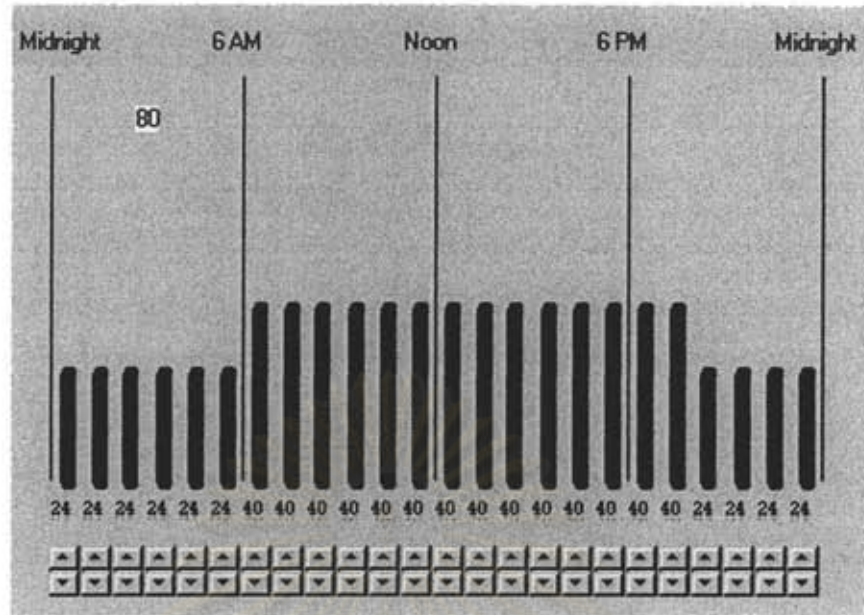
#### 4.3 ลักษณะพฤติกรรมการใช้งานของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและ เครื่องใช้ไฟฟ้า

ทางด้านสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ผู้วิจัยได้กำหนดค่าคงที่ไว้ดังต่อไปนี้

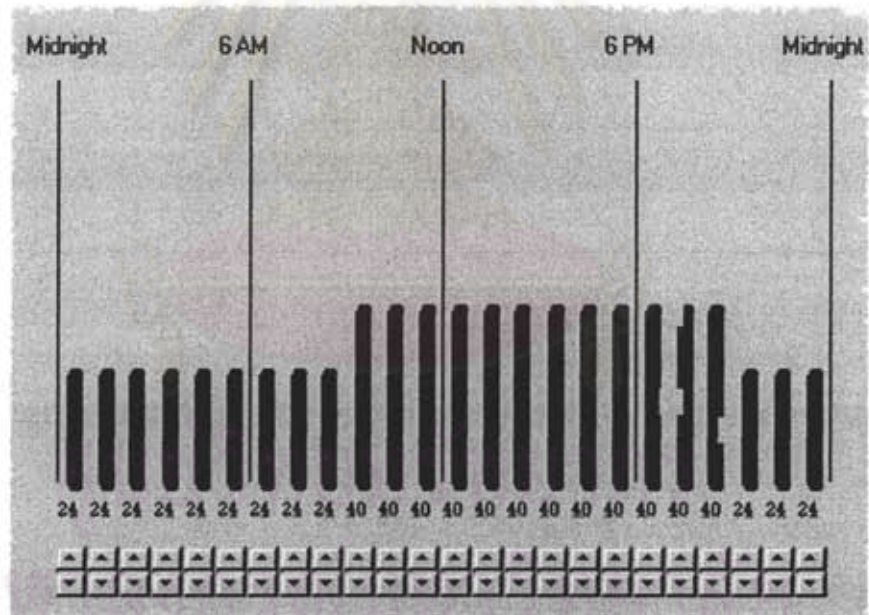
1. จำนวนผู้อาศัย 4 คนต่อหลัง
2. มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเฉพาะชั้น 2 (ห้องนอน) เท่านั้น
3. ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศที่ 24 องศาเซลเซียส
4. มีการกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศในห้องนอนดังนี้
  - 4.1 วันจันทร์-ศุกร์ จะใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 20.00 – 06.00 น.
  - 4.2 วันหยุดสุดสัปดาห์ จะใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 21.00 – 08.00 น.
5. ตั้งแต่วันจันทร์-ศุกร์กำหนดให้มีผู้อาศัยเต็มจำนวนใน ระหว่างเวลา 18.00 – 07.00 น.
6. วันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีผู้อาศัยคิดเป็นจำนวน 80% ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง
7. การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างคำนวณจากแบบก่อสร้าง คิด เป็น 7.53 Watt/sq.m.
8. การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์คิดเป็น 8.61 Watt/sq.m.
9. อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ประกอบด้วย โทรทัศน์ 3 เครื่อง วิทยุเครื่องเสียง 2 ชุด พัดลมตั้งโต๊ะ 1 เครื่อง คอมพิวเตอร์และพริ้นเตอร์ 2 ชุด เต้าไมโครเวฟ 1 เครื่อง หม้อหุงข้าว 1 เครื่อง เครื่องทำน้ำร้อน 2 เครื่อง เครื่องบิมน้ำ 1 เครื่อง



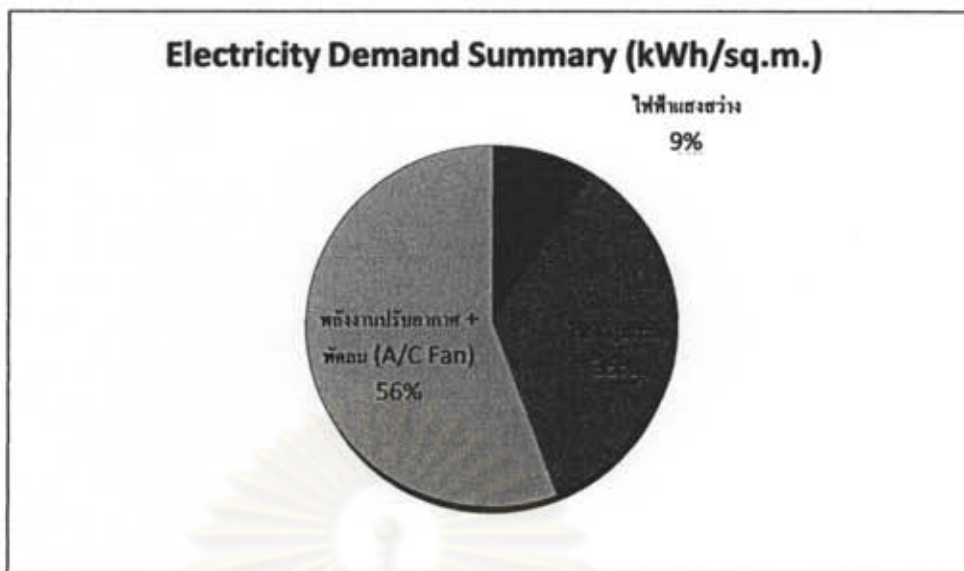
ภาพที่ 4.2 แสดงตารางเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศของวันจันทร์-ศุกร์



ภาพที่ 4.3 แสดงตารางเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศของวันหยุดสุดสัปดาห์



ภาพที่ 4.4 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละส่วน



เนื่องจากการออกแบบบ้านพักอาศัยในปัจจุบันมีความหลากหลายทางด้านรูปร่างและลักษณะของเปลือกอาคารโดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของช่องเปิดซึ่งจะมีผลต่อการใช้พลังงาน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยที่มีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารตั้งแต่ 10% -100% (WWR 10 - WWR 100) เพื่อให้ทราบถึงค่าการใช้พลังงานในขนาดสัดส่วนช่องเปิดที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

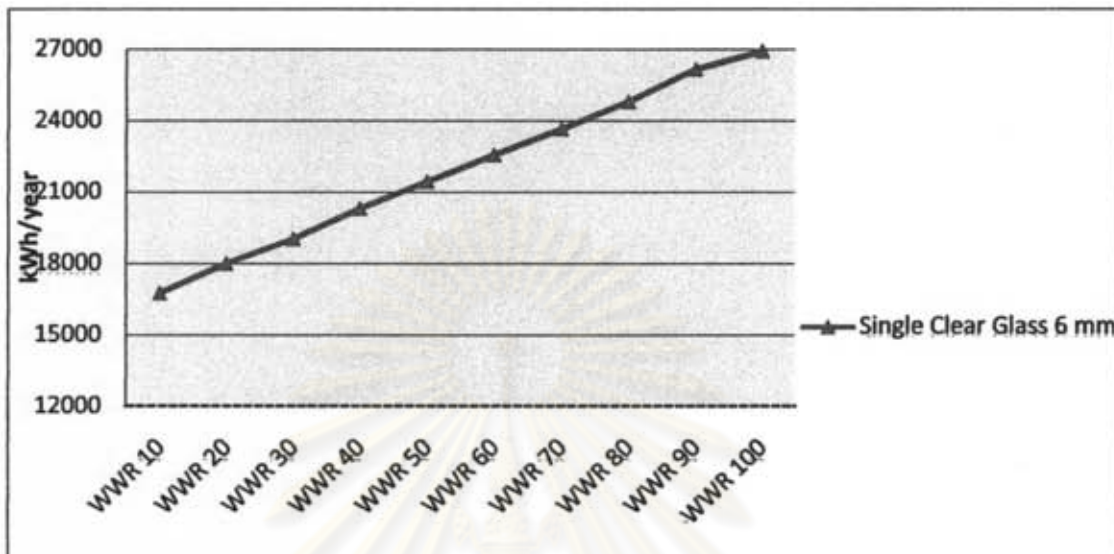
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจกใสชั้นเดียวกับ WWR ขนาดต่าง ๆ

BASECASE (Single ClearGlass 6 mm)

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh/year)             | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|  | WWR 10   | WWR 20 | WWR 30 | WWR 40 | WWR 50 | WWR 60 | WWR 70 | WWR 80 | WWR 90 | WWR 100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting)                     | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767   |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์ (Appliances)                    | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701   |
| พลังงานปรับอากาศ (Cooling)                   | 6,772  | 7,785  | 8,619  | 9,653  | 10,573 | 11,482 | 12,370 | 13,299 | 14,414 | 15,033  |
| พัดลม (A/C Fan)                              | 1,531  | 1,760  | 1,957  | 2,198  | 2,411  | 2,621  | 2,830  | 3,048  | 3,289  | 3,435   |
| TOTAL  | 16,771   | 18,013 | 19,044 | 20,319 | 21,452 | 22,571 | 23,668 | 24,815 | 26,171 | 26,936  |
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย (kWh/sq.m.) | 79   | 85     | 89     | 95     | 101    | 106    | 111    | 117    | 123    | 126     |

จากที่ 4.4 ทำให้ทราบถึงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของอาคารต้นแบบ WWR30 อยู่ที่ 19,044 kWh/year โดยที่ค่าเฉลี่ยต่อตารางเมตรเท่ากับ 89.41 kWh/sq.m. ต่อปี

ภาพที่ 4.5 แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจกใสชั้นเดียวกับ WWR ขนาดต่าง ๆ



จากภาพที่ 4.5 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของบ้านที่มีสัดส่วน WWR 10 ถึง WWR 100 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าปรับอากาศแปรผันโดยตรงกับสัดส่วนขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร ซึ่งหมายความว่าขนาดพื้นที่กระจกกับพื้นที่ผนังเปลือกอาคารบ้านพักอาศัยมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารอย่างมาก ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 79 kWh/sq.m. ในอาคารที่มีค่า WWR 10 เป็น 126 kWh/sq.m. ในอาคารที่มีค่า WWR 100

ตารางที่ 4.5 สัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่ขนาดตั้งแต่ WWR10 – WWR100

| WINDOW TO WALL RATIO (Window Height = 3.5 m.)<br>ของสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังชั้นที่ 2 |        |        |
|--|--------|--------|
|  | Height | Unit   |
| WWR 100  | 3.5    | metres |
| WWR 90   | 3.15   | metres |
| WWR 80   | 2.8    | metres |
| WWR 70   | 2.45   | metres |

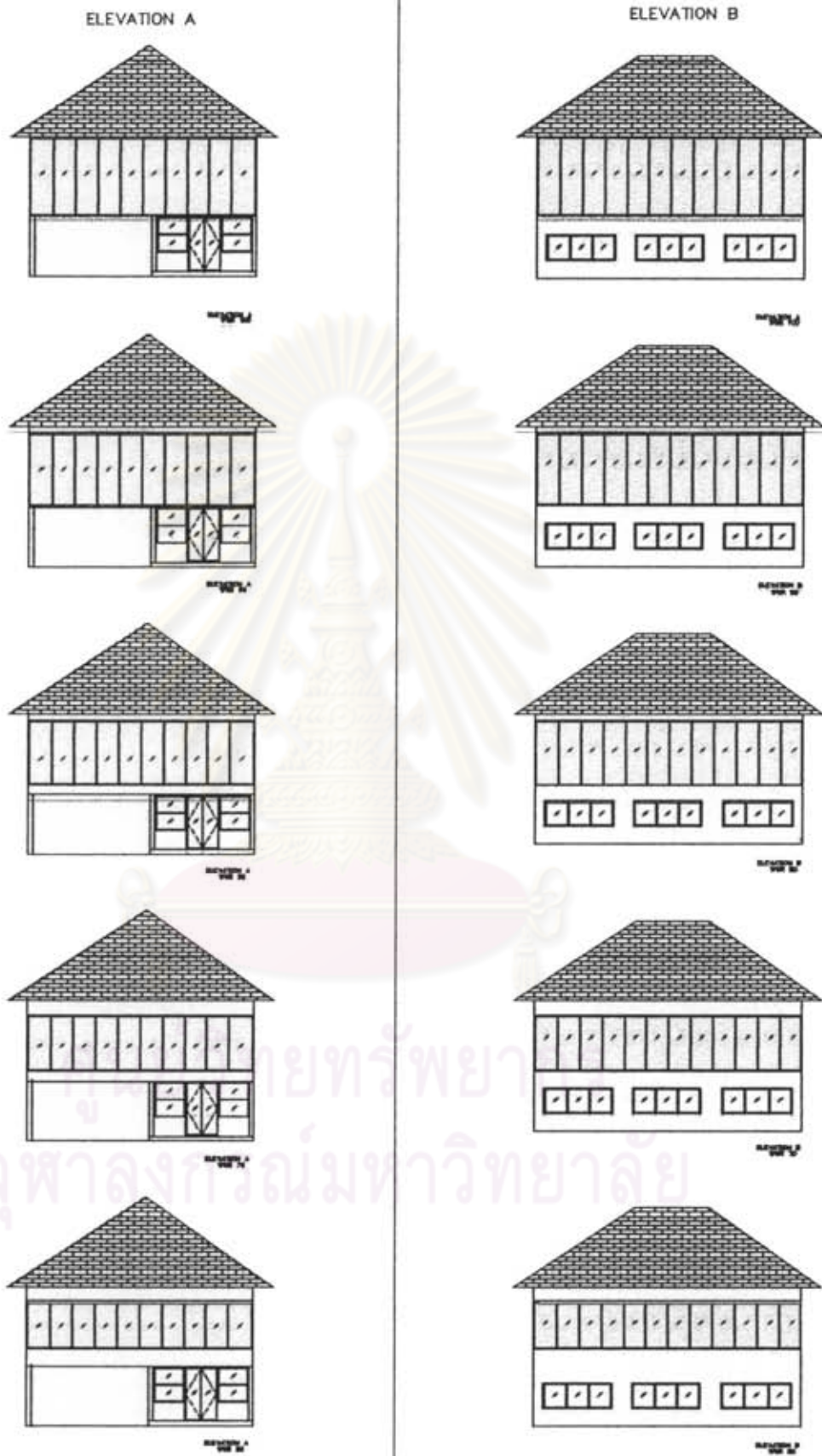
## ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

| WINDOW TO WALL RATIO (Window Height = 3.5 m.)<br>ของสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังของชั้นที่ 2 |        |        |
|---|--------|--------|
|   | Height | Unit   |
| WWR 60  | 2.1    | metres |
| WWR 50  | 1.75   | metres |
| WWR 40  | 1.4    | metres |
| WWR 30  | 1.05   | metres |
| WWR 20  | 0.7    | metres |
| WWR 10  | 0.35   | metres |



ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.6 ภาพรูปด้าน A และ B ใน WWR ขนาดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.6 (ต่อ)



ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องด้วยสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังจะมีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานเพราะฉะนั้นในการจำลองด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1 ผู้วิจัยจึงได้จำลองการเปรียบเทียบผนังทางเลือกอาคารชนิดต่าง ๆ กับ WWR ขนาดตั้งแต่ WWR10-WWR100 ควบคู่ไปด้วยกันเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้นและกระจกประสิทธิภาพสูง

#### ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอาคารทางเลือก (Alternative Case)

จากผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารต้นแบบ (BASECASE) ซึ่งใช้เปลือกอาคารเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนและกระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม. พบว่าค่าการใช้พลังงานยังถือว่าสูง งานวิจัยนี้จึงได้สร้างอาคารทางเลือก (ALTERNATIVE CASE) แบบต่าง ๆ รวมไปถึงอาคารทางเลือกที่มีการใช้แผงกันแดดแบบผนัง 2 ชั้นที่สัดส่วนการบังแดดขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุเปลือกอาคารชนิดอื่น ๆ เช่น กระจกประสิทธิภาพสูง และฉนวนกันความร้อน

โดยที่จะกำหนดให้ทำการเปลี่ยนแปลงเปลือกอาคารทางเลือกเฉพาะชั้น 2 ที่มีการปรับอากาศเท่านั้น โดยที่จะทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDoe4.1 โดยทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเปลือกอาคารชนิดต่าง ๆ โดยผู้วิจัยได้แบ่งได้ผนังเปลือกอาคารเป็น 9 อาคารทางเลือกตามตารางที่ 4.6

#### ตารางที่ 4.6 เปลือกอาคารทางเลือกชนิดต่าง ๆ

| ทางเลือก        | เปลือกอาคาร | ทางเลือกเปลือกอาคารบ้านพักอาศัย  |
|-----------------|-------------|----------------------------------|
| BASECASE        | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมอดูชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม.        |
| อาคารทางเลือก A | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมอดูชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจก Double Low-E               |
| อาคารทางเลือก B | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมอดูชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจก Double Reflective Glass    |
| อาคารทางเลือก C | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมอดูชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม.        |
|                 | ฉนวน        | ฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว        |
| อาคารทางเลือก D | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมอดูชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม.        |
|                 | แผงกันแดด   | บังแดดที่ 60 %                   |

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

| ทางเลือก        | เปลือกอาคาร | ทางเลือกเปลือกอาคารบ้านพักอาศัย    |
|-----------------|-------------|------------------------------------|
| อาคารทางเลือก E | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมวลเบาชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม.          |
|                 | แผงกันแดด   | บังแดดที่ 80 %                     |
| อาคารทางเลือก F | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมวลเบาชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม.          |
|                 | แผงกันแดด   | บังแดดที่ 100 %                    |
| อาคารทางเลือก G | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมวลเบาชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม.          |
|                 | ฉนวน        | ฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว          |
|                 | แผงกันแดด   | บังแดดที่ 60 %                     |
| อาคารทางเลือก H | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมวลเบาชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม.          |
|                 | ฉนวน        | ฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว          |
|                 | แผงกันแดด   | บังแดดที่ 80 %                     |
| อาคารทางเลือก I | ผนัง        | ผนังก่ออิฐมวลเบาชั้นเดียว + ฉาบปูน |
|                 | กระจก       | กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม.          |
|                 | ฉนวน        | ฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว          |
|                 | แผงกันแดด   | บังแดดที่ 100 %                    |

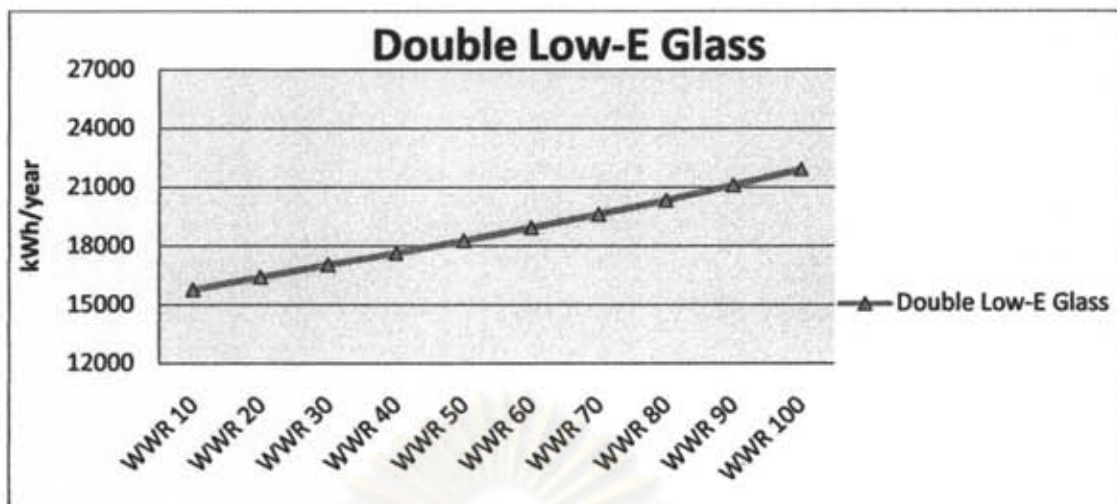
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจก Double Low-E กับ WWR ขนาดต่าง ๆ

อาคารทางเลือก A (Double Low-E Glass)

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year)              | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
|  | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting)                         | 1,767  | 1,767     | 1,767     | 1,767     | 1,767     | 1,767     | 1,767     | 1,767     | 1,767     | 1,767      |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์ (Appliances)                        | 6,701  | 6,701     | 6,701     | 6,701     | 6,701     | 6,701     | 6,701     | 6,701     | 6,701     | 6,701      |
| พลังงานปรับอากาศ (Cooling)                       | 5,962  | 6,481     | 6,989     | 7,476     | 7,998     | 8,523     | 9,074     | 9,653     | 10,279    | 10,944     |
| พัดลม (A/C Fan)                                  | 1,351  | 1,474     | 1,592     | 1,706     | 1,829     | 1,958     | 2,085     | 2,220     | 2,364     | 2,518      |
| TOTAL  | 15,781   | 16,423    | 17,049    | 17,650    | 18,295    | 18,949    | 19,627    | 20,341    | 21,111    | 21,930     |
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้<br>สอย (kWh/sq.m.) | 74   | 77        | 80        | 83        | 86        | 89        | 92        | 95        | 99        | 103        |



ภาพที่ 4.7 แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจก Double Low-E กับ WWR ขนาดต่าง ๆ



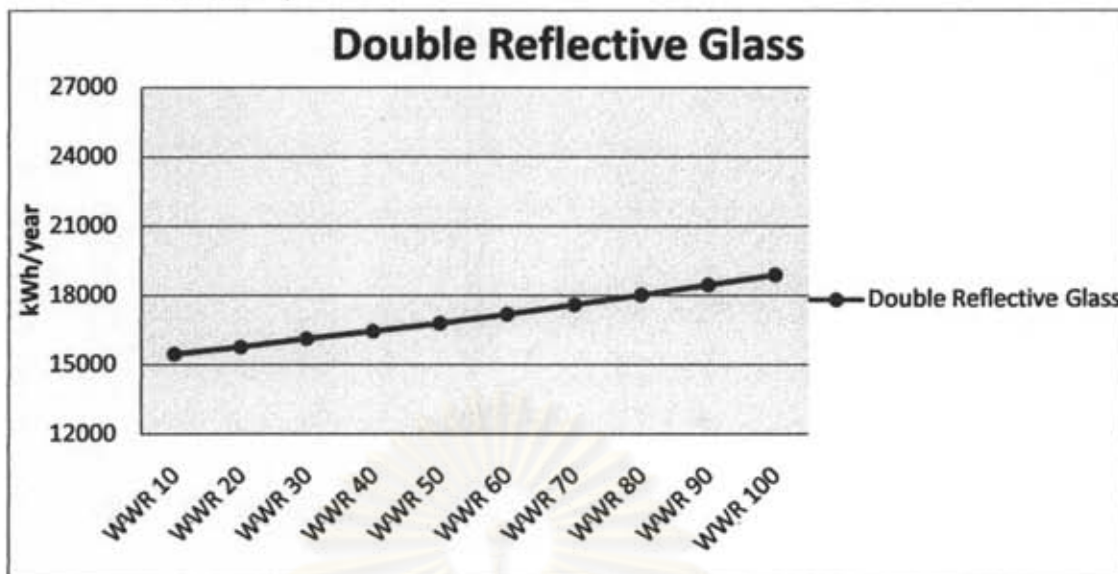
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจก Double Reflective Glass กับ WWR ขนาดต่าง ๆ

อาคารทางเลือก B (Double Reflective Glass)

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh/year)             | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|  | WWR 10   | WWR 20 | WWR 30 | WWR 40 | WWR 50 | WWR 60 | WWR 70 | WWR 80 | WWR 90 | WWR 100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting)                     | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767  | 1,767   |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์ (Appliances)                    | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701  | 6,701   |
| พลังงานปรับอากาศ (Cooling)                   | 5,698  | 5,940  | 6,228  | 6,477  | 6,735  | 7,044  | 7,377  | 7,701  | 8,038  | 8,382   |
| พัดลม (A/C Fan)                              | 1,298  | 1,371  | 1,447  | 1,517  | 1,588  | 1,672  | 1,761  | 1,853  | 1,944  | 2,035   |
| TOTAL  | 15,464   | 15,779 | 16,143 | 16,462 | 16,791 | 17,184 | 17,606 | 18,022 | 18,450 | 18,885  |
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย (kWh/sq.m.) | 73   | 74     | 76     | 77     | 79     | 81     | 83     | 85     | 87     | 89      |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.8 แสดงค่าการใช้พลังงานของการใช้กระจก Double Reflective Glass กับ WWR ขนาดต่าง ๆ

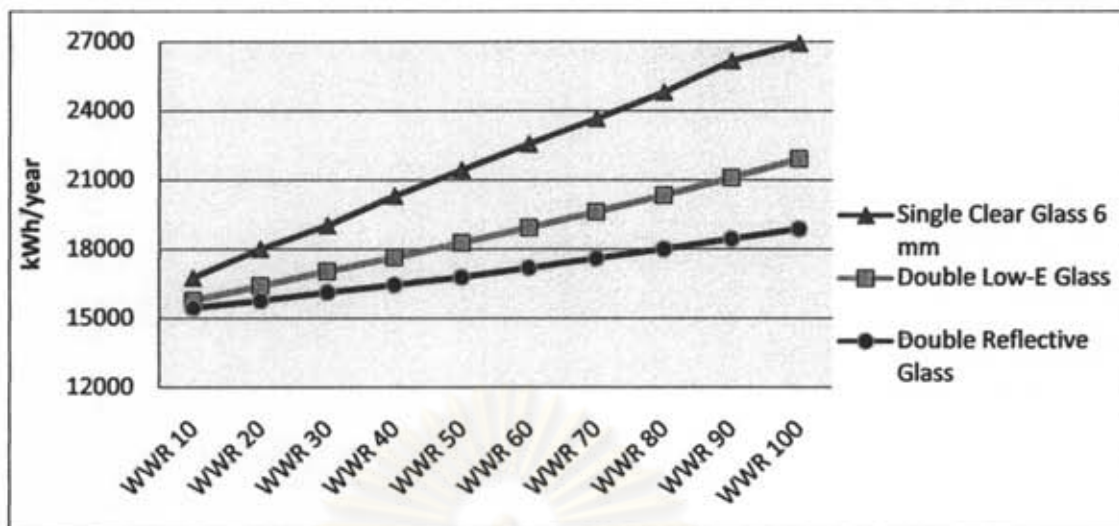


ตารางที่ 4.9 ผลการจำลองการใช้พลังงานสำหรับบ้านเดี่ยวที่มี WWR = 10 – 100 % โดยเปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระจก 3 ชนิด

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                     | WWR  | WWR    | WWR    | WWR    | WWR    | WWR    | WWR    | WWR    | WWR    | WWR    |
|                                     | 10   | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     | 70     | 80     | 90     | 100    |
| Single Clear Glass 6 mm             | 16,771   | 18,013 | 19,044 | 20,319 | 21,452 | 22,571 | 23,668 | 24,815 | 26,171 | 26,936 |
| Double Low-E Glass                  | 15,781   | 16,423 | 17,049 | 17,650 | 18,295 | 18,949 | 19,627 | 20,341 | 21,111 | 21,930 |
| Double Reflective Glass             | 15,464   | 15,779 | 16,143 | 16,462 | 16,791 | 17,184 | 17,606 | 18,022 | 18,450 | 18,885 |

จากข้อมูลที่ได้ค่าการใช้พลังงานเมื่อใช้กระจกแต่ละชนิด มาเปรียบเทียบกัน ทำให้ทราบว่า ใน WWR30 เมื่อใช้กระจก Double Low-E แล้วค่าการใช้พลังงานต่อปีจะลดลงเหลือ 17,049 kWh/year ซึ่งค่าการใช้พลังงานจะลดลงกว่าการใช้กระจกชั้นเดียวอยู่ที่ 1,995 kWh/year แต่ถ้าใช้เป็นกระจก Double Reflective Glass นั้นจะสามารถลดลงถึง 2,901 kWh/year ดังตารางที่ 4.9

ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระจก 3 ชนิด

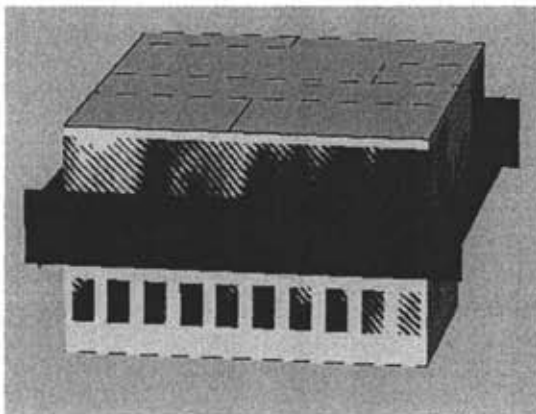


สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงกับกระจกใสชั้นเดียว

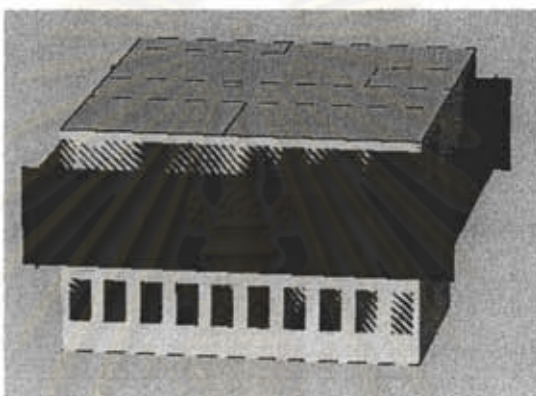
ภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบการใช้กระจกทั้ง 3 ชนิดกับบ้านพักอาศัย 2 ชั้นแบบมาตรฐานที่ไม่มีกำบังแดดใดๆ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อ WWR มีค่าสูงขึ้น การใช้พลังงานไฟฟ้าจะสูงตามไปด้วย โดยเฉพาะกรณีอาคารต้นแบบพบว่าหากใช้กระจก Single Clear Glass 6 mm. จะมีค่าการใช้พลังงานสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีค่า U-Value =  $6.12 \text{ W/m}^2\text{K}$  ค่า SC = 0.95 ส่วนกระจก Double Reflective Glass นั้นจะมีค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุดเพราะมีค่า SC ต่ำที่สุด อยู่ที่ 0.33 และมีค่า U-Value =  $3.50 \text{ W/m}^2\text{K}$  ส่วนกระจก Double Low-E นั้นมีค่า ค่า U-Value =  $2.71 \text{ W/m}^2\text{K}$  ค่า SC = 0.59 ซึ่งยังถือว่า มี SC สูงกว่ากระจก Double Reflective Glass เป็นเหตุให้ค่าการใช้พลังงานสูงกว่ากระจก Double Reflective Glass ซึ่งหมายความว่าถ้าผู้ออกแบบต้องการให้ผนังอาคารมีพื้นที่กระจกเป็นจำนวนมากและยังสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้ด้วยนั้น ควรเลือกใช้กระจกที่มีค่า U-Value และ SC ที่น้อย หรือในอีกนัยยะหนึ่งก็คือ จะต้องมีการบังแดดด้วยอุปกรณ์บังแดดใด ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการจำลองค่าการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกอื่น ๆ ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น ควบคู่ไปกับการใช้กระจกใสชั้นเดียวของอาคารต้นแบบด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1 (ภาพที่ 4.10) โดยการจำลองค่าการใช้พลังงานเริ่มตั้งแต่การบังแดดที่ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100%

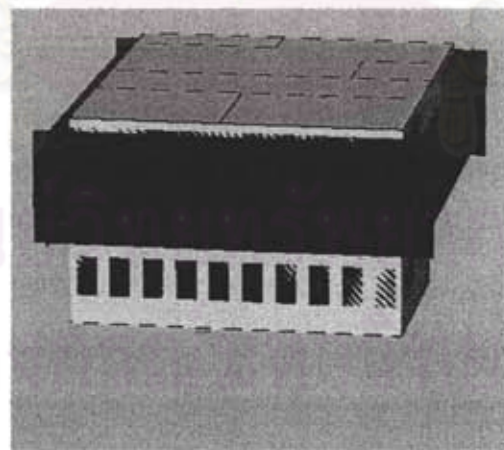
ภาพที่ 4.10 การจำลองการบังแดดที่ 60% ด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1



ภาพที่ 4.11 การจำลองการบังแดดที่ 80% ด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1

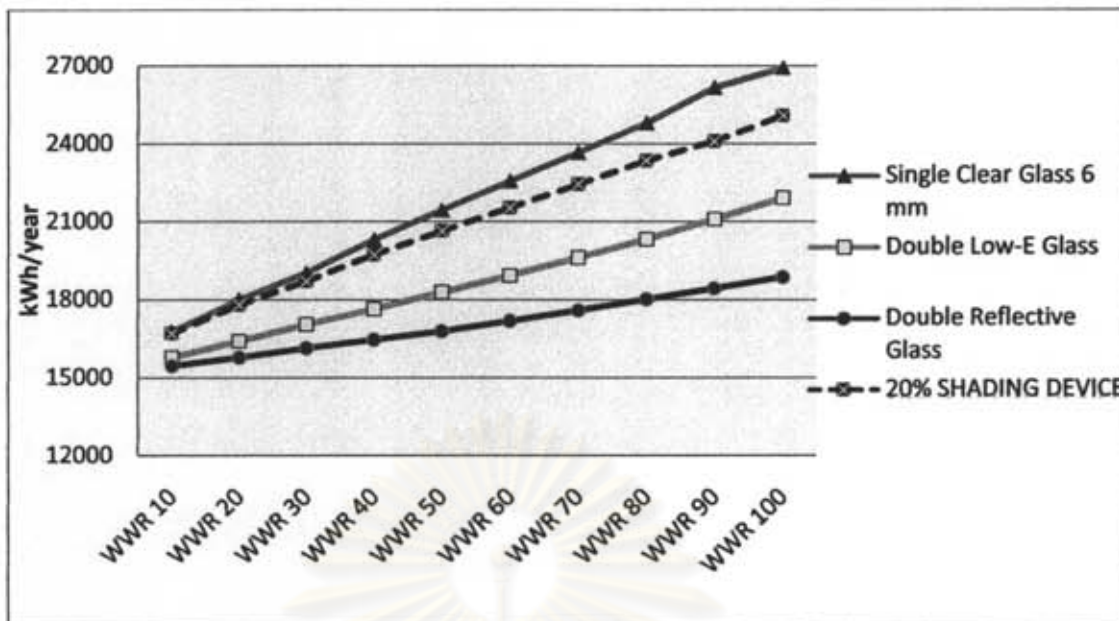


ภาพที่ 4.12 การจำลองการบังแดดที่ 100% ด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1



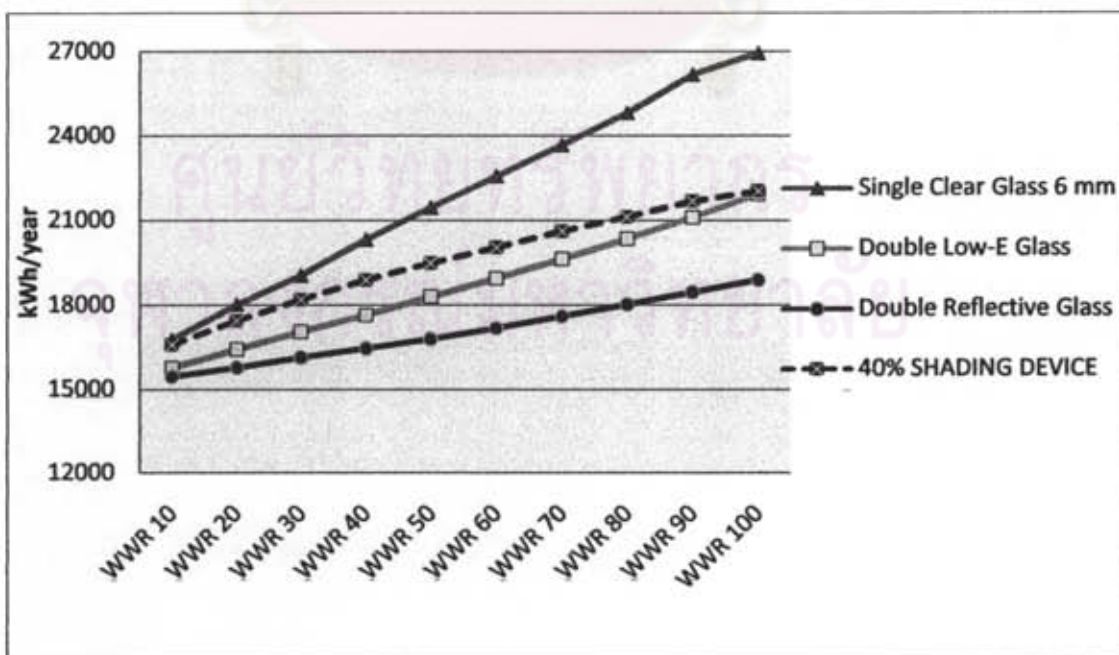
ศูนย์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบการบังแดดที่ 20% กับกระจกชนิดต่าง ๆ



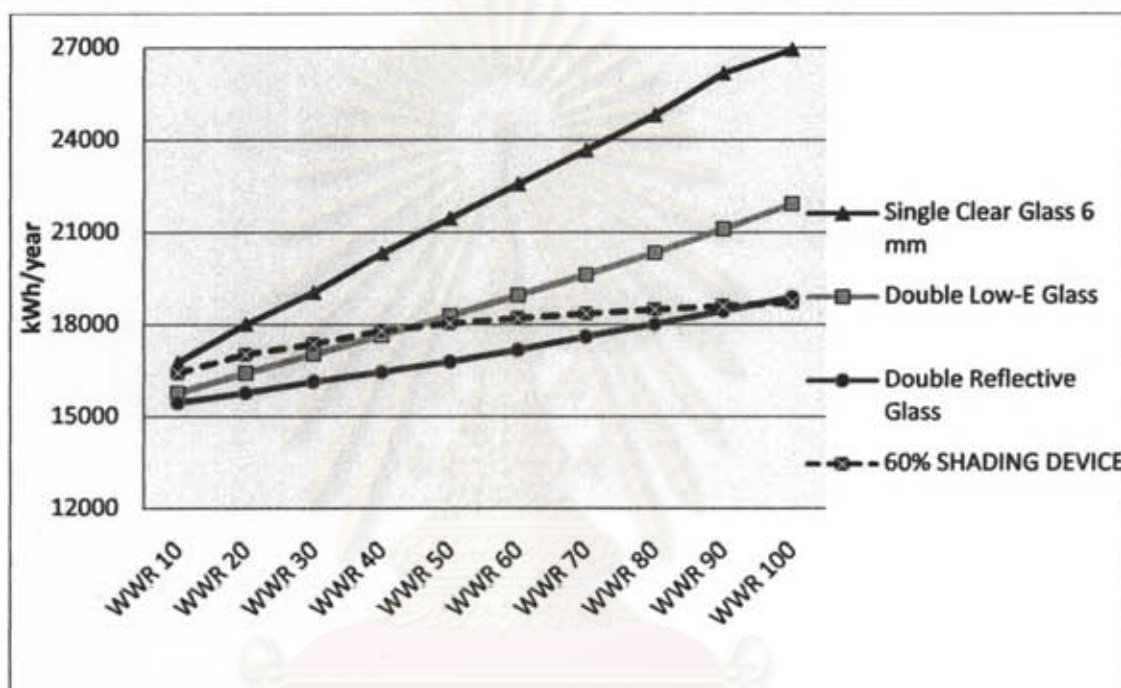
จากภาพที่ 4.13 พบว่าเมื่อใส่ 20% Shading Device ควบคู่ไปกับการใช้กระจกใสชั้นเดียว แล้วค่าการใช้พลังงานจะลดลงไม่มากและยังถือว่าค่าการใช้พลังงานยังสูงกว่าการใช้กระจก Double Low-E และ กระจก Double Reflective จากผลการจำลองนี้ทำให้ทราบได้ว่าการบังแดดที่ 20% นั้น ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานให้กับอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้นได้ดีเท่ากับการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงาน

ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบการบังแดดที่ 40% กับกระจกชนิดต่าง ๆ



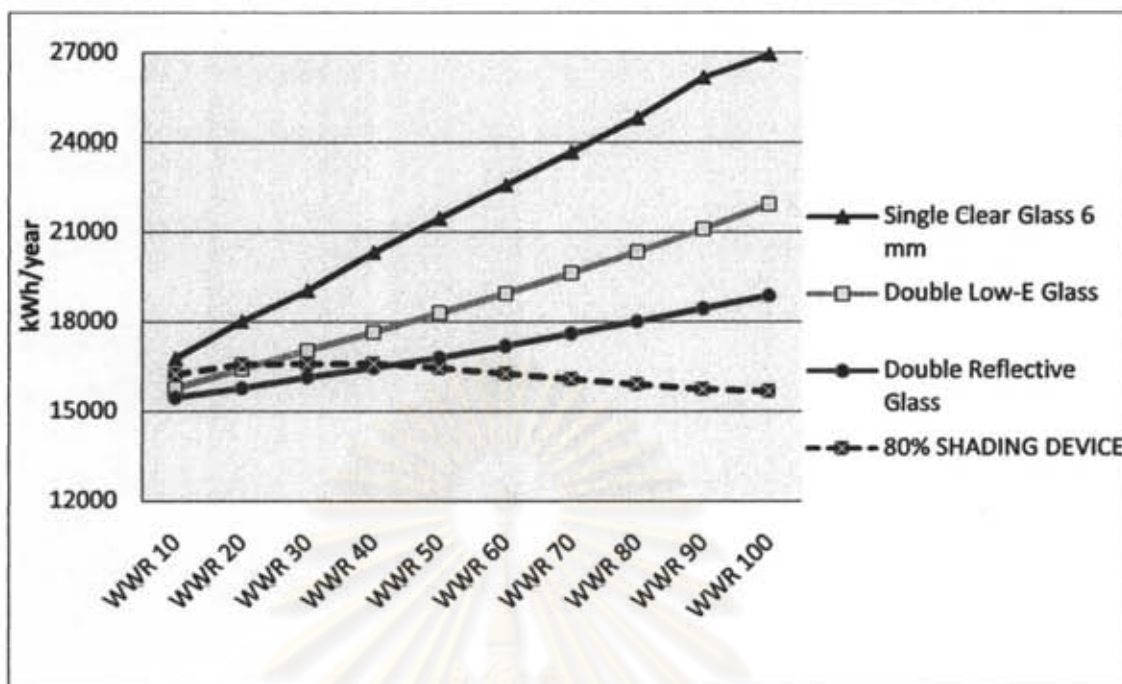
จากภาพที่ 4.14 พบว่าเมื่อใส่ 40% Shading Device ควบคู่ไปกับการใช้กระจกใสชั้นเดียว จะเห็นได้ว่าที่ WWR100 นั้น ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของการบังแดดที่ 40% จะเทียบเท่ากับการใช้กระจก Double Low-E แสดงว่า ที่ WWR100 ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของการบังแดดที่ 40% จะเท่ากับการใช้กระจก Double Low-E แต่ค่าการใช้พลังงานยังสูงกว่าการใช้กระจก Double Reflective Glass ในทุกกรณีของ WWR

ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบการบังแดดที่ 60% กับกระจกชนิดต่าง ๆ



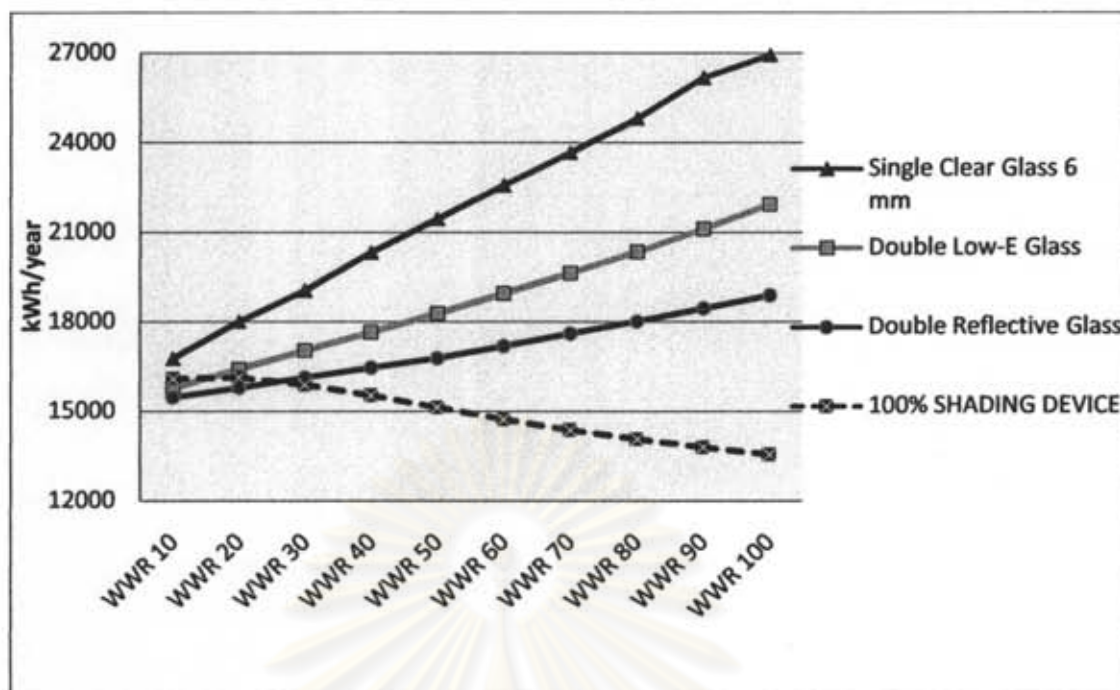
จากภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ Shading Device 60% (อาคารทางเลือก D) แล้วนั้น จะเกิดจุดตัดกับกระจก Double Low-E Glass ที่ WWR 40 ซึ่งนั่นแปลว่า ตั้งแต่ WWR 40 – WWR100 ถ้ามีการบังแดดที่ 60% จะสามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าอาคารทางเลือก A (Double Low-E Glass) แต่เมื่อเปรียบเทียบการบังแดดที่ 60% กับอาคารทางเลือก B (Double Reflective Glass) นั้นพบว่า จะเกิดจุดตัดที่ WWR100 ดังนั้นแสดงว่าอุปกรณ์กันแดดจะมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้กระจก Double Reflective Glass เมื่อมีการบังแดดที่ 60% ขึ้นไป

ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบการบังแดดที่ 80% กับกระจกชนิดต่าง ๆ



จากภาพที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าการบังแดดที่ 80% (อาคารทางเลือก E) ค่าการใช้พลังงาน จะเริ่มลดลงตั้งแต่ WWR 30 มีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ 16,591 kWh/year แล้วจะลดลงไปถึง WWR100 ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ 15,681 kWh/Year ซึ่งหมายความว่ายิ่ง WWR สูง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะลดลงตามไปด้วยซึ่งต่างกับการใช้กระจกประสิทธิภาพสูง ที่เมื่อ WWR เพิ่มมากขึ้นจะยิ่งทำให้ค่าการใช้พลังงานก็จะสูงขึ้นตามลำดับขึ้นอยู่กับชนิดของกระจก และจะเห็นจากกราฟเส้นว่าค่าการใช้พลังงานของการบังแดดที่ 80% กับ WWR ขนาดต่าง ๆ จะเกิดจุดตัดกับกราฟเส้นของ Double Low-E Glass ที่ WWR 20 ซึ่งนั่นแปลว่า ตั้งแต่ WWR 20 – WWR100 ถ้าใช้การบังแดดที่ 80% จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการใช้กระจก Double Low-E และเมื่อเปรียบเทียบการบังแดดที่ 80% กับ Double Reflective Glass นั้นพบว่าจะเกิดจุดตัดที่ WWR 50 ซึ่งนั่นแปลว่า ตั้งแต่ WWR 50 – WWR100 ถ้าใช้การบังแดดที่ 80% จะสามารถประหยัดพลังงานการไฟฟ้ามากกว่าการใช้กระจก Double Reflective Glass

ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบการบังแดดที่ 100% กับกระจกชนิดต่าง ๆ



จากภาพที่ 4.17 จะเห็นได้ถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้นเมื่อให้บังแดดที่ 100% (อาคารทางเลือก F) พบว่าค่าการใช้พลังงานจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อพื้นที่กระจกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายความว่าถ้าบ้านพักอาศัยที่มีสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมากนั้น การติดตั้งแผงกันแดดถือว่าเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดตรงข้ามกับการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานซึ่งค่าการใช้พลังงานจะสูงขึ้นตามพื้นที่กระจกที่เพิ่มมากขึ้น

**สรุปผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบการบังแดดที่ 100% (อาคารทางเลือก F) กับการใช้กระจกประสิทธิภาพสูง (อาคารทางเลือก A และ B)**

ผลจากการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าการใช้อุปกรณ์บังแดด แบบปิดเต็ม (100%) ในเวลากลางวันที่ไม่มีใครอยู่บ้าน จะช่วยประหยัดพลังงานมากที่สุด และยังประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงใด ๆ ทั้งสิ้น สรุปได้ว่า กระจก Single Clear ที่มีการกันแดดเวลากลางวันอย่างดี จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงที่ไม่มีการกันแดดที่ดี โดยเฉพาะ WWR80 – WWR100 จะเป็นลักษณะการบังแดดที่ครอบคลุมทั้งหมด จนทำให้กระจกมีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนไม่แตกต่างจากผนังที่มีค่า U-Value สูง แต่ไม่ได้รับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่กระจกในเวลากลางวัน ดังนั้นเมื่อพื้นที่กระจกมีมากขึ้นหมายความว่า การระบายความร้อนสะสมจากภายในออกสู่ภายนอกในเวลากลางคืนจึงเกิดขึ้นได้มากกว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่มีค่าการกันความร้อนสูง (ผนังฉนวน) ดังนั้นค่าการใช้พลังงานจึงลดลง จากการที่เครื่องปรับอากาศทำงานหนักน้อยลงในเวลาหัวค่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำ



การวิเคราะห์ผลของการใช้ฉนวนผนังโดยละเอียด จึงได้การจำลองอาคารทางเลือก C ที่มีการใส่ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว ที่ด้านในผนังพร้อมมีช่องว่างอากาศแล้วกรุทับด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด ซึ่งมีค่า U-Value = 0.302 W/m<sup>2</sup>K

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าการใช้พลังงานของการบังแดดที่ 20%-100%

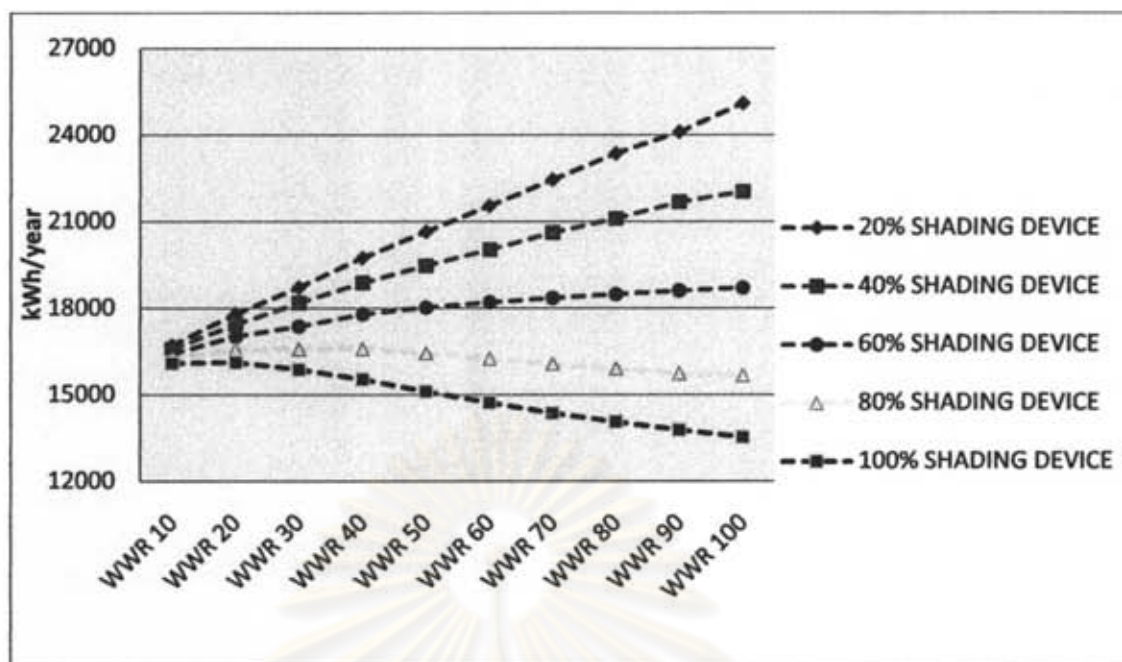
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|-------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|                                     | WWR 10   | WWR 20 | WWR 30 | WWR 40 | WWR 50 | WWR 60 | WWR 70 | WWR 80 | WWR 90 | WWR 100 |
| 20% SHADING DEVICE                  | 16,709   | 17,810 | 18,723 | 19,743 | 20,654 | 21,544 | 22,451 | 23,357 | 24,107 | 25,098  |
| 40% SHADING DEVICE                  | 16,592   | 17,437 | 18,188 | 18,884 | 19,480 | 20,040 | 20,614 | 21,116 | 21,683 | 22,043  |
| 60% SHADING DEVICE                  | 16,425   | 17,030 | 17,371 | 17,796 | 18,036 | 18,210 | 18,356 | 18,496 | 18,611 | 18,722  |
| 80% SHADING DEVICE                  | 16,246   | 16,577 | 16,591 | 16,602 | 16,448 | 16,265 | 16,080 | 15,910 | 15,746 | 15,681  |
| 100% SHADING DEVICE                 | 16,098   | 16,135 | 15,887 | 15,534 | 15,127 | 14,728 | 14,377 | 14,068 | 13,797 | 13,551  |

### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการใช้แผงกันแดดแบบผนัง 2 ชั้น

จากตารางที่ 4.10 แสดงค่าการใช้พลังงานของการบังแดดที่สัดส่วนต่าง ๆ กันควบคู่ไปกับการใช้กระจกใสชั้นเดียว โดยพบว่า การใช้แผงกันแดดเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นควรจะใช้กับการบังแดดตั้งแต่ 60% ขึ้นไปและจะยังมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อผนังอาคารมีค่า WWR สูง โดยพบว่าเมื่อใช้การบังแดดที่ 100% กับ WWR100 นั้นค่าการใช้พลังงานจะอยู่ที่ 13,551kWh/year (อาคารทางเลือก F) และถ้าเปรียบเทียบกับอาคาร BASECASE ที่มีค่า WWR30 จะมีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ 19,044 kWh/year และใช้การบังแดดที่ 100% นั้นกับ WWR30 จะสามารถลดการใช้พลังงานได้เพียง 3,157 kWh/year ซึ่งต่างกับอาคารที่ค่า WWR100 ที่มีการบังแดดที่ 100% นั้นจะสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ถึง 13,385 kWh/year

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบการบังแดดที่ 20%-100% กับ WWR ขนาดต่าง ๆ

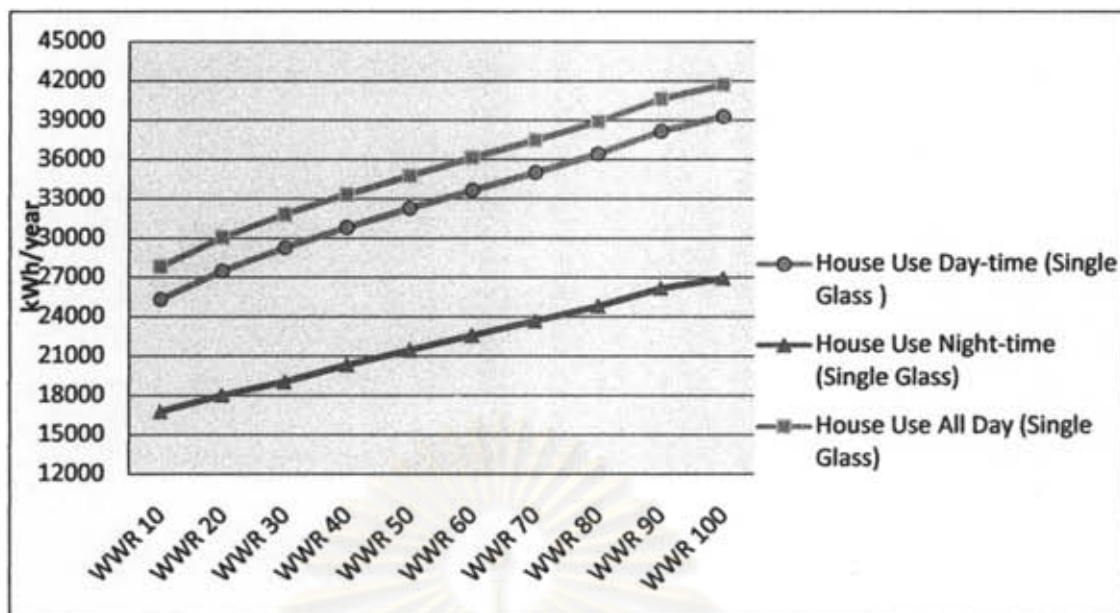


จากภาพที่ 4.18 แสดงถึงการเปรียบเทียบการใช้แสงกันแดดขนาดต่าง ๆ กับ WWR ขนาดต่าง ๆ ซึ่งเห็นชัดเจนว่า ในการบังแดดที่ 20%-40% ค่าการใช้พลังงานจะสูงขึ้นตามสัดส่วนพื้นที่กระจกที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเส้นกราฟจะมีลักษณะที่ขึ้นคล้ายกับเส้นกราฟของการใช้กระจกประสิทธิภาพสูง ดังภาพที่ 4.9 แต่เมื่อมีการบังแดดที่สูงขึ้นที่ 80%-100% ถ้าดูจากเส้นกราฟจะพบว่ายิ่งค่า WWR มีเพิ่มขึ้น ค่าการใช้พลังงานของอาคารทางเลือก E กับ F จะลดลง ซึ่งทำให้สามารถชี้ชัดได้ว่าขนาดของพื้นที่กระจกและสัดส่วนของการบังแดดมีผลโดยตรงต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ 4.11 แสดงการใช้พลังงานเปรียบเทียบการใช้เครื่องปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลา

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนของเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|-------------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|                                     | WWR 10  | WWR 20 | WWR 30 | WWR 40 | WWR 50 | WWR 60 | WWR 70 | WWR 80 | WWR 90 | WWR 100 |
| House Use Day-time (Single Glass)   | 25,320  | 27,496 | 29,262 | 30,822 | 32,277 | 33,661 | 35,008 | 36,450 | 38,172 | 39,309  |
| House Use Night-time (Single Glass) | 16,771  | 18,013 | 19,044 | 20,319 | 21,452 | 22,571 | 23,668 | 24,815 | 26,171 | 26,936  |
| House Use All Day (Single Glass)    | 27,811  | 30,051 | 31,807 | 33,348 | 34,779 | 36,143 | 37,468 | 38,897 | 40,630 | 41,719  |

ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลา



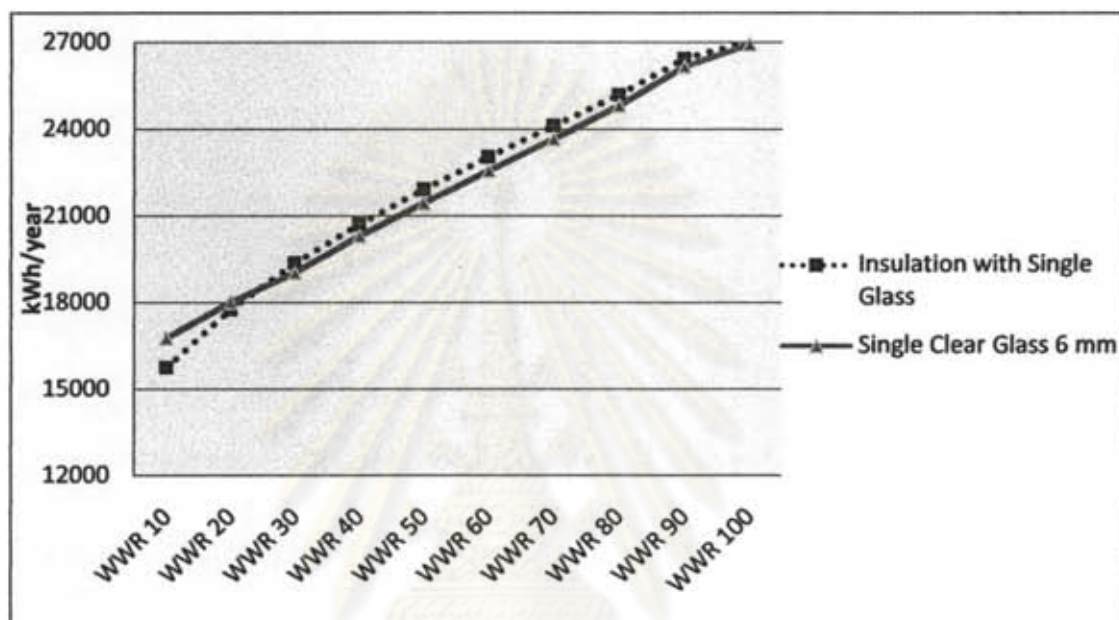
จากภาพที่ 4.19 พบว่าเมื่อจำลองค่าการใช้พลังงานกับอาคารต้นแบบ (BASECASE) โดยที่การจำลองการใช้เครื่องปรับอากาศตามช่วงเวลาต่าง ๆ ตามที่ผู้วิจัยได้กำหนด โดยที่จำลองการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. พบว่าค่าการใช้พลังงานจะสูงถึง 31,807 kWh/year แล้วอีกกรณีหนึ่งคือเปิดใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงกลางวันและปิดตอนกลางคืน ค่าการใช้พลังงานจะอยู่ที่ 29,262 kWh/year ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อาคารความร้อนภายนอกเป็นเหตุปัจจัยโดยตรงที่ต่อการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานเนื่องจากแสงอาทิตย์และความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคารเข้ามาในเวลากลางวันจะสร้างภาระการทำความเย็นให้เครื่องปรับอากาศมากขึ้น แต่เนื่องด้วยอาคารพักอาศัยส่วนมากจะมีการใช้เครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่จึงไม่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นในช่วงเวลากลางวันเพราะฉะนั้นค่าการใช้พลังงานจึงลดลงตามไปด้วย

จากปัญหาเบื้องต้นที่เกิดจากความเชื่อส่วนใหญ่ที่คิดว่าการใช้ฉนวนกันความร้อนกับผนังอาคารนั้นจะสามารถลดพลังงานลงได้ ซึ่งจะลดลงได้กับอาคารที่มีการใช้งานในเวลากลางวัน อย่างเช่นอาคารสำนักงาน แต่กับบ้านพักอาศัยที่มีการใช้งานในเวลากลางคืนเสียเป็นส่วนใหญ่ พบว่าเมื่อใส่ฉนวนกันความร้อนกับอาคารต้นแบบ (BASECASE) ค่าการใช้พลังงานกลับเพิ่มขึ้นเป็น 19,377 kWh/year ซึ่งแสดงว่าการใช้ฉนวนในบ้านพักอาศัยที่จึงไม่มีความจำเป็น

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าการใช้พลังงานของผนังที่มีฉนวนกันความร้อน

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| Single Clear Glass 6 mm             | 16,771   | 18,013    | 19,044    | 20,319    | 21,452    | 22,571    | 23,668    | 24,815    | 26,171    | 26,936     |
| Insulation with Single Glass        | 15,757   | 17,760    | 19,377    | 20,717    | 21,931    | 23,043    | 24,125    | 25,193    | 26,443    | 27,059     |

ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่ผนังติดฉนวนกันความร้อน



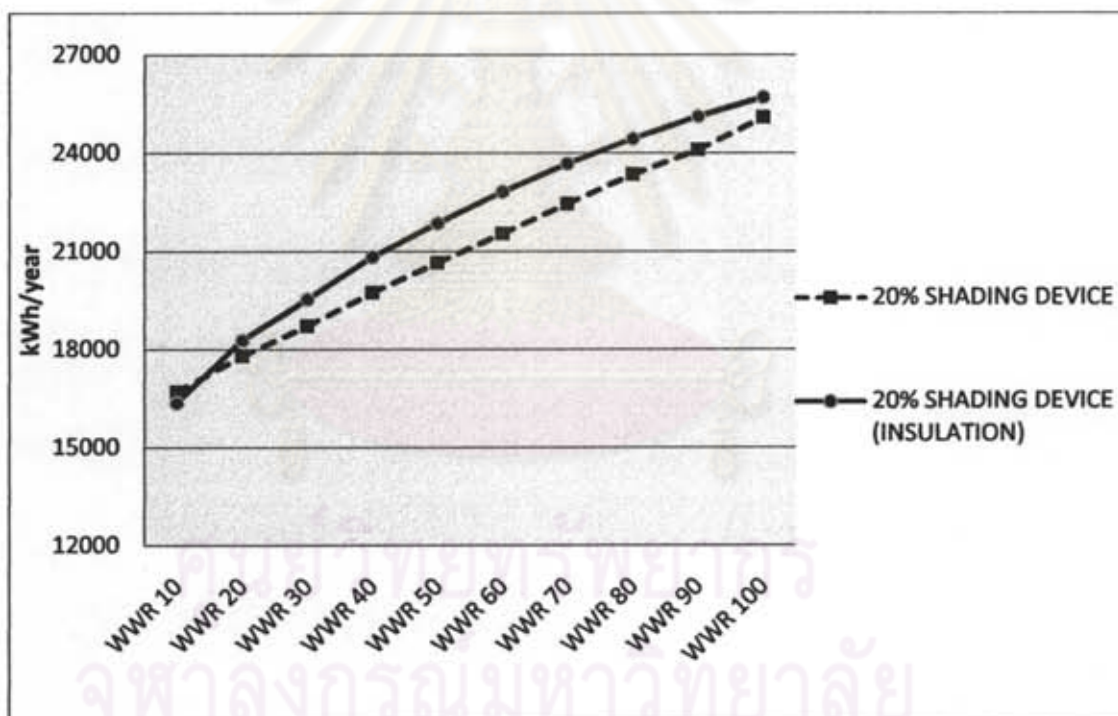
#### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการใช้ฉนวนกันความร้อน (อาคารทางเลือก C)

ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบบ้านพักอาศัยที่ใช้ผนังก่ออิฐมวลฉนวนชั้นเดียว ฉาบปูนเรียบ (Base Case) กับผนังที่มีการใส่ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว ที่ด้านในผนังพร้อมมีช่องว่างอากาศแล้วกรุทับด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด ซึ่งมีค่า U-Value = 0.302 W/m<sup>2</sup>K (อาคารทางเลือก C) โดยที่ใช้กระจกเป็นกระจกชนิดเดียวกันคือ กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม. แสดงให้เห็นว่า ผนังที่มีฉนวนกันความร้อน จะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าผนังก่ออิฐธรรมดาเมื่อมีพื้นที่หน้าต่งน้อย (WWR10-WWR30) แต่เมื่อ สัดส่วนพื้นที่กระจกเพิ่มมากขึ้นนั้น ผนังที่มีฉนวนกันความร้อนกลับใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าผนังธรรมดาเนื่องด้วยเมื่อพื้นที่กระจกเพิ่มมากขึ้นทำให้รับแสงและความร้อนเข้ามามากในเวลากลางวัน แต่กลับไม่สามารถระบายออกได้ดีเท่าที่ควรเนื่องจากมีผนังที่เป็นฉนวนเปรียบเสมือนกล่องเก็บกักความร้อนเกิดภาวะสะสมความร้อนเป็นเหตุทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักขึ้นซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

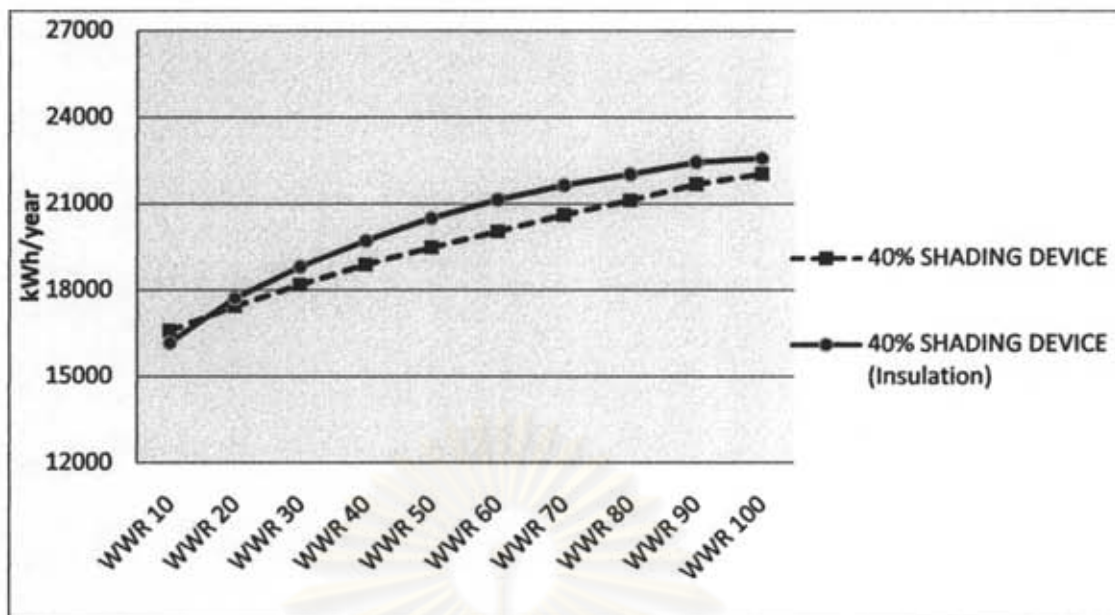
ตารางที่ 4.13 แสดงผลการใช้พลังงานของการบังแดดที่ขนาดต่าง ๆ ควบคู่กับผนังที่ใส่ฉนวนกันความร้อน

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| 20% SHADING DEVICE<br>Insulation    | 16377  | 18292     | 19535     | 20828     | 21867     | 22825     | 23680     | 24449     | 25128     | 25717      |
| 40% SHADING DEVICE<br>Insulation    | 16173  | 17727     | 18507     | 19723     | 20507     | 21145     | 21650     | 22028     | 22444     | 22583      |
| 60% SHADING DEVICE<br>Insulation    | 15886  | 17074     | 17371     | 18422     | 18792     | 18957     | 19061     | 19121     | 19042     | 19136      |
| 80% SHADING DEVICE<br>Insulation    | 15655  | 16464     | 14680     | 16800     | 16650     | 164530    | 16311     | 16172     | 15146     | 15976      |
| 100% SHADING DEVICE<br>Insulation   | 15790  | 15913     | 15706     | 15454     | 15066     | 14683     | 14371     | 14152     | 13938     | 13755      |

ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 20% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน

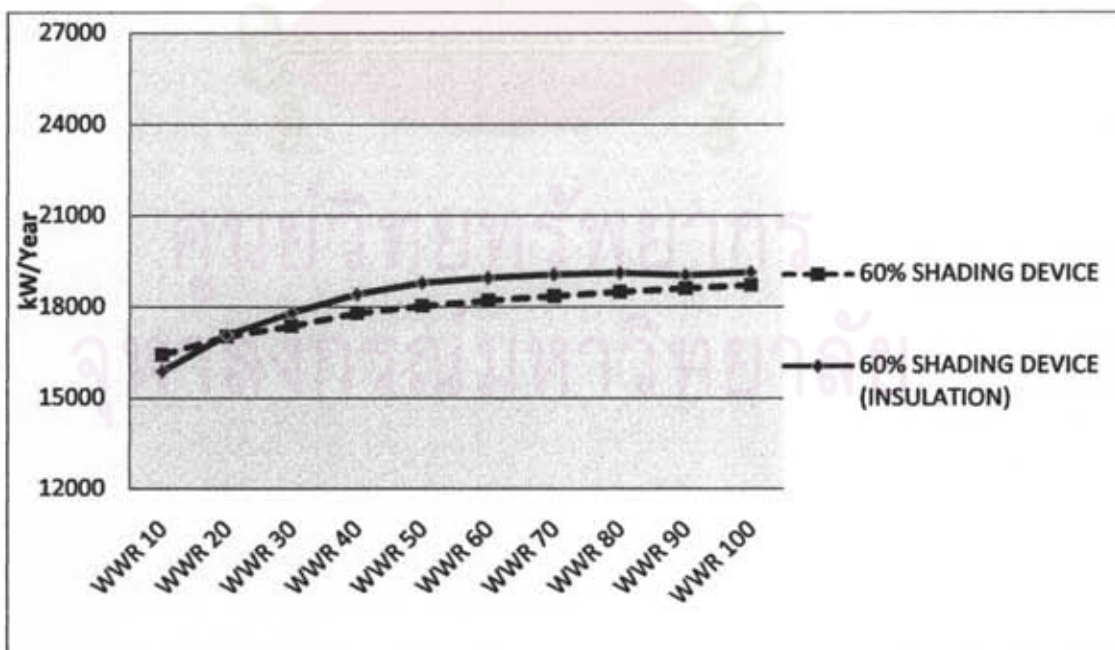


ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 40% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน



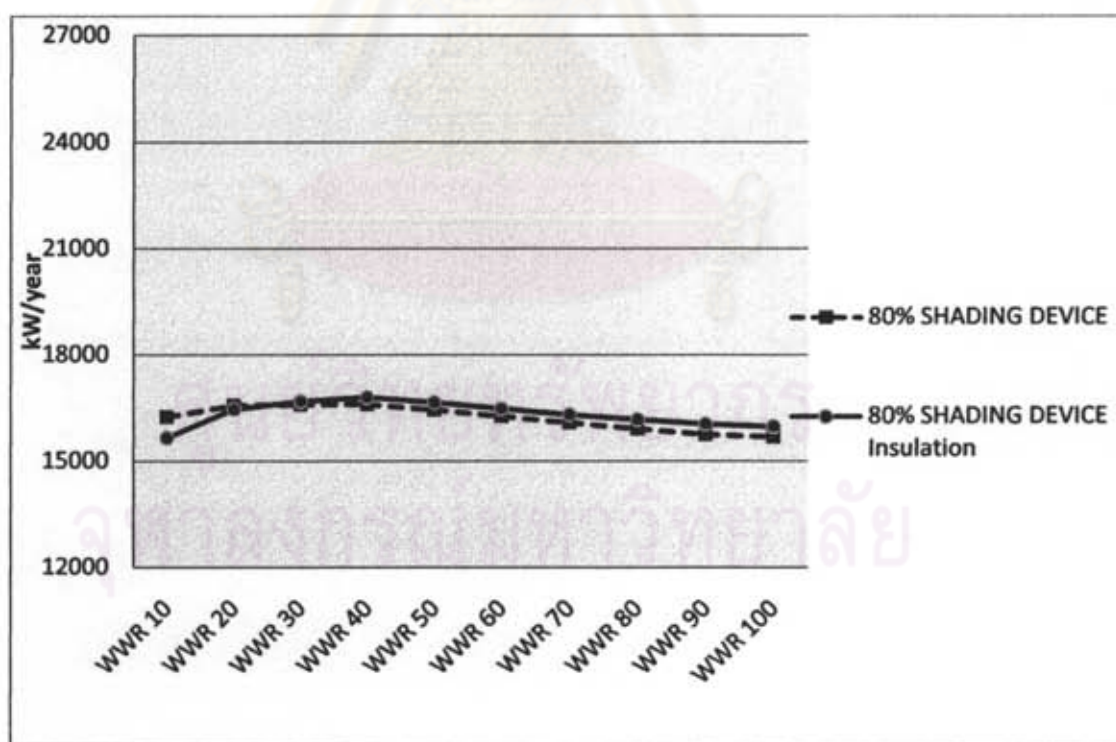
จากภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบผนังเปลือกอาคารที่มีการบังแดดที่ 20% และ 40% กับการใช้ฉนวนกันความร้อนควบคู่ไปกับการใช้แผงกันแดดที่ 20% และ 40% นั้นพบว่า กลับไม่สามารถทำให้ค่าการใช้พลังงานลดลงได้แต่อย่างใด นำเข้าค่าการใช้พลังงานกลับสูงขึ้นกว่าการใช้ผนังก่ออิฐ 1 ชั้นฉนวนปูนเรียบที่มีการบังแดดในสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน

ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 60% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน

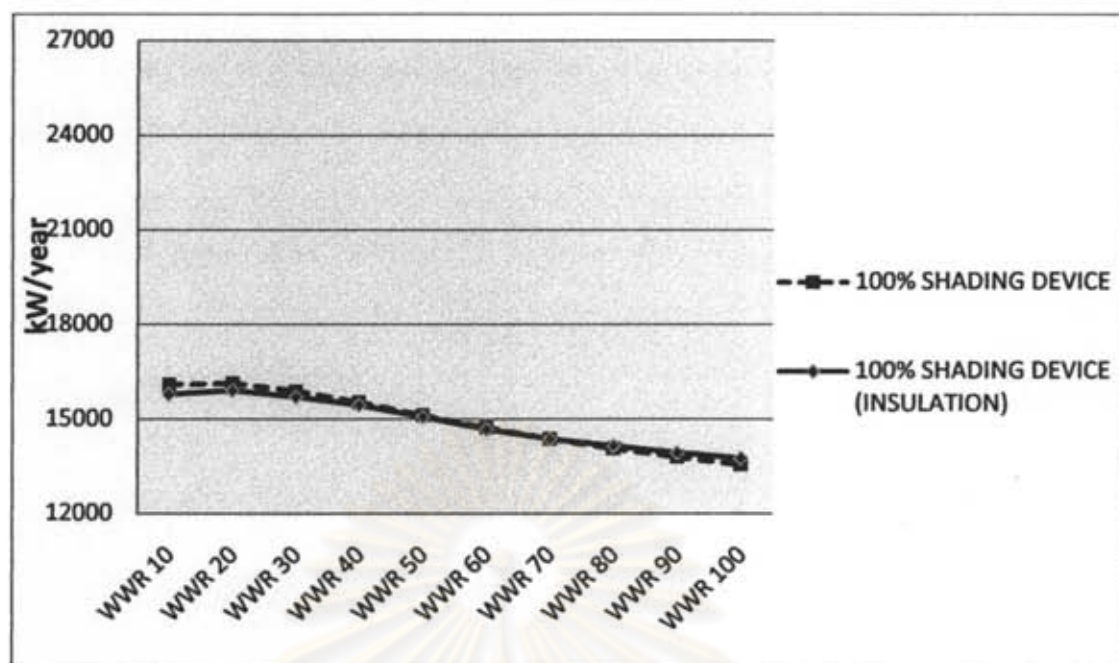


ภาพที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างการติดตั้งแผงกันแดดที่บังแดดได้ 60% (อาคารทางเลือก D) โดยที่เปลือกอาคารใช้ผนังก่ออิฐ 1 ชั้นธรรมดา ไม่มีฉนวนกันความร้อน เปรียบเทียบอาคารที่มีการบังแดดที่ 60% พร้อมผนังที่ใส่ฉนวนกันความร้อน (อาคารทางเลือก G) พบว่าเมื่อติดตั้งการกันแดด 60% ให้กับผนังที่มีฉนวนกันความร้อนอยู่แล้วนั้นกลับกลายเป็นว่ามีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่า และที่ WWR 50-100 % จะมีการใช้พลังงานค่อนข้างคงที่หมายความว่า พื้นที่กระจกยิ่งมาก พื้นที่ผนังที่เป็นฉนวนยิ่งน้อยลง ซึ่งนั่นก็คือค่า U-Value เฉลี่ยของอาคารเริ่มสูงขึ้น ซึ่งในความคาดหวังของผู้ออกแบบอาจจะคิดว่าจะต้องเปลืองพลังงานมากขึ้น แต่ผลที่พบคือ ค่า U ที่สูงขึ้น กลับไม่มีผลต่อการใช้พลังงานที่มากขึ้นเลย ถ้าหากบังแดดได้อย่างน้อย 60% ดังนั้น การใช้ผนังที่มีฉนวนหนา เพื่อลดค่า U-Value ของอาคารพักอาศัยแบบไทย จึงไม่จำเป็น และไม่ถูกต้องเสมอไป และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์กันแดด (กราฟที่ 1.5) จะพบว่าการใช้พลังงานที่บ้านใช้พลังงานที่มากขึ้นเมื่อ WWR สูงขึ้นนั้นสืบเนื่องมาจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่มาสะสมมากขึ้นในตัวอาคารเพราะหากไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศเวลากลางวัน จึงไม่เกี่ยวกับการใช้พลังงานในเวลากลางวันแต่อย่างใด แต่เป็นการใช้พลังงานในเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่

ภาพที่ 4.24 เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 80% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน



ภาพที่ 4.25 เปรียบเทียบอาคารทางเลือกที่บังแดด 100% พร้อมใส่ฉนวนกันความร้อน



ภาพที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการบังแดดที่ 100% โดยที่ใช้ผนังก่ออิฐ 1 ชั้น เปรียบเทียบกับอาคารทางเลือก I ที่มีการบังแดดที่ 100% พร้อมกับการใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนัง แสดงให้เห็นว่า ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่เมื่อใส่แผงกันแดด 100 % สามารถอธิบายได้ชัดเจนมากกว่า ยิ่ง WWR มีค่าสูงขึ้น หมายความว่า พื้นที่ผนังที่เป็นฉนวนมีน้อยลง พื้นที่กระจกที่ระบายความร้อนดีกว่ามีมากขึ้น ส่งผลให้ค่า U Value เฉลี่ย ( $U_{eff}$ )<sup>4</sup> ของผนังมีค่ามากขึ้น การถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกมีมากขึ้น แต่กลับมีค่าไฟลดลง

ผู้วิจัยจึงได้ทำตารางเปรียบเทียบค่า U (eff) ระหว่างอาคารต้นแบบกับอาคารทางเลือก รูปแบบต่าง ๆ โดยอาคารทางเลือกที่จะนำมาเปรียบเทียบมีดังนี้

1. อาคารทางเลือก A (Double Low-E Glass)
2. อาคารทางเลือก C (Single Clear Glass with Insulation)
3. อาคารทางเลือก F (100% Shading Device with Single Clear Glass)
4. อาคารทางเลือก I (100% Shading Device with Single Clear Glass with Insulation)

<sup>4</sup> ค่า U-Value เฉลี่ยของผนังอาคาร ( $U_{eff}$ ) หาได้โดยการเฉลี่ยค่า U-Value ของผนังทึบ และค่า U-Value ของกระจกหน้าต่าง ตลอดพื้นที่ผนังอาคารทุกด้าน ค่า  $U_{eff} = [(U_{wall} \times A_{wall}) + (U_{glass} \times A_{glass})] / (A_{wall} + A_{glass})$



ตารางที่ 4.14 แสดงค่า U (eff) ของ BASECASE (Single Clear Glass 6 mm.)

|         | U (eff) | ค่าการไฟพลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย<br>(kWh/sq.m.) |
|---------|---------|---|
| WWR 10  | 3.39    | 78.74   |
| WWR 20  | 3.7     | 84.57   |
| WWR 30  | 4.01    | 89.41   |
| WWR 40  | 4.32    | 95.39   |
| WWR 50  | 4.63    | 100.71  |
| WWR 60  | 4.93    | 105.97  |
| WWR 70  | 5.24    | 111.12  |
| WWR 80  | 5.55    | 116.50  |
| WWR 90  | 5.86    | 122.87  |
| WWR 100 | 6.172   | 126.46  |

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า U (eff) ของ อาคารทางเลือก A (Double Low-E Glass)

|         | U (eff) | ค่าการไฟพลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย<br>(kWh/sq.m.) |
|---------|---------|---|
| WWR 10  | 3.01    | 74.09   |
| WWR 20  | 2.94    | 77.10   |
| WWR 30  | 2.87    | 80.04   |
| WWR 40  | 2.79    | 82.86   |
| WWR 50  | 2.725   | 85.89   |
| WWR 60  | 2.65    | 88.96   |
| WWR 70  | 2.58    | 92.15   |
| WWR 80  | 2.5     | 95.50   |
| WWR 90  | 2.43    | 99.11   |
| WWR 100 | 2.36    | 102.96  |

ตารางที่ 4.16 แสดงค่า U (eff) ของ อาคารทางเลือก C (Single Clear Glass with Insulation)

|         | U (eff) | ค่าการไฟฟลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย<br>(kWh/sq.m.) |
|---------|---------|---|
| WWR 10  | 0.8     | 73.98   |
| WWR 20  | 1.39    | 83.38   |
| WWR 30  | 1.99    | 90.97   |
| WWR 40  | 2.59    | 97.26   |
| WWR 50  | 3.186   | 102.96  |
| WWR 60  | 3.78    | 108.18  |
| WWR 70  | 4.32    | 113.26  |
| WWR 80  | 4.97    | 118.28  |
| WWR 90  | 5.57    | 124.15  |
| WWR 100 | 6.172   | 127.04  |

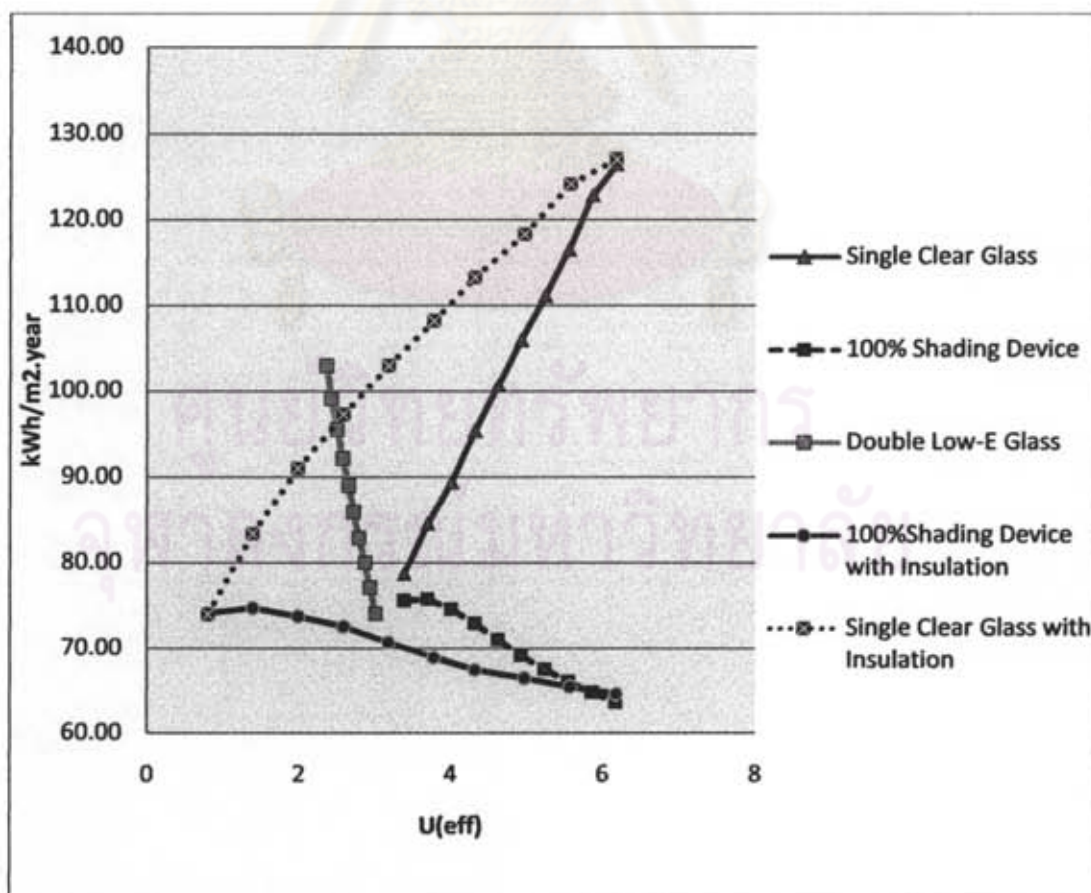
ตารางที่ 4.17 แสดงค่า U (eff) ของ อาคารทางเลือก F (100% Shading Device with Single Clear Glass)

|         | U(eff) | ค่าการไฟฟลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย<br>(kWh/sq.m.) |
|---------|--------|---|
| WWR 10  | 3.39   | 75.58   |
| WWR 20  | 3.7    | 75.75   |
| WWR 30  | 4.01   | 74.59   |
| WWR 40  | 4.32   | 72.93   |
| WWR 50  | 4.63   | 71.02   |
| WWR 60  | 4.93   | 69.15   |
| WWR 70  | 5.24   | 67.50   |
| WWR 80  | 5.55   | 66.05   |
| WWR 90  | 5.86   | 64.77   |
| WWR 100 | 6.172  | 63.62   |

ตารางที่ 4.18 แสดงค่า U (eff) ของ อาคารทางเลือก I (100% Shading Device with Single Clear Glass with Insulation)

|         | U (eff) | ค่าการไฟพลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย<br>(kWh/sq.m.) |
|---------|---------|---|
| WWR 10  | 0.8     | 74.13   |
| WWR 20  | 1.39    | 74.71   |
| WWR 30  | 1.99    | 73.74   |
| WWR 40  | 2.59    | 72.55   |
| WWR 50  | 3.186   | 70.73   |
| WWR 60  | 3.78    | 68.93   |
| WWR 70  | 4.32    | 67.47   |
| WWR 80  | 4.97    | 66.44   |
| WWR 90  | 5.57    | 65.44   |
| WWR 100 | 6.172   | 64.58   |

ภาพที่ 4.26 เปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อปีสำหรับอาคารที่มีค่า U (eff) แตกต่างกัน



### สรุปผลการวิเคราะห์ค่า U (eff) กับผนังเปลือกอาคารทางเลือกต่าง ๆ

กราฟนี้แสดงค่า U (eff) ของพื้นที่รวมผนังอาคารซึ่งตามหลักทั่วไป ยิ่งค่า U-Value มาก นั้นจะส่งผลให้ความร้อนสามารถถ่ายเทระหว่างภายในกับภายนอกได้มากขึ้น แต่จากข้อมูลที่ได้ จากกราฟกลับพบว่า ผนังที่ใช้เป็นกระจก Double Low-E, ผนังที่ติดตั้งอุปกรณ์กันแดด และผนังที่มีการใช้แผงกันแดดพร้อมกับใส่นวน นั้นกลับสวนทางกันคือ ยิ่งค่า U-Value สูง การใช้พลังงาน ยิ่งลดลงเพราะว่าการใช้กระจก Low-E และแผงกันแดด 100% เป็นการตัดรังสีความร้อนจาก ภายนอกในเวลากลางวันไม่ให้เข้ามาสะสมในอาคาร และนอกจากนี้ค่า U-Value ที่สูงจะช่วยให้ ความร้อนที่สะสมในเวลากลางวันและความร้อนภายในที่เกิดขึ้นในเวลาหัวค่ำ จากหลอดไฟ และ เครื่องใช้ไฟฟ้า (Internal Heat Gain) สามารถระบายออกสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่ เปลืองภาระการปรับอากาศในเวลาหัวค่ำ

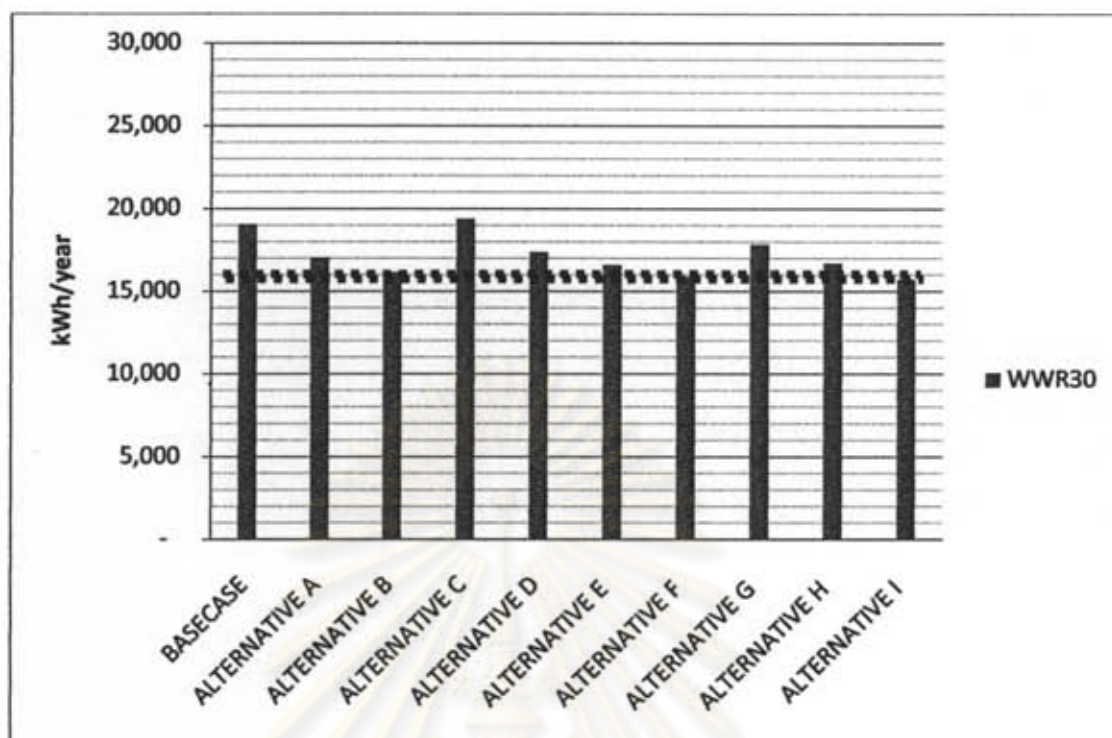
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ใน WWR 30

| อาคารทางเลือก                                 | ค่าการใช้พลังงาน (kWh/year) |
|---|-----------------------------|
| BASECASE (กระจกใสชั้นเดียว 6 มม.)             | 19,044                      |
| อาคารทางเลือก A (กระจก Double Low-E)          | 17,049                      |
| อาคารทางเลือก B (กระจก Double Reflective)     | 16,143                      |
| อาคารทางเลือก C (ฉนวนกันความร้อน )            | 19,377                      |
| อาคารทางเลือก D (แผงบังแดดที่ 60%)            | 17,371                      |
| อาคารทางเลือก E (แผงบังแดดที่ 80%)            | 16,591                      |
| อาคารทางเลือก F (แผงบังแดดที่ 100%)           | 15,887                      |
| อาคารทางเลือก G (แผงบังแดดที่ 60% พร้อมฉนวน)  | 17,815                      |
| อาคารทางเลือก H (แผงบังแดดที่ 80% พร้อมฉนวน)  | 16,680                      |
| อาคารทางเลือก I (แผงบังแดดที่ 100% พร้อมฉนวน) | 15,706                      |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.27 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ใน

WWR 30



จากภาพที่ 4.27 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ใน WWR30 พบว่า ถึงแม้ว่าการติดตั้งกันแดดใน WWR30 นั้น ค่าการใช้พลังงานจะลดน้อยลงกว่าอาคารต้นแบบที่ไม่มีกันแดดใด ๆ แต่ถือว่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับการใช้กระจกประสิทธิภาพสูง สังเกตได้จากเส้นประที่เทียบ Baseline กับกระจกประสิทธิภาพสูงยกเว้นอาคารทางเลือก ALTERNATIVE F และ I ที่การบังแดด 100% นั้นจะประหยัดมากกว่าอาคารทางเลือกอื่น ๆ

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ใน

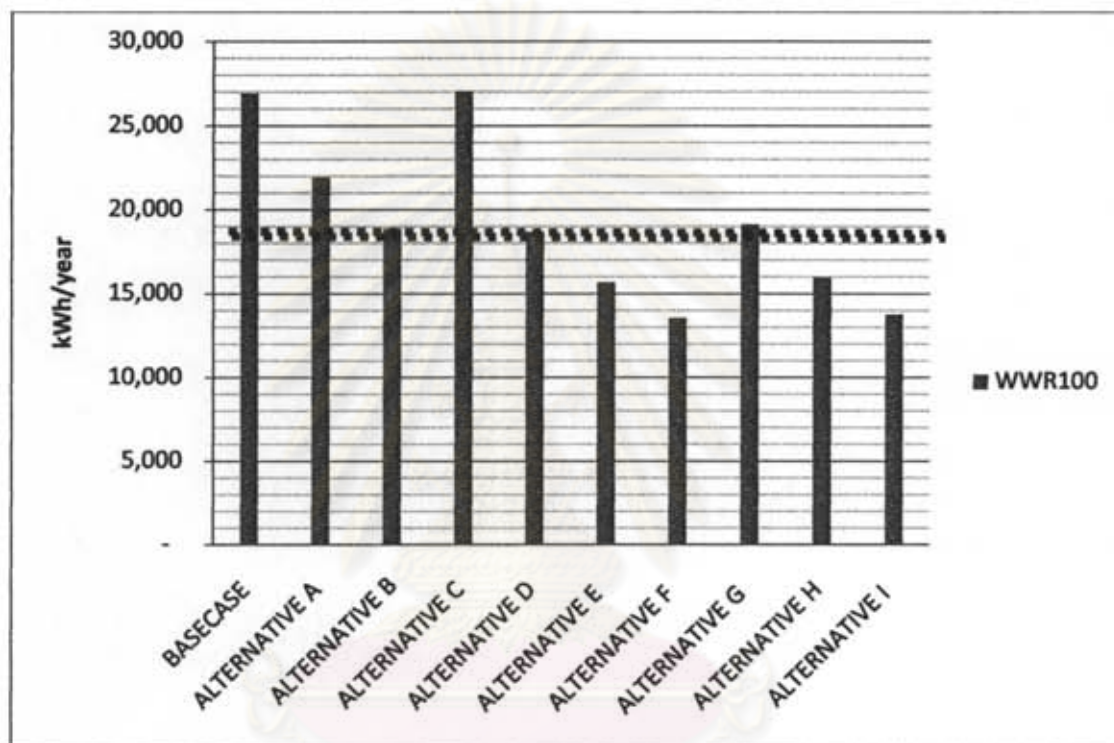
WWR 100

| อาคารทางเลือก                             | ค่าการใช้พลังงาน (kWh/year) |
|---|-----------------------------|
| BASECASE (กระจกใสชั้นเดียว 6 มม.)         | 26,936                      |
| อาคารทางเลือก A (กระจก Double Low-E)      | 21,930                      |
| อาคารทางเลือก B (กระจก Double Reflective) | 18,885                      |
| อาคารทางเลือก C (ฉนวนกันความร้อน 3")      | 27,059                      |
| อาคารทางเลือก D (แผงบังแดดที่ 60%)        | 18,722                      |
| อาคารทางเลือก E (แผงบังแดดที่ 80%)        | 15,681                      |
| อาคารทางเลือก F (แผงบังแดดที่ 100%)       | 13,551                      |

ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

| อาคารทางเลือก                                 | ค่าการใช้พลังงาน (kWh/year) |
|---|-----------------------------|
| อาคารทางเลือก G (แผงบังแดดที่ 60% พร้อมฉนวน)  | 19,136                      |
| อาคารทางเลือก H (แผงบังแดดที่ 80% พร้อมฉนวน)  | 15,976                      |
| อาคารทางเลือก I (แผงบังแดดที่ 100% พร้อมฉนวน) | 13,755                      |

ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ใน WWR 100



จากภาพที่ 4.28 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ใน WWR100 จะพบว่าเมื่อสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมีมากขึ้น การบังแดดจะสามารถลดค่าการใช้พลังงานอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงทั้ง 2 ชนิด สังเกตได้จากเส้นประที่เทียบ Baseline กับกระจกประสิทธิภาพสูงโดยเฉพาะอาคารทางเลือก ALTERNATIVE F และ I ที่มีการบังแดดที่ 100% นั้นจะเห็นว่าค่าการใช้พลังงานจะอยู่ที่ 13,551 kWh/year เมื่อเทียบการกระจก Double Low-E และ Double Reflective ที่มีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ 21,930 kWh/year และ 18,885 kWh/year ตามลำดับ

### สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.27 และ 4.28 สัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง คือ WWR30 และ WWR 100 ทำให้สรุปได้ว่าขนาดของช่องแสงมีผลต่อการถ่ายเทรังสีอาทิตย์ หากช่องแสงมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น หรือไม่ได้มีการป้องกันรังสีอาทิตย์โดยตรงหรือการบังแดดอย่างเหมาะสม จะทำให้เกิดความร้อนในอาคาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาระในการทำความเย็นใน ซึ่งแผงกันแดดนั้นจะมีประสิทธิภาพมากต่อเมื่อมีอาคารที่มีค่า WWR สูง (WWR60 - WWR100) จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มาก แต่ถ้าอาคารที่มีค่า WWR ต่ำ (WWR10 - WWR50) การใช้อาคารทางเลือก ALTERNATIVE A และ B ที่ใช้กระจกประสิทธิภาพสูงถือว่าเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าการใช้แผงกันแดด

### การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) แสดงการคำนวณระยะเวลาคัมพุน (Payback period) และผลตอบแทนการลงทุน (Rate of return) และค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุการใช้งานอาคาร 20 ปี (Life-cycle cost)

การคำนวณ LCC (Life Cycle Cost, ค่าต้นทุนตลอดอายุวัฏจักร) คือการคำนวณหาค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานของอาคารซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ มูลค่าของการลงทุน (Owning), ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตลอดอายุการใช้งาน (Operating) โดยมีสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$PV = \frac{A \times \left( \frac{1+e}{1+i} \right) \times \left\{ \left( \frac{1+e}{1+i} \right)^n - 1 \right\}}{\left( \frac{1+e}{1+i} \right) - 1} \dots\dots\dots (1)^5$$

$$LCC = PV + \text{ค่าก่อสร้างเริ่มต้นในปีแรก} \dots\dots\dots (2)$$

- <sup>5</sup> PV = มูลค่าปัจจุบันของค่าไฟฟ้า (บาท)  
 A = ค่าไฟฟ้ายรายปี (บาท)  
 e = อัตราเงินเฟ้อ (~5%)  
 i = อัตราดอกเบี้ย (~7%)  
 n = จำนวนอายุการใช้งานของอาคาร (20 ปี)

## ค่าการลงทุนเริ่มต้นในการติดตั้งแผงกันแดด

ตารางที่ 4.21 ค่าลงทุนในติดตั้งแผงกันแดดให้กับ WWR ขนาดต่าง ๆ

| อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)      | WWR 10 | WWR 20  | WWR 30  | WWR 40  | WWR 50  | WWR 60  | WWR 70  | WWR 80  | WWR 90  | WWR 100 |
|---|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ค่าการลงทุนในการใช้แผงกันแดดไม่พร้อมติดตั้ง (บาท/ตร.ม.) | 3,650  | 3,650   | 3,650   | 3,650   | 3,650   | 3,650   | 3,650   | 3,650   | 3,650   | 3,650   |
| พื้นที่กระจกรวม 4 ด้าน (ตร.ม.)                          | 15.4   | 30.8    | 46.2    | 61.6    | 77      | 92.4    | 107.8   | 123.2   | 138.6   | 154     |
| ค่าการลงทุนในการใช้แผงกันแดดไม่พร้อมติดตั้ง (บาท)       | 56,210 | 112,420 | 168,630 | 224,840 | 281,050 | 337,260 | 393,470 | 449,680 | 505,890 | 562,100 |

จากตารางที่ 4.21 แสดงให้เห็นถึงค่าการลงทุนในการใช้แผงกันแดดพร้อมติดตั้งกับอาคารที่ค่า WWR ขนาดต่าง ๆ โดยสัดส่วนพื้นที่ของอุปกรณ์กันแดดที่ติดตั้งจะเท่ากับพื้นที่กระจกของอาคาร โดยอาคารต้นแบบ WWR30 มีพื้นที่กระจก 46.20 ตารางเมตร ค่าการลงทุนในการติดตั้งแผงกันแดดคิดเป็นเงิน 3,650 บาท/ตร.ม. เพราะฉะนั้นค่าการลงทุนของการติดตั้งแผงกันแดดที่ WWR30 เป็นเงินทั้งสิ้น 168,630 บาท ส่วน อาคารที่มีค่า WWR100 พื้นที่กระจกรวมทั้งหมดจะอยู่ที่ 154 ตร.ม. ค่าลงทุนการติดตั้งแผงกันแดดจะอยู่ที่ 562,100 บาท

## ค่าการลงทุนเริ่มต้นในการใช้กระจกของอาคารทางเลือก A (Double Low-E)

ตารางที่ 4.22 แสดงถึงค่าการลงทุนในการใช้กระจก Double Low-E Glass ที่ WWR ขนาดต่าง ๆ

| อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%) | WWR 10 | WWR 20  | WWR 30  | WWR 40  | WWR 50  | WWR 60  | WWR 70  | WWR 80  | WWR 90  | WWR 100 |
|--|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1) ค่ากระจก (บาท/ตร.ม.)                            | 2,585  | 2,585   | 2,585   | 2,585   | 2,585   | 2,585   | 2,585   | 2,585   | 2,585   | 2,585   |
| 2) ค่าอลูมิเนียม (บาท/ตร.ม.)                       | 2,951  | 1,706   | 1,291   | 1,084   | 959     | 876     | 817     | 773     | 745     | 710     |
| 3) ค่าแรงติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)                       | 506    | 319     | 256     | 225     | 206     | 194     | 185     | 178     | 346     | 337     |
| ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)    | 6,042  | 4,610   | 4,132   | 3,894   | 3,750   | 3,655   | 3,587   | 3,536   | 3,676   | 3,632   |
| พื้นที่กระจกรวม 4 ด้าน (ตร.ม.)                     | 15.4   | 30.8    | 46.2    | 61.6    | 77      | 92.4    | 107.8   | 123.2   | 138.6   | 154     |
| ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง (บาท)          | 93,047 | 141,988 | 190,898 | 239,870 | 288,750 | 337,722 | 386,679 | 435,635 | 509,494 | 559,328 |

จากตารางที่ 4.22 แสดงให้เห็นถึงค่าการลงทุนในการใช้กระจก Double Low-E กับอาคารที่ค่า WWR ขนาดต่าง ๆ โดยอาคารต้นแบบ WWR30 มีพื้นที่กระจก 46.20 ตารางเมตร ค่าการลงทุนเฉพาะกระจก Double Low-E เป็นเงิน 2,585 บาทต่อตารางเมตร ค่าอลูมิเนียมเป็นเงิน 1,291 บาทต่อเมตร และค่าแรงติดตั้งเป็นเงิน 256 บาท รวมค่าลงทุนการใช้กระจก Double Low-



E เป็นเงิน 4,132 บาทต่อตารางเมตร พื้นที่กระจกของ WWR 30 เท่ากับ 46.20 ตารางเมตร เพราะฉะนั้นค่าการลงทุนของการใช้กระจก Double Low-E ที่มี WWR30 เป็นเงินทั้งสิ้น 190,898 บาท ส่วนอาคารที่มีค่า WWR100 พื้นที่กระจกรวมทั้งหมดจะอยู่ที่ 154 ตรม. ค่าลงทุนการติดตั้งจะอยู่ที่ 559,328 บาท

#### ตารางที่ 4.23 แสดงถึงค่าการลงทุนในการใช้กระจก Double Reflective Glass ที่ WWR ขนาดต่าง ๆ

| อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%) | WWR 10 | WWR 20  | WWR 30  | WWR 40  | WWR 50  | WWR 60  | WWR 70  | WWR 80  | WWR 90  | WWR 100 |
|--|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1) ค่ากระจก (บาท/ตร.ม.)                            | 2,360  | 2,360   | 2,360   | 2,360   | 2,360   | 2,360   | 2,360   | 2,360   | 2,360   | 2,360   |
| 2) ค่าอูมิเนียม (บาท/ตร.ม.)                        | 2,951  | 1,706   | 1,291   | 1,084   | 959     | 876     | 817     | 773     | 745     | 710     |
| 3) ค่าแรงติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)                       | 506    | 319     | 256     | 225     | 206     | 194     | 185     | 178     | 346     | 337     |
| ค่าการลงทุนในการใช้กระจกและติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)     | 5,817  | 4,385   | 3,907   | 3,669   | 3,525   | 3,430   | 3,362   | 3,311   | 3,451   | 3,407   |
| พื้นที่กระจกรวม 4 ด้าน (ตร.ม.)                     | 15.4   | 30.8    | 46.2    | 61.6    | 77      | 92.4    | 107.8   | 123.2   | 138.6   | 154     |
| ค่าการลงทุนในการใช้กระจกและติดตั้ง (บาท)           | 89,582 | 135,058 | 180,503 | 226,010 | 271,425 | 316,932 | 362,424 | 407,915 | 478,309 | 524,678 |

จากตารางที่ 4.23 แสดงให้เห็นถึงค่าการลงทุนในการใช้กระจก Double Reflective Glass กับอาคารที่ค่า WWR ขนาดต่าง ๆ โดยอาคารต้นแบบ WWR30 มีพื้นที่กระจก 46.20 ตารางเมตร ค่าการลงทุนเฉพาะกระจก Double Low-E เป็นเงิน 2,360 บาทต่อตารางเมตร ค่าอูมิเนียมเป็นเงิน 1,291 บาทต่อเมตร และค่าแรงติดตั้งเป็นเงิน 256 บาท รวมค่าลงทุนการใช้กระจก Double Low-E เป็นเงิน 3,907 บาทต่อตารางเมตร พื้นที่กระจกของ WWR 30 เท่ากับ 46.20 ตารางเมตร เพราะฉะนั้นค่าการลงทุนของการใช้กระจก Double Reflective Glass ที่มี WWR30 เป็นเงินทั้งสิ้น 180,503 บาท ส่วน อาคารที่มีค่า WWR100 พื้นที่กระจกรวมทั้งหมดจะอยู่ที่ 154 ตรม. ค่าลงทุนการติดตั้งจะอยู่ที่ 524,678 บาท

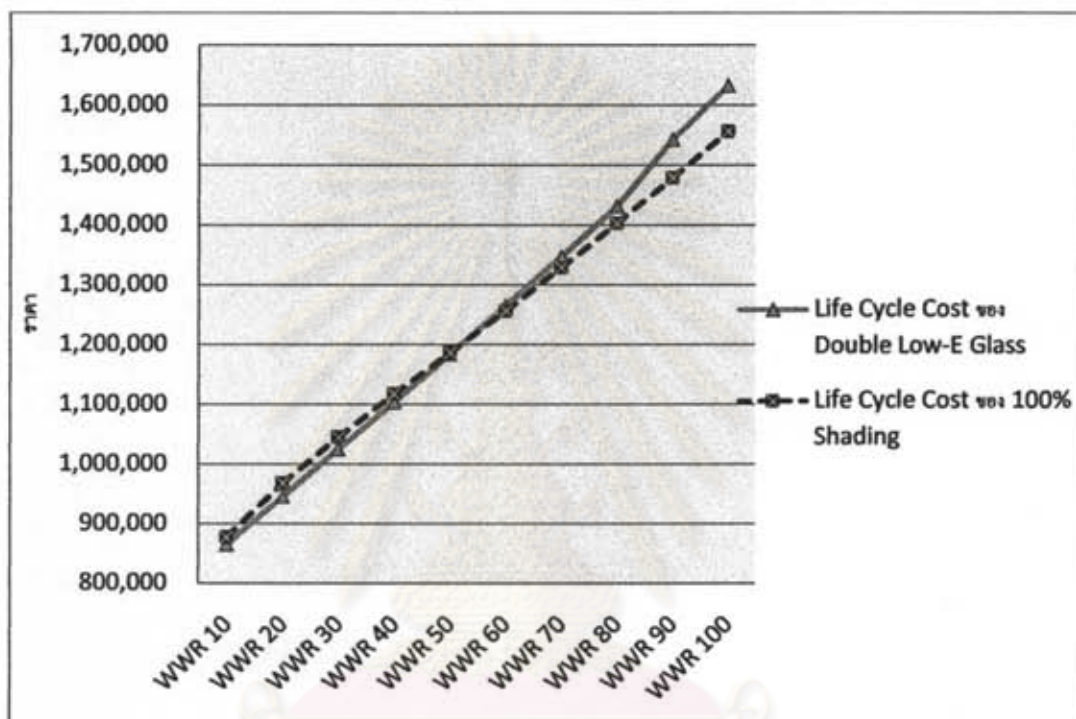
#### ตารางที่ 4.24 ค่า Life Cycle Cost ของอาคารทางเลือก F (100% Shading Device)

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh/year)                  | อัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |         |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---|--|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|   | WWR 10   | WWR 20  | WWR 30    | WWR 40    | WWR 50    | WWR 60    | WWR 70    | WWR 80    | WWR 90    | WWR 100   |
| ราคาค่าใช้ไฟฟ้าต่อปี (บาท)                        | 48,294   | 48,405  | 47,661    | 46,602    | 45,381    | 44,184    | 43,131    | 42,204    | 41,391    | 40,653    |
| ค่า Present Value ของค่าไฟ                        | 788,013  | 789,824 | 777,685   | 760,405   | 740,482   | 720,950   | 703,769   | 688,643   | 675,377   | 663,335   |
| ค่าการลงทุนในการใช้แผงกันแดดไม้พร้อมติดตั้ง (บาท) | 56,210   | 112,420 | 168,630   | 224,840   | 281,050   | 337,260   | 393,470   | 449,680   | 505,890   | 562,100   |
| ค่าซ่อมแซมแผงกันแดดไม้ปีที่ 11                    | 33,065   | 66,129  | 99,194    | 132,259   | 165,324   | 198,388   | 231,453   | 264,518   | 297,582   | 330,647   |
| รวมค่าลงทุนการใช้แผงกันแดดตลอด 20 ปี              | 89,275   | 178,549 | 267,824   | 357,099   | 446,374   | 535,648   | 624,923   | 714,198   | 803,472   | 892,747   |
| ค่า Life Cycle Cost                               | 877,288  | 968,374 | 1,045,509 | 1,117,504 | 1,186,855 | 1,256,598 | 1,328,691 | 1,402,840 | 1,478,849 | 1,556,082 |

#### ตารางที่ 4.25 ค่า Life Cycle Cost ของการใช้กระจก Double Low-E ใน 20 ปี

| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year)   | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |         |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------------------|--|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                       | WWR 10   | WWR 20  | WWR 30    | WWR 40    | WWR 50    | WWR 60    | WWR 70    | WWR 80    | WWR 90    | WWR 100   |
| ราคาค่าใช้ไฟฟ้าต่อปี (บาท)            | 47,343   | 49,269  | 51,147    | 52,950    | 54,885    | 56,847    | 58,881    | 61,023    | 63,333    | 65,790    |
| ค่า Present Value ของค่าไฟ            | 772,496  | 803,922 | 834,566   | 863,985   | 895,559   | 927,572   | 960,761   | 995,712   | 1,033,405 | 1,073,495 |
| ค่าการลงทุนในการใช้กระจก Double Low-E | 93,045   | 141,990 | 190,916   | 239,852   | 288,787   | 337,723   | 386,658   | 435,594   | 509,472   | 559,438   |
| ค่า Life Cycle Cost                   | 865,541  | 945,912 | 1,025,482 | 1,103,837 | 1,184,346 | 1,265,295 | 1,347,420 | 1,431,306 | 1,542,877 | 1,632,933 |

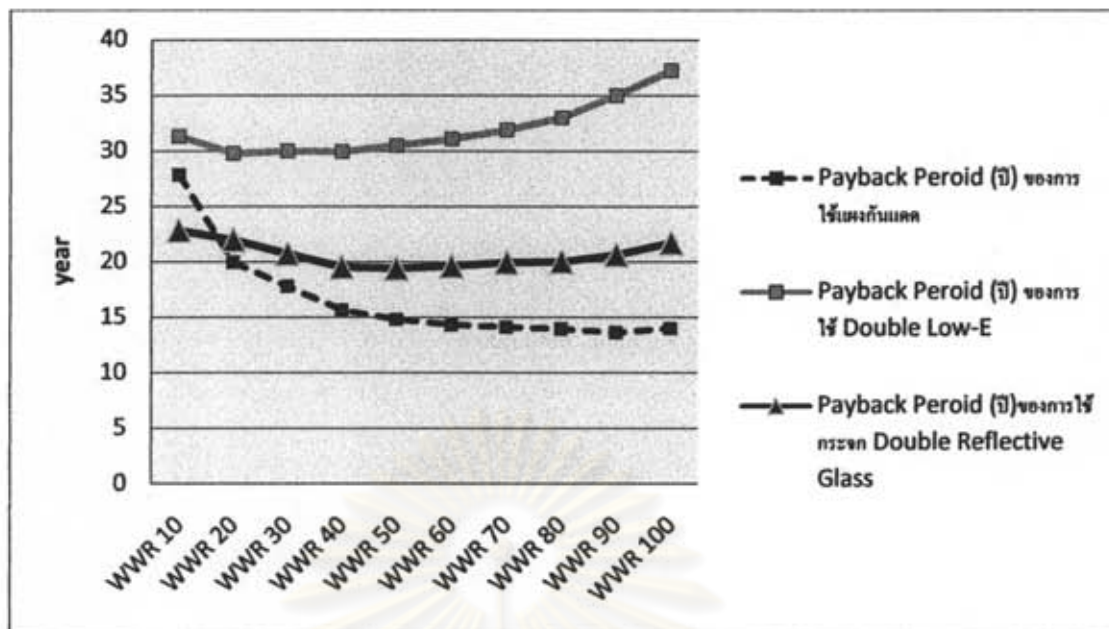
#### ภาพที่ 4.29 เปรียบเทียบค่า Life Cycle Cost ของเปลือกอาคาร 2 ชนิด



จากการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (life cycle cost) โดยใช้วิธีคิดแบบมีอัตราเงินเพื่อ พบว่าวิธีที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (life cycle cost) ต่ำที่สุดคือ อาคารทางเลือก F ที่มีการบังแดดที่ 100% โดยมีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 1,556,082 บาท

จากผลการวิเคราะห์การลงทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งแผงกันแดด 100% กับ การใช้กระจก Double Low-E พบว่าค่า Life Cycle Cost ของทั้งคู่มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อ WWR มีค่าน้อย แต่สำหรับอาคารที่ WWR มีค่ามาก (80% ขึ้นไป) ค่า Life Cycle Cost ของแผงกันแดดจะน้อยกว่าการใช้กระจก Double Low-E ซึ่งมีส่วนต่างอยู่ที่ 76,851 บาท

ภาพที่ 4.30 เปรียบการระยะเวลาค้ทุนของอาคารทางเลือกกับ WWR ขนาดต่าง ๆ



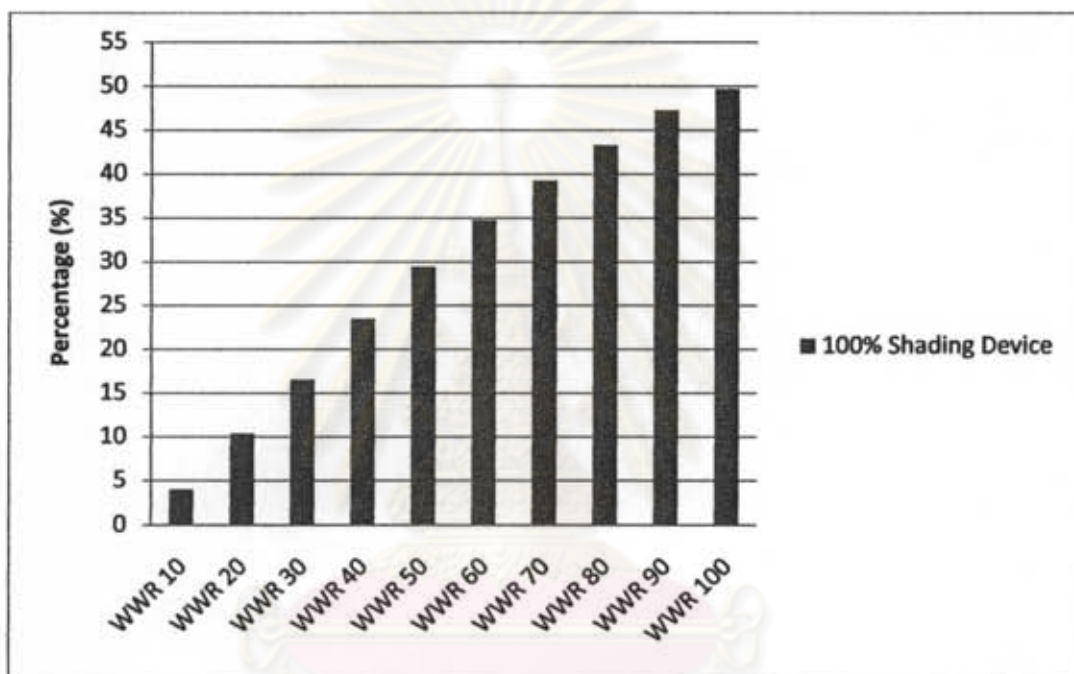
จากภาพที่ 4.30 จะเห็นว่าเส้นกราฟของ การใช้กระจก Double Low-E จะโค้งขึ้นตาม WWR ที่สูงขึ้น (ตั้งแต่ WWR50 ขึ้นไป) สามารถชี้ชัดได้ว่าเมื่อสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมีค่าสูงขึ้น ทำให้ค่าการใช้พลังงานสูงขึ้นไปด้วย เป็นเหตุให้ระยะเวลาค้ทุนมากขึ้นตามไปด้วยซึ่ง ตรงกันข้ามกับ การติดแผงบังแดดที่ 100% ที่กราฟเส้นจะโค้งลงเมื่อ WWR มีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นชัดเจนว่า เมื่อสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมีค่าสูงขึ้น การใช้พลังงานจะยิ่งน้อย ทำให้ระยะเวลาค้ทุนเร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เพราะว่าเมื่อเป็นลักษณะการบังแดดที่ครอบคลุมทั้งหมด จะทำให้กระจกมีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนไม่แตกต่างจากผนังที่มีค่า U-Value สูง แต่ไม่ได้รับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่กระจกในเวลากลางวัน ดังนั้นเมื่อพื้นที่กระจกมีมากขึ้น หมายความว่า การระบายความร้อนสะสมจากภายในออกสู่ภายนอกในเวลากลางคืนจึงเกิดขึ้นได้มากกว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง ดังนั้นค่าการใช้พลังงานจึงลดลง จากการที่ เครื่องปรับอากาศทำงานหนักน้อยลงในเวลาหัวค่ำ

ตารางที่ 4.26 แสดงระยะเวลาในการคืนทุน ของแต่ละอาคารทางเลือกที่ค่า WWR 100

| อาคารทางเลือก                             | เงินลงทุน | ประหยัด | การคืนทุน (ต่อปี) |
|---|-----------|---------|-------------------|
| BASECASE (กระจกใสชั้นเดียว 6 มม.)         | 0.00      | 0.00    | -                 |
| อาคารทางเลือก A (กระจก Double Low-E)      | 559,438   | 15,018  | 37                |
| อาคารทางเลือก B (กระจก Double Reflective) | 524,788   | 24,153  | 21                |
| อาคารทางเลือก F (แผงบังแดดที่ 100%)       | 562,100   | 40,155  | 14                |

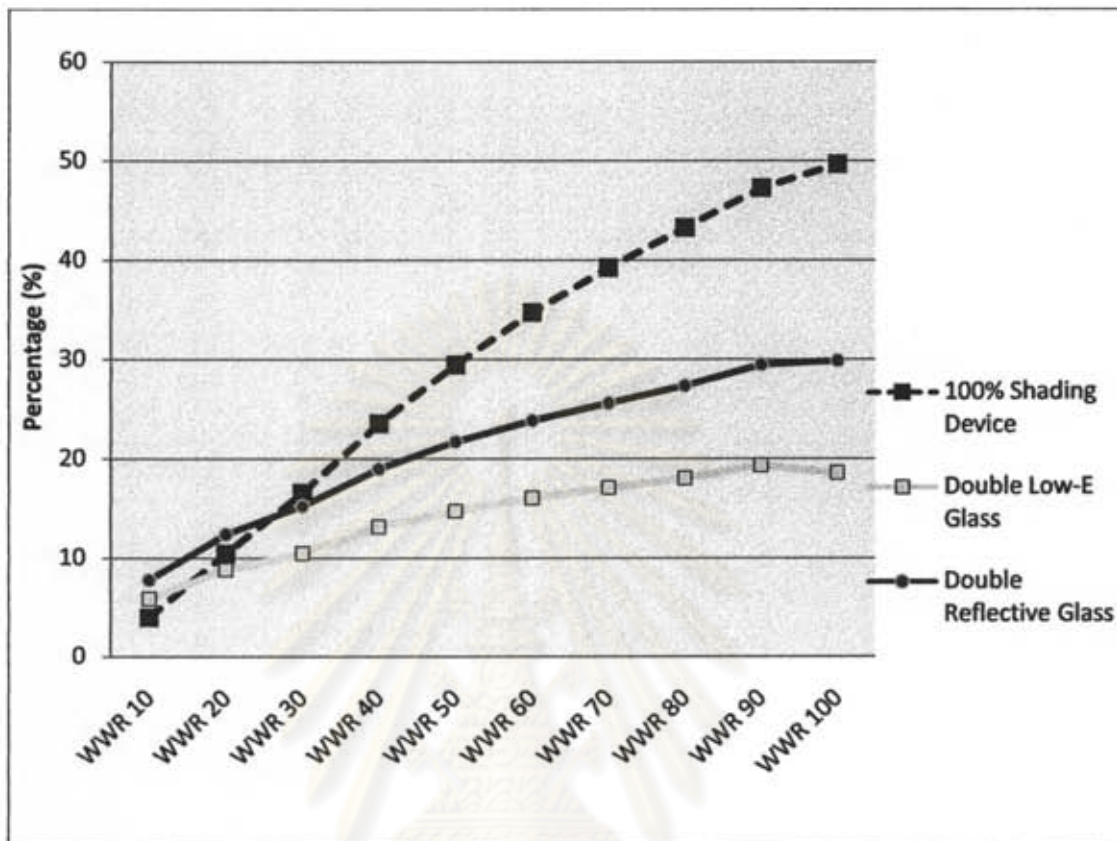
จากตารางที่ 4.26 พบว่าในการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนนั้นพบว่าสำหรับ อาคารที่มี WWR100 การใช้กระจก Double Low-E จะมีระยะเวลาคืนทุนจะนานถึง 37 ปี และการใช้กระจก Double Reflective Glass นั้นจะมีระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่าอยู่ที่ 21 ปีแต่การติดตั้งแผงกันแดดนั้น จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดเป็น 14 ปี ทำให้ได้ข้อสรุปในเชิงเศรษฐศาสตร์ว่า การติดตั้ง อุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้นจะเหมาะกับบ้านพักอาศัยที่ต้องการพื้นที่ที่กระจกต่อสัดส่วนผนังเป็น พื้นที่มาก โดยจะสามารถประหยัดพลังงานและมีความคุ้มค่าในการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด

ภาพที่ 4.31 แสดงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อใช้แผงกันแดดที่ 100% กับ WWR ขนาดต่าง ๆ



จากการวิเคราะห์และสรุปผลแสดงให้เห็นว่าค่าเปรียบเทียบ อาคารต้นแบบ (Base Case) กับอาคารที่ติดตั้งอุปกรณ์กันแดดจะเห็นได้ว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าต่อปีจะอยู่ที่ 17% ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าลงทุนในการติดตั้งทำอุปกรณ์กันแดดที่ราคา 168,630บาท แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารทางเลือก F ที่ WWR100 ที่ติดตั้งแผงกันแดดกับอาคารต้นแบบที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดดนั้น พบว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่างกันถึง 49% และได้คำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของแผงกันแดด พบว่าสำหรับกรณี WWR30 ที่มีใช้แผงกันแดดนั้นระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 22 ปี แต่ถ้าเป็นกรณี WWR100 นั้นระยะเวลาการคืนทุนจะอยู่ที่ 17 ปี

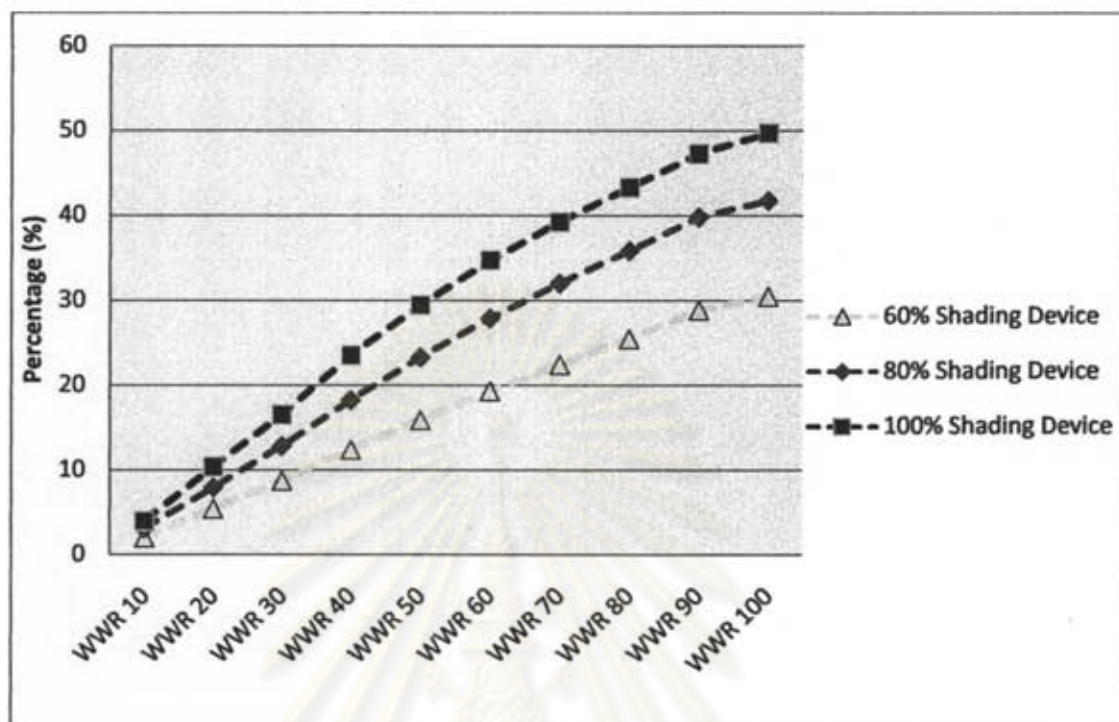
ภาพที่ 4.32 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของอาคารต้นแบบกับอาคารทางเลือกต่าง ๆ



จากกราฟนี้พบว่า ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าเมื่อมีการใช้แผงกันแดดที่ 100% เปรียบกับการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงทั้ง 2 ชนิด ค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีของการใช้แผงกันแดดนั้นจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด และเมื่อ WWR มีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพของการใช้แผงกันแดดจะสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อ WWR มีมากขึ้นตั้งแต่ (WWR 50 ขึ้นไป) ประสิทธิภาพการบังแดดที่ 100% จะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกระจกประสิทธิภาพสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของอาคารต้นแบบกับอาคารทางเลือกที่มีการบังแดดที่ขนาดต่าง ๆ



จากภาพที่ 4.33 พบว่าสัดส่วนของการบังแดดนั้นมีผลโดยตรงต่อค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยยิ่งถ้ามีการบังแดดที่สูงมาก จะยังสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้ว่าการบังแดดที่ 60% จะมีประสิทธิภาพของการบังแดดน้อยกว่าการบังแดดที่ 80%-100% ก็ตาม แต่ก็พบว่าจะสามารถประหยัดค่าการพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงทั้ง 2 ชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้ ประกอบด้วยการศึกษา 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นการสำรวจ ประเมินและวิเคราะห์อาคารต้นแบบ (Base Case) ส่วนหลังเป็นการสร้างอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ พร้อมทั้งประเมินและวิเคราะห์แนวทางการใช้เปลือกอาคารแบบต่างกับแผงกันแดดแบบผนัง 2 ชั้น รวมไปถึงการใช้กระจกประสิทธิภาพสูง ให้มีความเหมาะสมทั้งในเชิงเทคนิค เศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาในบทที่ผ่านมา สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

#### สรุปผลการวิจัย

##### 5.1 การประเมินและวิเคราะห์อาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคชี้ให้เห็นว่าการใช้กระจกเป็นผนังอาคารน้อยส่งผลให้มีค่าการใช้พลังงานต่ำตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนิยมใช้กระจกเป็นผนังอาคารเพื่อความสวยงามเป็นจำนวนมากขึ้นดังนั้น การเลือกวัสดุเปลือกอาคารรวมถึงการใช้กระจกจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะแผงกันแดดที่จะทำหน้าที่ป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร ในเวลากลางวันเพื่อลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งการใช้แผงกันแดดที่ 100% (ทางเลือก F) ควบคู่ไปกับการใช้กระจกใสชั้นเดียวหนา 6 มม. เป็นผนังอาคารจะพบว่าค่าการใช้พลังงานจะต่ำกว่าอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ทั้งหมด ในขณะที่การใช้กระจก Double Low-E (ทางเลือก A) และกระจก Double Reflective (ทางเลือก B) นั้นจะมีค่าการใช้พลังงานน้อยกว่าการใช้แผงกันแดดต่อเมื่อแผงกันแดดนั้นมีการบังแดดที่ต่ำกว่า 40% ในทุกกรณีของพื้นที่กระจก ในขณะที่การบังแดดที่ 60% นั้นค่าการใช้พลังงานจะน้อยกว่าการใช้กระจก Double Low-E (ทางเลือก B) เมื่อสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง มีค่าตั้งแต่ WWR40 ขึ้นไป ส่วนการบังแดดที่ 80% จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่าการใช้กระจก Double Low-E เกือบทุกกรณียกเว้นเมื่อค่า WWR มีค่าต่ำกว่า 20% นอกจากนี้ในการออกแบบจริงผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เช่นงบประมาณในการลงทุน ระยะเวลาคืนทุน ความต้องการของเจ้าของบ้านในการใช้พื้นที่กระจกขนาดต่าง ๆ กับผนังอาคาร

ผู้วิจัยได้นำอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์เพื่อศึกษาว่าอาคารทางเลือกแบบใดบ้างที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานมากกว่าการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงพบว่า จะเหลือเพียง 6 กรณีเท่านั้นคือ อาคารทางเลือก D, E, F ซึ่งมีการบังแดดที่ 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ โดยอาคารทางเลือก G, H, I ที่มีการบังแดดที่ 60%, 80% และ 100%

ตามลำดับโดยจะมีจำนวนที่ผนังอาคารด้วยจะไม่ขอนำมาวิเคราะห์ถึงว่าเศรษฐศาสตร์เพราะพบว่าเมื่อใส่ฉนวนเข้ากับผนังอาคาร กลับพบว่าค่าการใช้พลังงานกลับมากขึ้น และจากผลการวิเคราะห์การลงทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้แผงกันแดดเทียบกับการใช้กระจก Double Low-E พบว่าค่า Life Cycle Cost ของแผงกันแดดจะมีค่าน้อยกว่าการใช้กระจก Double Low-E เมื่ออาคารนั้นมีค่า WWR สูง (80% ขึ้นไป) อย่างไรก็ตาม ขนาดสัดส่วนของแผงกันแดดนั้นจะมีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการใช้แผงกันแดดที่ 100% กับอาคารต้นแบบที่มีค่า WWR30 นั้นจะสามารถประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 17% แต่เมื่อพื้นที่กระจกมีค่าสูงถึง WWR100 นั้นจะสามารถประหยัดได้ถึง 49% ในการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนพบว่า การใช้แผงกันแดดถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดซึ่งระยะเวลาการคืนทุนจะอยู่ที่ 17 ปี ซึ่งจะเร็วกว่าการใช้กระจก Double Low-E ถึง 6 ปี

## 5.2 สรุปประเด็นและปัญหาที่สำคัญในการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปประเด็นและปัญหาของอาคารกรณีศึกษาได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. บ้านกรณีศึกษาที่มีค่า WWR สูงพบว่าการใช้พลังงานจะมากขึ้น สืบเนื่องมาจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่มาสะสมในตัวอาคารในเวลากลางวัน ทำให้เกิดภาวะการทำความเย็นมากขึ้นในเวลากลางคืน
2. กระจกใสชั้นเดียว หนา 6 มม.ที่มีการกันแดดในเวลากลางวันอย่างดี จะช่วยประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงที่ไม่มีการกันแดดที่ดี
3. บ้านพักอาศัยที่มีสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมาก การติดตั้งแผงกันแดดจะดีที่สุด เพราะการใช้พลังงานจะยิ่งลดลง ซึ่งตรงข้ามกับการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานซึ่งค่าการใช้พลังงานจะสูงขึ้นตามพื้นที่กระจกที่เพิ่มขึ้น
4. การใช้ผนังที่มีฉนวนกันความร้อน กรณีที่ WWR มีค่าสูงจะทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าการใช้ผนังธรรมดา เพราะจะรับแสงและความร้อนเข้ามามากแต่ไม่สามารถระบายออกได้ดี เป็นเหตุทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักขึ้น
5. สำหรับบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น การที่ผนังใส่ฉนวนหนาเพื่อลดค่า U-Value กลับไม่มีผลต่อการลดพลังงาน
6. อาคารที่มีการใช้แผงกันแดดที่ 100% ควบคู่กับการใช้ฉนวนกันความร้อน พบว่าเมื่อ WWR สูงขึ้นทำให้พื้นที่ผนังที่บีบที่เป็นฉนวนมีน้อยลง แต่มีพื้นที่กระจกที่ระบายความร้อนดีกว่าเดิม ทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกดีขึ้น ส่งผลให้ค่าไฟลดลง

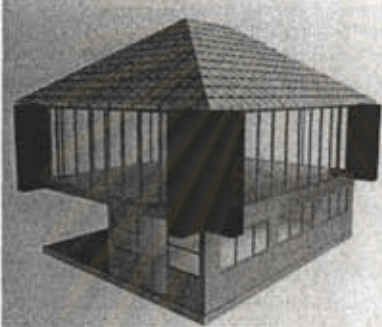



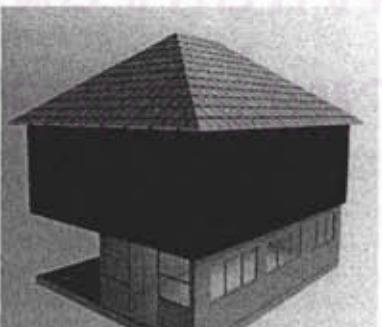



7. ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ค่า Life Cycle Cost ของแผงกันแดดจะมีค่าน้อยกว่าการใช้กระจก Double Low-E เมื่ออาคารนั้นมีค่า WWR สูง (80% ขึ้นไป)


8. อาคารพักอาศัยที่ต้องการระยะเวลาการคืนทุนเร็ว การใช้แผงกันแดดถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด เพราะจะคืนทุนเร็วกว่าการใช้กระจก Double Low-E ถึง 23 ปี

สุดท้ายนี้จึงสรุปว่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (WWR) มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัย เพราะฉะนั้นการเลือกแผงกันแดดให้ถูกต้องและเหมาะสมจะสามารถลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการบังแดดที่สัดส่วนต่าง ๆ ที่ WWR100

| ทางเลือก                      | สัดส่วนของแผงกันแดด   | รูปตัดของแผงกันแดด   | ข้อสรุป  |
|-------------------------------|---|--|--|
| BASECASE (บังแดดที่ 0%)       |   |   | บ้านตัวอย่างในท้องตลาดที่ใช้กระจกเป็นพื้นที่มาก (WWR100) เพื่อความสวยงาม แต่กลับไม่มีการบังแดดที่ถูกต้องวิธีหรือการใช้วัสดุเปลือกอาคารที่ถูกต้องนั้น ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีจะสูงถึง 26,936 kWh/year เพราะเครื่องปรับอากาศจะต้องทำภาระทำความเย็นหนักมาก   |
| ALTERNATIVE D (บังแดดที่ 60%) |  |  | การใช้อุปกรณ์บังแดดที่ 60% พบว่าค่าการใช้พลังงานจะลดลงมากกว่าการใช้กระจก Double Low-E เมื่อ WWR 40 - WWR 100 แต่เมื่อเทียบกับการใช้กระจก Double Reflective Glass ค่าการใช้พลังงานของการบังแดดที่ 60% จะมากกว่ายกเว้นเมื่อค่า WWR 100 ที่ค่าการใช้พลังงานจะเท่ากัน  |
| ALTERNATIVE E (บังแดดที่ 80%) |  |  | การใช้อุปกรณ์บังแดดที่ 80% พบว่ายิ่งค่า WWR สูงขึ้นการใช้พลังงานกลับลดลง ซึ่งต่างกับการใช้กระจกประสิทธิภาพสูง ที่ WWR ยิ่งสูง ค่าการใช้พลังงานจะสูงขึ้นตามไปด้วย และพบว่าการบังแดดที่ 80% จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้กระจก Double Low-E แต่การบังแดดที่ 80% นั้นจะประหยัดพลังงานมากกว่ากระจก Double Reflective Glass เมื่อ WWR มีค่า 50 ขึ้นไป |

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

| ทางเลือก                          | รูปแบบแผงกันแดด   | รูปตัดของแผงกันแดด   | ข้อสรุป   |
|-----------------------------------|---|--|---|
| ALTERNATIVE F<br>(บังแดดที่ 100%) |  |  | การใช้อุปกรณ์บังแดด แบบปิดเต็ม (100%) จะช่วยประหยัดพลังงานมากที่สุด และยังประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงใด ๆ ทั้งสิ้น เหมาะสมกับบ้านพักอาศัยที่ต้องการพื้นที่หน้าต่างเป็นจำนวนมาก สรุปได้ว่า กระจก Single Clear ที่มีการกันแดดเวลากลางวันอย่างดี จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้กระจกประสิทธิภาพสูงที่ไม่มีการกันแดดที่ดี |

**หมายเหตุ** รูปภาพที่นำมาใช้ประกอบในตารางนี้เป็นตัวอย่างการติดตั้งกับบ้านพักอาศัยเพื่อคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการติดตั้งซึ่งจะแตกต่างจากรูปแบบของการจำลองด้วยโปรแกรม VisualDoe 4.1 ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรม

#### ข้อเสนอแนะ

1. ผู้ที่สนใจสามารถนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้แผงกันหรือกระจกประสิทธิภาพสูงตามสัดส่วนของ WWR ที่แตกต่างกันได้ แต่ในการนำไปใช้งานจริงนั้นผู้ออกแบบต้องทำงานวิจัยต่อยอดเพิ่มในเรื่องของแสงธรรมชาติที่จะนำมาใช้กับพื้นที่อาคารภายในเพราะงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการวิเคราะห์แผงกันแดดในเรื่องของการใช้พลังงานเท่านั้น รวมไปถึงรายละเอียดอาคารที่สำคัญ เช่นทิศทางการจัดวางอาคาร รูปทรงและขนาดอาคาร ตลอดจนสถานที่ของอาคาร เป็นต้น

2. เนื่องจากการศึกษานี้เน้นเฉพาะประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแผงกันแดดที่ทำมาจากไม้เท่านั้น จึงไม่ได้นำวัสดุสำหรับการบังแดดชนิดอื่น ๆ เข้ามาร่วมศึกษาด้วยเช่นอลูมิเนียม คอนกรีต หรือม่านกันแดด ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป ผู้สนใจควรวิเคราะห์และศึกษาถึงค่าวัสดุเพิ่มเติม นอกจากนี้การออกแบบที่ได้นั้น การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์บังแดดให้เหมาะสมกับพื้นที่และสภาพภูมิอากาศนั้นจะมีผลโดยตรงต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์บังแดดนั้น ๆ

3. การลดความร้อนเข้าสู่กรอบอาคาร โดยอาศัยอุปกรณ์บังแดดภายนอกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นขนาดความกว้าง ความยาว ความถี่ของแผงกันแดด และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับหน้าต่าง ชนิดของกระจก ทิศของผนังอาคาร ฉะนั้นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับ การออกแบบอาคาร ควรจะพิจารณางองค์ประกอบข้างต้นให้สมเหตุสมผลที่สุด จะทำให้อุปกรณ์บังแดดภายนอกที่ใช้มีประโยชน์สูงสุดในการลดความร้อนเข้าสู่กรอบอาคาร

ผู้วิจัยหวังว่าข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับสถาปนิกและผู้ออกแบบ เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้แผงกันแดดตามสัดส่วนต่าง ๆ หรือเลือกกระจกที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับช่องเปิดของอาคาร โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการเลือกใช้วัสดุชนิดนั้น ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดรวมถึงสัดส่วนพื้นที่ที่กระจกต่อผนังอาคารที่มีค่าแตกต่างกันไปตามความเหมาะสม



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กนกวรรณ อุสันโน. รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน. วารสารสาธิตศาสตร์  
สถาปัตยกรรมศาสตร์. 1/2542 (2542) : 140 - 155.

การถ่ายเทความร้อนของกระจก. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.gjames.com.au>  
[2554, มกราคม 15]

กิริณา ธรรมสุข. ผลของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดกับอาคารที่มีการติดตั้งผนังกระจกเอียงเพื่อหลบรังสี  
ตรงจากดวงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชา  
สถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,  
2551.

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SC และค่า SHGC. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา:  
<http://www.gjames.com.au> [2554, มกราคม 15]

ตริงใจ บุรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร:  
อมรินทร์พริ้นติ้งพับลิชชิ่ง, 2539.

บริดจ์แฮม. ยูจีน. เอฟ. และ สุตตัน, โจเอล เอฟ. การจัดการการเงิน. แปลโดยเริงรัก จำปาเงิน.  
Fundamentals of Financial Management. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บุ๊คเน็ค  
จำกัด, 2544.

ปิยานันต์ ประสารราชกิจ. ทฤษฎีสีและการออกแบบตกแต่งภายใน. กรุงเทพมหานคร: คณะ  
สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.

บุรพล แจ่งสว่าง. แนวทางการกำหนดมาตรฐานการใช้แสงธรรมชาติในอาคารสำนักงาน.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2548.

พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนธร. การพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์ประเมินการถ่ายเทความร้อนรวมผ่าน  
เปลือกอาคาร เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะ  
สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550.

วรฤดี ศิริวัชภูะ. การศึกษาด้านแบบช่องเปิดสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, คู่มือการ  
อนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2538.

- สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. ระบบผนัง (Curtain Wall). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- สเปกตรัมรังสีอาทิตย์. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.pilkington.com> [2554, มกราคม 15]
- สมการ RAT. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.gjames.com.au> [2554, มกราคม 15]
- องค์ประกอบของพลังงานจากสเปกตรัมรังสีอาทิตย์. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.gjames.com.au> [2554, มกราคม 15]
- อรรจน์ เศรษฐบุตร. บทความประกอบการบรรยายเรื่อง สถาปัตยกรรมสีเขียว: การท้าทายเพื่อความยั่งยืน (Green Architecture: The Sustainability Challenge). กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- อรรจน์ เศรษฐบุตร. บทความประกอบการบรรยายเรื่อง อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer). กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- อรรจน์ เศรษฐบุตร. การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว. ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3 23 – 25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมไอยกสกาย จังหวัดกรุงเทพ ฯ.

### ภาษาอังกฤษ

- Asian Development. Road Safety Guidelines for Asia and Pacific Region. 1997.
- Balcomb, J., and Jones, R. Workbook for Workshop on Advanced Passive Solar Design. Balcomb Solar Associates, Bled, Yugoslavia, 1988.
- Button, D., and Pye, B. Glass in Building: Guide to Modern Architectural Glass Performance. Jordan Hill, Oxford: Butterworth Architecture, 1993.
- Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- Moore, F. Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting. New York: McGraw-Hill, 1993.
- Olgay, V. Design with Climate. New Jersey: Princeton University Press. 1992.

Santamouris, M., and Asimakopoulous, D. Passive Cooling of Buildings. London: James & James, 1996.

Watson, D. Climatic Design. New York: McGraw-Hill, 1993.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ A1 Single Clear Glass 6 mm

| Single Clear Glass 6 mm             |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                       | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                        | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                    | 6772   | 7785      | 8619      | 9653      | 10573     | 11482     | 12370     | 13299     | 14414     | 15033      |
| VENT FAN                            | 1531   | 1760      | 1957      | 2198      | 2411      | 2621      | 2830      | 3048      | 3289      | 3435       |
| Single Clear Glass 6 mm             | 16771  | 18013     | 19044     | 20319     | 21452     | 22571     | 23668     | 24815     | 26171     | 26936      |
| kWh/m <sup>2</sup>                  | 78.74  | 84.57     | 89.41     | 95.39     | 100.71    | 105.97    | 111.12    | 116.50    | 122.87    | 128.46     |

ตารางที่ A2 Double Low-E Glass กระจก 6 mm.

| Double Low-E Glass กระจก 6 mm.      |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                       | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                        | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                    | 5962   | 6481      | 6989      | 7476      | 7998      | 8523      | 9074      | 9653      | 10279     | 10944      |
| VENT FAN                            | 1351   | 1474      | 1592      | 1706      | 1829      | 1958      | 2085      | 2220      | 2364      | 2518       |
| Double Low-E Glass                  | 15781  | 16423     | 17049     | 17650     | 18295     | 18949     | 19627     | 20341     | 21111     | 21930      |
| kWh/m <sup>2</sup>                  | 74.09  | 77.10     | 80.04     | 82.86     | 85.89     | 88.96     | 92.15     | 95.50     | 99.11     | 102.96     |

ตารางที่ A3 Double Reflective Glass

| Double Reflective Glass             |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                       | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                        | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                    | 5698   | 5940      | 6228      | 6477      | 6735      | 7044      | 7377      | 7701      | 8038      | 8382       |
| VENT FAN                            | 1298   | 1371      | 1447      | 1517      | 1588      | 1672      | 1761      | 1853      | 1944      | 2035       |
| Double Reflective Glass             | 15464  | 15779     | 16143     | 16462     | 16791     | 17184     | 17606     | 18022     | 18450     | 18885      |
| kWh/m <sup>2</sup>                  | 72.60  | 74.08     | 75.79     | 77.29     | 78.83     | 80.68     | 82.66     | 84.61     | 86.62     | 88.66      |



ตารางที่ A4 การบังแดดที่ 20% กับกระจกชนิดต่างๆ

| การบังแดดที่ 20% กับกระจกชนิดต่างๆ  |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                       | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                        | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                    | 6772   | 7785      | 8619      | 9653      | 10573     | 11482     | 12370     | 13299     | 14414     | 15033      |
| VENT FAN                            | 1531   | 1760      | 1957      | 2198      | 2411      | 2621      | 2830      | 3048      | 3289      | 3435       |
| Single Clear Glass 6 mm             | 16771  | 18013     | 19044     | 20319     | 21452     | 22571     | 23668     | 24815     | 26171     | 26936      |
| Double Low-E Glass                  | 15781  | 16423     | 17049     | 17650     | 18295     | 18949     | 19627     | 20341     | 21111     | 21930      |
| Double Reflective Glass             | 15464  | 15779     | 16143     | 16462     | 16791     | 17184     | 17606     | 18022     | 18450     | 18885      |
| 20% SHADING DEVICE                  | 16709  | 17810     | 18723     | 19743     | 20654     | 21544     | 22451     | 23357     | 24107     | 25,098     |

ตารางที่ A5 การใช้ Shading Device 40% กับกระจกชนิดต่างๆ

| การใช้ Shading Device 40% กับกระจกชนิดต่างๆ |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year)         | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|   | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                               | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                                | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                            | 6772   | 7785      | 8619      | 9653      | 10573     | 11482     | 12370     | 13299     | 14414     | 15033      |
| VENT FAN                                    | 1531   | 1760      | 1957      | 2198      | 2411      | 2621      | 2830      | 3048      | 3289      | 3435       |
| Single Clear Glass 6 mm                     | 16771  | 18013     | 19044     | 20319     | 21452     | 22571     | 23668     | 24815     | 26171     | 26936      |
| Double Low-E Glass                          | 15781  | 16423     | 17049     | 17650     | 18295     | 18949     | 19627     | 20341     | 21111     | 21930      |
| Double Reflective Glass                     | 15464  | 15779     | 16143     | 16462     | 16791     | 17184     | 17606     | 18022     | 18450     | 18885      |
| 40% SHADING DEVICE                          | 16592  | 17437     | 18188     | 18884     | 19480     | 20040     | 20614     | 21116     | 21683     | 22,043     |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ A6 การบังแดดที่ 60% กับกระจกชนิดต่างๆ

| การบังแดดที่ 60% กับกระจกชนิดต่างๆ  |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                       | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                        | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                    | 6772   | 7785      | 8619      | 9653      | 10573     | 11482     | 12370     | 13299     | 14414     | 15033      |
| VENT FAN                            | 1531   | 1760      | 1957      | 2198      | 2411      | 2621      | 2830      | 3048      | 3289      | 3435       |
| Single Clear Glass 6 mm             | 16771  | 18013     | 19044     | 20319     | 21452     | 22571     | 23668     | 24815     | 26171     | 26936      |
| Double Low-E Glass                  | 15781  | 16423     | 17049     | 17650     | 18295     | 18949     | 19627     | 20341     | 21111     | 21930      |
| Double Reflective Glass             | 15464  | 15779     | 16143     | 16462     | 16791     | 17184     | 17606     | 18022     | 18450     | 18885      |
| 60% SHADING DEVICE                  | 16425  | 17030     | 17371     | 17796     | 18036     | 18210     | 18356     | 18496     | 18611     | 18,722     |

ตารางที่ A7 การบังแดดที่ 80% กับกระจกชนิดต่างๆ

| การบังแดดที่ 80% กับกระจกชนิดต่างๆ  |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                       | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                        | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                    | 6772   | 7785      | 8619      | 9653      | 10573     | 11482     | 12370     | 13299     | 14414     | 15033      |
| VENT FAN                            | 1531   | 1760      | 1957      | 2198      | 2411      | 2621      | 2830      | 3048      | 3289      | 3435       |
| Single Clear Glass 6 mm             | 16771  | 18013     | 19044     | 20319     | 21452     | 22571     | 23668     | 24815     | 26171     | 26936      |
| Double Low-E Glass                  | 15781  | 16423     | 17049     | 17650     | 18295     | 18949     | 19627     | 20341     | 21111     | 21930      |
| Double Reflective Glass             | 15464  | 15779     | 16143     | 16462     | 16791     | 17184     | 17606     | 18022     | 18450     | 18885      |
| 80% SHADING DEVICE                  | 16246  | 16577     | 16591     | 16602     | 16448     | 16265     | 16080     | 15910     | 15746     | 15,681     |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ A8 การบังแดดที่ 100% กับกระจกชนิดต่างๆ

| การบังแดดที่ 100% กับกระจกชนิดต่างๆ |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                       | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                        | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                    | 6772   | 7785      | 8619      | 9653      | 10573     | 11482     | 12370     | 13299     | 14414     | 15033      |
| VENT FAN                            | 1531   | 1760      | 1957      | 2198      | 2411      | 2621      | 2830      | 3048      | 3289      | 3435       |
| Single Clear Glass 6 mm             | 16771  | 18013     | 19044     | 20319     | 21452     | 22571     | 23668     | 24815     | 26171     | 26936      |
| Double Low-E Glass                  | 15781  | 16423     | 17049     | 17650     | 18295     | 18949     | 19627     | 20341     | 21111     | 21930      |
| Double Reflective Glass             | 15464  | 15779     | 16143     | 16462     | 16791     | 17184     | 17606     | 18022     | 18450     | 18885      |
| 100% SHADING DEVICE                 | 16098  | 16135     | 15887     | 15534     | 15127     | 14728     | 14377     | 14068     | 13797     | 13,551     |

ตารางที่ A9 SHADING DEVICE FOR WWR ขนาดต่างๆ

| SHADING DEVICE FOR WWR ขนาดต่างๆ    |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year) | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|                                     | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| 20% SHADING DEVICE                  | 16709  | 17810     | 18723     | 19743     | 20654     | 21544     | 22451     | 23357     | 24107     | 25,098     |
| 40% SHADING DEVICE                  | 16592  | 17437     | 18188     | 18884     | 19480     | 20040     | 20614     | 21116     | 21683     | 22,043     |
| 60% SHADING DEVICE                  | 16425  | 17030     | 17371     | 17796     | 18036     | 18210     | 18356     | 18496     | 18611     | 18,722     |
| 80% SHADING DEVICE                  | 16246  | 16577     | 16591     | 16602     | 16448     | 16265     | 16080     | 15910     | 15746     | 15,681     |
| 100% SHADING DEVICE                 | 16098  | 16135     | 15887     | 15534     | 15127     | 14728     | 14377     | 14068     | 13797     | 13,551     |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ A10 HOUSE USE BETWEEN SINGLE CLEAR GLASS VS. INSULATION  
WALL WITH SINGLE CLEAR GLASS

| HOUSE USE BETWEEN SINGLE CLEAR GLASS VS. INSULATION WALL WITH SINGLE CLEAR GLASS |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year)  | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|  | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง  | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์   | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ   | 6026   | 7615      | 8886      | 9951      | 10935     | 11843     | 12724     | 13592     | 14625     | 15128      |
| VENT FAN   | 1263   | 1677      | 2023      | 2298      | 2528      | 2732      | 2933      | 3133      | 3350      | 3463       |
| Insulation with Single Glass   | 15757  | 17760     | 19377     | 20717     | 21931     | 23043     | 24125     | 25193     | 26443     | 27059      |
| Single Clear Glass 6 mm  | 16771  | 18013     | 19044     | 20319     | 21452     | 22571     | 23668     | 24815     | 26171     | 26936      |

ตารางที่ A11 เวลาการใช้เครื่องปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลา

| เวลาการใช้เครื่องปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลา |  |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี<br>(kWh/year)       | สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (Window to Wall Ratio, %) |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|   | WWR<br>10  | WWR<br>20 | WWR<br>30 | WWR<br>40 | WWR<br>50 | WWR<br>60 | WWR<br>70 | WWR<br>80 | WWR<br>90 | WWR<br>100 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง                             | 1767   | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767      | 1767       |
| ไฟฟ้าอุปกรณ์                              | 6701   | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701      | 6701       |
| พลังงานปรับอากาศ                          | 13375  | 15062     | 16404     | 17593     | 18711     | 19777     | 20806     | 21920     | 23256     | 24132      |
| VENT FAN                                  | 3477   | 3966      | 4390      | 4761      | 5098      | 5416      | 5734      | 6062      | 6448      | 6709       |
| House Use Day-time (Single Glass )        | 25320  | 27496     | 29262     | 30822     | 32277     | 33661     | 35008     | 36450     | 38172     | 39309      |
| House Use Night-time (Single Glass)       | 16771  | 18013     | 19044     | 20319     | 21452     | 22571     | 23668     | 24815     | 26171     | 26936      |
| House Use All Day (Single Glass)          | 27811  | 30051     | 31807     | 33348     | 34779     | 36143     | 37468     | 38897     | 40630     | 41719      |

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายประวิตร กิตติชาญธีระ เกิดวันที่ 23 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษา  
ระดับอุดมศึกษาที่ Nelson College ประเทศ New Zealand และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรี  
สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ ในปี  
การศึกษา 2551 และได้เข้ารับการศึกษาคือในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา  
สถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553



ศูนย์วิทยพักรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย