ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อน ของอาคารในเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้น

นายธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ENERGY PERFORMANCE OF THERMAL BARRIER COATING ON GLASS OF BUILDING IN HOT AND HUMID CLIMATES

Mr.Tanachai Thavornwatsakul

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนของอาคารในเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้น
โดย	นายธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. พงศ์ศักดิ์ วัฒนสินธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ณรงค์วิทย์ อารีมิตร)

ธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล : ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนของอาคารในเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้น. (ENERGY PERFORMANCE OF THERMAL BARRIER COATING ON GLASS OF BUILDING IN HOT-HUMID CLIMATES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร, 124หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับกระจกหลายชนิด และเปรียบเทียบสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับฟิล์มติดกระจกกันความร้อน โดยศึกษาประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับอาคารเดิมที่เปิดใช้งานแล้ว ที่ใช้กระจกในกรุงเทพมหานคร และอยู่ในกรอบของอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ โดยดูตัวแปรค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อน (U - Value) และค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก (Shading coefficient - SC)

โดยการศึกษาวิจัยและจำลองผล กระจกทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ กระจกใส 3 มม. กระจกเขียว 6 มม. กระจกสะท้อนความร้อน 6 มม. กระจกอินซูเลทใส 6/12/6 และกระจกอินซูเลท Low-E 6/12/6 โดยจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระจก 3 กรณี ได้แก่ กระจกต้นแบบที่ไม่ได้เคลือบสาร กระจกติดแผ่นฟิล์ม และกระจกทาสารเคลือบกันความร้อน สรุปจำนวนของกระจกที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 15 แผ่น และอาคารอ้างอิง (Reference building) ได้แก่ บ้านพักอาศัย และอาคารสำนักงาน ที่มีพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคาร (Window to wall ratio – WWR) 4 รูปแบบ และการวางผังอาคารอีก 4 รูปแบบ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยส่วนแรก ทำการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิจากกล่องทดลอง เพื่อนำมาคำนวณในสมการคณิตศาสตร์ ให้ได้ค่าคุณสมบัติของกระจกที่มีการปรับปรุง ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อน (U - value) และสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) หลังจากนั้นแทนค่าตัวแปรดังกล่าว ในขั้นตอนวิจัยส่วนที่สอง ซึ่งจำลองการใช้งานกับอาคารอ้างอิง โดยผลที่ได้จากการจำลองอาคารนำมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละกรณี เพื่อสร้างแนวทางการปรับปรุงอาคารให้สามารถ ลดการใช้พลังงานได้อย่างเหมาะสมต่อการใช้พลังงานรวมภายในอาคาร โดยมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ด้วยการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์

ผลการจำลองอาคารบ้านพักอาศัย วิเคราะห์เชิงเทคนิคสรุปได้ว่า สารเคลือบกระจกกันความร้อนมีประสิทธิภาพ ช่วยลดการใช้พลังงานรวมภายในอาคารได้ เมื่อมีการปรับปรุงด้วยการทาสารเคลือบกระจกกันความร้อน กับกระจกทุกประเภท แต่เมื่อวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ว่า สารเคลือบกระจกกันความร้อนไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงบ้านพักอาศัยสองชั้นกับกระจกทุกประเภท เนื่องจากไม่มีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

ในกรณีของอาคารสำนักงาน วิเคราะห์เชิงเทคนิคสรุปได้ว่า สารเคลือบกระจกกันความร้อนมีประสิทธิภาพในการช่วยลดการใช้พลังงานรวมภายในอาคารได้ เมื่อมีการปรับปรุงอาคารด้วยการทางสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับกระจกทุกประเภทและอาคารทุกรูปแบบ แต่เมื่อวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สรุปได้ว่า สารเคลือบกระจกกันความร้อนเหมาะสมกับอาคารสำนักงานที่มี WWR80% วางผังอาคารเอียง 45° และ 135° และเป็นอาคารที่ใช้กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา..2555……..

5573360825 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS : THERMAL BARRIER COATING GLASS/ENERGY-EFFICIENT BUILDING ENVELOPES/ U-FACTOR/SHADING COEFFICIENT

TANACHAI THAVORNWATSAKUL : ENERGY PERFORMANCE OF THERMAL BARRIER COATING ON GLASS OF BUILDING IN HOT-HUMID CLIMATES. ADVISOR : ASST.PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 124 pp.

This research studies the energy performance of thermal barrier coating on glass with various kinds of glass and compares with film coating on glass by studying the performance of thermal barrier coating on glass in pre-existing, glass-walled, air-conditioned buildings in Bangkok (the reference buildings). There were 2 variables - heat transfer coefficient (U-value) and shading coefficient (SC).

The 5 types of glass used in the study and simulation were 3mm clear glass, 6mm green glass, 6mm heat reflective glass, 6mm/12mm/6mm insulated clear glass, 6mm/12mm/6mm insulated Low-E glass ; the 3 glass coating compared were glass without coating, glass with film and glass with barrier coatings. The amount of glass used in the experiments was 15 sheets. The reference buildings were residential and office buildings. The office buildings varied with 4 formats of window to wall ratio (WWR) and 4 layouts of the buildings. The first part of the research process was to measure and record the temperature of the experiment test box in order to calculate mathematical equations to get the optimal U-value and SC value to improve the glass quality. These results were then used in the second part and applied to the reference buildings. A feasibility study using economic analysis was also carried out in order to provide guidelines for reducing energy consumption in buildings.

In the two-storey house simulation results, the technical analysis concluded that thermal barrier coating on glass is efficient for reduceing the electricity end use in buildings when the houses were rebuilt with the thermal barrier coating on glass with all types. However the economic analysis concluded that thermal barrier coating on glass isn't suitable for two-storey houses with every kind of glass because it is not always cost-effective

In the case of office buildings, the technical analysis concluded that thermal barrier coating on glass is efficient for reduceing the total energy consumption in buildings when the building was renovated with the thermal barrier coating on glass with all types of glass and building formats. But the economic analysis concluded that thermal barrier coating on glass is suitable for office buildings with a WWR80% tilted 45 ° and 135 ° and using insulated clear glass and insulated Low-E glass

Deapartment :Architecture Student's Signature.....
Field of Study :Architecture Adivisor's Signature.....
Academic Year :2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นผลมาจากผู้เกี่ยวข้องที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือที่ดีอย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่เข้ามาศึกษาในคณะสถาปัตยกรรมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ ในฐานะประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน, ผศ. ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ ในฐานะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.ณรงค์วิทย์ อารีมิตร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยที่สละเวลาในการให้คำแนะนำและร่วมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ที่ให้คำแนะนำและความรู้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาคสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่านรวมทั้งรุ่นพี่และเพื่อนหลักสูตร 5+1 ในการให้คำแนะนำการติดต่อประสานงาน สำหรับการศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัว สำหรับการสนับสนุนการศึกษา ความช่วยเหลือในการทำงาน และกำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 พฤติกรรมของแสงผ่านกระจก 6

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน 11

2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความร้อนสะสมของอาคาร 17

2.4 งานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 22

3.1 แนวทางการวิจัย 22

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 22

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 23

3.4 การกำหนดตัวแปรของงานวิจัย 23

3.5 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 23

บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล 32

4.1 วิธีการรวบรวมข้อมูล 32

4.2 ผลการศึกษาวิจัยจากกล่องทดลอง และวิเคราะห์ผลเชิงเทคนิคด้านอุณหภูมิ 32

4.3 ผลการศึกษาวิจัยจากการจำลองอาคาร และวิเคราะห์ผลเชิงเทคนิคด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร 40

4.4 วิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์ 50

บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....65
5.1 สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน.....65
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้.....67
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป.....67

รายการอ้างอิง.....69
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก.....73
ภาคผนวก ข.....90
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....112

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการบันทึกอุณหภูมิของตำแหน่งที่วัดทั้ง 4 ตำแหน่ง.....34
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า ΔT (°C), ΔT (°F) และ Shading coefficient (SC) 36
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยสองชั้น.....41
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน.....43
ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยตลอดทั้งปี.....51
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน WWR80%.....55

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ 6
ภาพที่ 2.2 ลักษณะการสะท้อนของแสง 8
ภาพที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนของกระจก 13
ภาพที่ 2.4 ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับอาคาร 17
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทาสารเคลือบกระจกกันความร้อนลงบนผิวกระจกทั้ง 5 ชนิด 25
ภาพที่ 3.2 รูปผังพื้นแสดงรายละเอียดของกล่องทดลอง 26
ภาพที่ 3.3 รูปผังพื้นแสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิ 26
ภาพที่ 3.4 ภาพขณะเปิดหลอดไฟทำการทดลอง 27
ภาพที่ 3.5 รูปแบบอาคารอ้างอิง (Reference Building) ของบ้านพักอาศัย 29
ภาพที่ 3.6 รูปแบบอาคารอ้างอิง (Reference Building) ของอาคารสำนักงาน 30
ภาพที่ 4.1 ทิศทางการวางผังอาคาร 30

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกใส 3 มม.จากกล่องทดลอง……..……38
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกเขียว 6 มม.จากกล่องทดลอง……..……38
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกสะท้อนความร้อนจากกล่องทดลอง……..……..39
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกอินซูเลทจากกล่องทดลอง……..……39
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกอินซูเลท Low-E จากกล่องทดลอง……..……40
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยกับกระจกหลายชนิดและกระจกที่มีการปรับปรุง…...….42
แผนภูมิที่ 4.7 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80%ของกระจกใส....44
แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80%
ของกระจกเขียว……...……44
แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80%
ของกระจกสะท้อนความร้อน……..……45
แผนภูมิที่ 4.10 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80%
ของกระจกอินซูเลท……..……45
แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80%
ของกระจกอินซูเลท Low-E……...…...46
แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกใส 3 มม……..47
แผนภูมิที่ 4.13 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกเขียว 6 มม……..47
แผนภูมิที่ 4.14 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกสะท้อนความร้อน……48
แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกอินซูเลท……..48
แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกอินซูเลท Low-E…...…49
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของบ้านพักอาศัย กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……52
แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายในของบ้านพักอาศัย กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด…….52
แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งานของบ้านพักอาศัยของกระจกต้นแบบกับการปรับปรุง
กระจกทุกชนิด……53
แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของอาคารสำนักงาน WWR80% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง
กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……...…...56
แผนภูมิที่ 4.21 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายใน ของอาคารสำนักงาน WWR80% ที่วางผังอาคารทั้ง
4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……...……..57

แผนภูมิที่ 4.22 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงาน WWR80% ที่วางผังอาคาร ทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……..……57
แผนภูมิที่ 4.23 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……....58
แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายใน ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคาร ทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……...……....59
แผนภูมิที่ 4.25 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคาร ทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……..…….....59
แผนภูมิที่ 4.26 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของอาคารสำนักงาน WWR40% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด…….....60
แผนภูมิที่ 4.27 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายใน ของอาคารสำนักงาน WWR40% ที่วางผังอาคาร ทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……..…….....61
แผนภูมิที่ 4.28 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงาน WWR40% ที่วางผังอาคาร ทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด…….....61
แผนภูมิที่ 4.29 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด…….....62
แผนภูมิที่ 4.30 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายใน ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคาร ทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด…….....63
แผนภูมิที่ 4.31 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคาร ทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด……..…….....63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยประเทศไทยตั้งอยู่บนบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศที่เป็นเขตร้อนชื้น ทำให้ประเทศไทยมีอุณหภูมิที่สูงเกือบตลอดทั้งปี ดังนั้นการออกแบบสถาปัตยกรรมจึงต้องมีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อม รวมถึงการวางผังอาคาร รูปลักษณ์อาคาร และการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคาร แต่ปัจจุบันการออกแบบสถาปัตยกรรมไม่ว่าจะเป็นบ้านพักอาศัย อาคารสำนักงาน โชว์รูม เป็นต้น ได้มีการออกแบบให้อาคารมีรูปลักษณ์ที่ดูโปร่งและทันสมัยด้วยการเลือกใช้กระจกจำนวนมาก โดยไม่ได้คำนึงถึงสภาพแวดล้อม และการเลือกใช้วัสดุประกอบอาคารที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร และการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิภายในอาคาร เป็นสาเหตุของการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมาก โดยเฉพาะอาคารสูงซึ่งมีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่รวมของผนังอาคารค่อนข้างสูง (พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล และพัฒนะ รักความสุข, 2552)

การเลือกใช้กระจกในการออกแบบอาคารมีข้อดี คือ รูปแบบอาคารที่ทันสมัย สร้างภาพลักษณ์เฉพาะให้แก่อาคาร ทำให้ผู้ใช้อาคารได้เห็นทัศนียภาพภายนอกที่เชื่อมต่อกับภายในอาคาร ทำให้อาคารได้รับแสงธรรมชาติช่วยให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้กระจกก็มีข้อเสียเช่นกัน คือ ปัญหาแสงจ้า และปัญหาความร้อนที่มาพร้อมกับแสงอาทิตย์ แผ่ผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคาร ถึงแม้ว่าอาคารส่วนใหญ่จะมีการใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดความร้อนภายในอาคาร แต่อย่างไรก็ตามระบบปรับอากาศต้องรับภาระในการทำงานมากขึ้น ทำให้ไม่ได้ช่วยให้อาคารประหยัดพลังงาน

เมื่อมีการใช้งานอาคารที่มีการใช้กระจก แล้วเกิดปัญหาความร้อนภายในอาคาร เนื่องจากปัญหาที่แตกต่างกันไป เช่น การออกแบบที่ไม่คำนึงถึงบริบทโดยรอบ เรื่องของสภาวะเกาะร้อนและสภาวะโลกร้อน การเลือกใช้วัสดุผิดประเภท เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้กระจกเป็นวัสดุประกอบอาคารจำนวนมาก เป็นสิ่งที่ทำให้ความร้อนแผ่เข้ามาภายในอาคารได้มากปัจจัยหนึ่ง

แม้ว่ากระจกจะมีให้เลือกใช้หลากหลายชนิดทั้งขนาด สี หรือประสิทธิภาพ ตามความต้องการของสถาปนิกหรือเจ้าของอาคาร แต่หากการเลือกใช้กระจกไม่ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติกระจกให้เหมาะสมกับประเภทการใช้งานของอาคาร ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและการใช้พลังงานได้ นอกจากนี้อาคารเกือบทุกประเภทมีการติดตั้งระบบปรับอากาศเพื่อสร้างอุณหภูมิภายในของอาคารให้เกิดสภาวะน่าสบายให้แก่ผู้ใช้อาคาร ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แต่ละอาคารมีค่าการใช้พลังงานและต้องเสียค่าไฟจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาต่อเนื่อง จึงนำมาสู่การหาแนวทางแก้ไขปัญหากับอาคารเดิมที่ใช้อยู่ ด้วยการออกแบบคิดค้นวิธีเพื่อที่จะปรับปรุงอาคาร และช่วยลดความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร เช่น การออกแบบแผงกันแดดเพื่อลดปริมาณแสงอาทิตย์ที่จะผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคาร หรือเลือกใช้เทคโนโลยีอาคารต่างๆ เช่น สารเซรามิกเคลือบกันความร้อนที่ใช้กับผนังและหลังคา แผ่นฟิล์มกันความร้อนที่ใช้กับกระจกทั้งอาคารและยานพาหนะ และเทคโนโลยีอาคารวิธีใหม่ คือสารเคลือบกระจกกันความร้อน ที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน

สารเคลือบกระจกกันความร้อน เป็นนวัตกรรมใหม่ที่ถูกผลิตขึ้นมา มีคุณสมบัติและทำหน้าที่เหมือนการติดฟิล์มกันความร้อน เพื่อช่วยลดปริมาณรังสีอาทิตย์ตรง ที่แผ่เข้าภายในอาคาร สารเคลือบกระจกกันความร้อนมีประสิทธิภาพในการเคลือบผิวกระจกให้มีความสามารถให้การกันความร้อนโดยวิธีการแผ่รังสีให้เข้ามาภายในอาคารได้ลดลง ช่วยลดการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศ และข้อดีอีกประการ คือ สารเคลือบกระจกกันความร้อนเป็นสารที่มีคุณสมบัติที่มีสีใสเมื่อเคลือบที่ผิวกระจกทำให้ยังคงรักษาทัศนวิสัยเดิมของกระจกนั้นได้ และรับแสงธรรมชาติได้ นอกจากนี้การใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนมีความเหมาะสมที่ใช้กับอาคารเดิมที่ต้องการแก้ไขปัญหาความร้อนภายในอาคาร เนื่องจากการแก้ไขด้วยการเปลี่ยนกระจกชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแทนกระจกเดิม เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก

แม้ว่าการใช้สารเคลือบกระจกจะมีประโยชน์มากมาย หากแต่การประเมินอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดค่าการต้านทานความร้อนของสารเคลือบกระจกกันความร้อน ทำให้ในการคำนวณค่าการกันความร้อนของวัสดุไม่ได้นำมาคิดรวมด้วย ซึ่งหากมีการวิจัยเพื่อหาเกณฑ์ จะช่วยให้การปรับปรุงอาคารมีทางเลือกเพิ่มขึ้น แก่สถาปนิกและเจ้าของอาคาร ในการเลือกใช้วัสดุนี้ด้วย ซึ่งทั้ง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา งานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารด้วยวิธีต่างๆ เช่น งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารเคลือบเซรามิกชนิดต่างๆกับผนังทึบเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และการติดฟิล์มกันความร้อนกับผนังอาคารที่เป็นกระจก เป็นต้น แต่ยังไม่มีการศึกษาวิจัยฉบับใดที่ศึกษาวิจัยสารเคลือบกระจกกันความร้อน อีกทั้งยังไม่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการติดฟิล์ม และการใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารเหมือนกัน จึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อให้เกิดทางเลือกที่เหมาะสมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงมีความสำคัญในการพัฒนาความรู้ทางเทคโนโลยีอาคาร โดยผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำแนวทางการศึกษาดังกล่าว ไปศึกษาต่อในประเด็นอื่นที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับกระจกหลายชนิด

2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับฟิล์มติดกระจกกันความร้อน

3. เพื่อกำหนดแนวทางในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนที่เหมาะสมกับชนิดกระจกกับประเภทอาคาร และผลการใช้พลังงานภายในอาคาร ด้วยการประเมินผลเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาสารเคลือบกระจกกันความร้อน โดยดูตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) และค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก (Shading coefficient)

2. ศึกษาและจำลองผลการใช้พลังงานของกระจกกับอาคารอ้างอิง (Reference building) ได้แก่ บ้านพักอาศัย และอาคารสำนักงาน ที่ใช้กระจกในกรุงเทพมหานคร

3. ศึกษาประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับอาคารเดิมที่เปิดใช้งานแล้วเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์จะคิดต้นทุนจะไม่รวมค่าก่อสร้างอาคาร จะคิดเพียงการปรับปรุงอาคารเท่านั้น

4. การวัดประสิทธิภาพในการใช้งานอาคาร ที่อยู่ในกรอบของอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ งานวิจัยเกี่ยวกับกระจก และการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มกันความร้อน งานวิจัยด้านการใช้ถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของอาคารที่เป็นกระจก ศึกษาบทความที่เกี่ยวกับปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในอาคารและการประหยัดพลังงาน เป็นต้น

2. ศึกษาและกำหนดตัวแปรของงานวิจัย สำหรับกล่องทดลองและการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual DOE 4.1

3. วิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่เก็บได้จากกล่องทดลอง ประเมินประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อนเปรียบเทียบข้อมูลชุดการทดลอง และคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน (U-value) และสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก (SC)

4. ทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร โดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ คือ U-value และค่า SC เพื่อแทนค่าตัวแปรเพื่อสร้างวัสดุใหม่ ในโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อใช้กับอาคารอ้างอิง (Reference Building) ได้แก่ บ้านพักอาศัย และอาคารสำนักงาน

5. วิเคราะห์ผลข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อนเชิงเทคนิคและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

6. สรุปผลการจำลองทั้งหมดและเสนอแนวทางในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนให้เหมาะสมกับชนิดกระจกกับประเภทอาคาร และการใช้พลังงานภายในอาคาร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อนที่ใช้กับกระจกหลายชนิด เพื่อใช้ในการประเมินค่าการกันความร้อนของกระจก

2. ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับฟิล์มติดกระจกกันความร้อน

3. ได้แนวทางในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนที่เหมาะสมกับชนิดกระจกกับประเภทอาคารที่ลดการใช้พลังงานในอาคาร และเหมาะสมกับสภาวะน่าสบายสำหรับอาคารในด้านการประหยัดพลังงาน

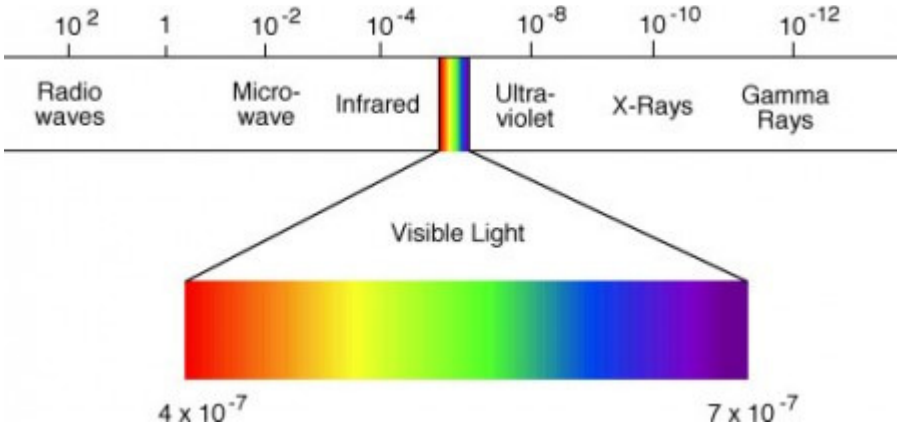
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย การศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนของอาคารในเขตสภาพอากาศร้อนชื้น ซึ่งประกอบด้วย พฤติกรรมของแสงผ่านกระจก ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของกระจก ปัจจัยที่ส่งผลต่อความร้อนสะสมในอาคาร ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระจก และวิธีการลดการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้กระจก

2.1 พฤติกรรมของแสงผ่านกระจก

การที่คนเราสามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆได้นั้น เนื่องจากคลื่นแสงที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ โดยคลื่นแสงดังกล่าวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Wave) ที่มีความถี่ของคลื่นสั้นมากมีหน่วยวัดเป็นนาโนเมตร (Nanometers) ซึ่งคลื่นแสงต่างๆจะมีความยาวของคลื่นเรียงจากน้อยไปหามาก คือ รังสีคอสมิก รังสีแกมม่า รังสีเอ๊กซ์ รังสีอุลตราไวโอเลท แสงที่คนเราสามารถมองเห็น รังสีอินฟราเรด ไมโครเวฟ คลื่นเรดาร์ คลื่นวิทยุโทรทัศน์ จนถึงคลื่นโทรศัพท์ที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด (สวิชญา ดาวประกายมงคล)



ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์

ที่มา http://www.redorbit.com/education/reference_library/space_1

/universe/2574670/electromagnetic_spectrum/

จากภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นการลำดับรังสีต่างๆซึ่งแสงที่ตามองเห็นจะเป็นคลื่นแมเหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380-780 นาโนเมตร แต่โดยทั่วไปแล้วมนุษย์สามารถตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 555 นาโนเมตร ได้มากที่สุด ส่วน การมองเห็นจะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่มีแสงสว่างที่วัตถุ หรือบริเวณที่ต้องการมองนอกจากแสงสว่างซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการมองเห็น ยังมีปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่ช่วยในการมองเห็น เช่น ความสามารถในการมองเห็นของดวงตา ความสว่าง(Luminance) ของวัตถุ ความส่องสว่าง (Luminous) ปริมาณแสง (Luminous Fax) ที่ตกกระทบลงบนวัตถุ ความเข้มข้นของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) ขนาดและรูปร่างของวัตถุ ความแตกต่างระหว่างวัตถุกับฉาก การเคลื่อนที่ของวัตถุและสีของวัตถุ เป็นต้น แสงขาว (White Light) ที่ประกอบด้วยสีต่างๆรวมกันอยู่ภายในแสงขาวได้หลายลักษณะดังนี้

1) คลื่นแสงรบกวน (Interference) สีที่เกิดขั้นเมื่อแสงส่องผ่านแผ่นโปร่งใสบางๆ เช่น น้ำมันหรือฟองสบู่ คลื่นแสงจะผ่านวัตถุนี้ไปไม่ได้ทั้งหมด จึงเกิดสีรุ้งขั้น ซึ่งจะแตกต่างไปตามความหนาบางของวัตถุ เช่น รุ้งบนเปลือกหอยมุข เป็นต้น

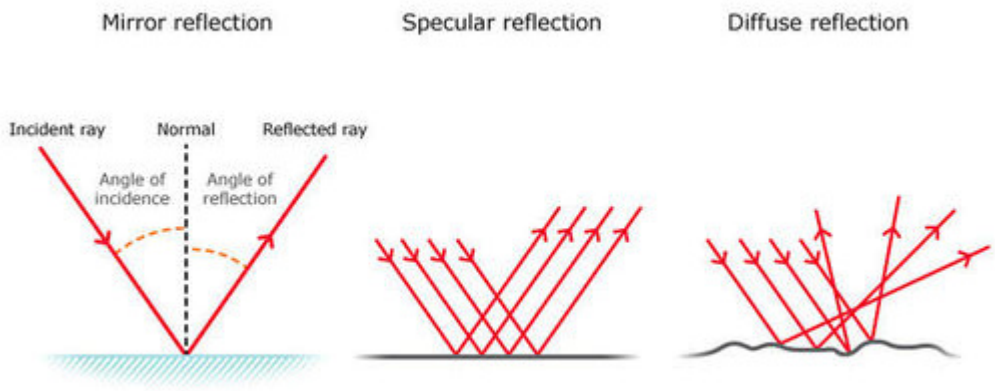
2) การหักเหของแสง (Reflection) เกิดจากการที่แสงส่องผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า เช่น กระจกหรือน้ำ แต่ละความยาวคลื่นของแสงจะหักเหแตกต่างกันไปทำให้แสงขาวแตกออกเป็นสีต่างๆ ตัวอย่างเช่น การเกิดรุ้งกินน้ำ เป็นต้น

3) การเบี่ยงเบนของแสง (Diffraction) หมายถึง แสงจะแยกออกเป็นสี เมื่อมีสิ่งกีดขวางทางเดินของแสงแล้วปล่อยให้แสงลอดออกจากช่องที่เล็กมากๆหรือจากขอบที่คมมากๆ เช่น ให้แสงลอดผ่านเข้าทางรอยแตกของประตูไม้

4) การดูดกลืนและการสะท้อนกลับ (Absorption and Reflection)เมื่อแสงตกกระทบผิวหน้าของวัตถุ คลื่นแสงบางตัวจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลที่ผิวหน้าของวัตถุนั้น ขณะที่คลื่นแสงส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดสะท้อนออกจากผิวหน้าของวัตถุ เช่น การเห็นสีแดงเกิดจากวัตถุดูดกลืนคลื่นแสงทั้งหมด ยกเว้นคลื่นแสงสีแดง ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นเป็นสีแดงขึ้น โดยสีต่างๆที่เราเห็นบนวัตถุที่เกิดขึ้นด้วยนี้ไม่ใช่สีบนตัววัตถุเอง แต่เกิดมาจากโครงสร้างโมเลกุลของวัตถุนั้นๆยอมให้คลื่นแสงบางคลื่นดูดซึมเข้าสู่ผิวหน้าและสะท้อนคลื่นแสงที่เหลือออกมายังดวงตาของเรา

เมื่อแสงตกกระทบกระจก จะส่งผลให้พฤติกรรมของแสงหรือแนวทางเดินของแสงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถแบ่งพฤติกรรมของแสงออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) การสะท้อนของแสง (Light Reflection)หมายถึง การที่แสงตกกระทบผิวของกระจกแล้วสะท้อนออกมาโดยที่ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการสะท้อนแสงแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) การสีท้อนของแสงแบบกระจกเงา (Specular Reflection)เป็นการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบผิวของกระจกที่เรียบและแบน โดยแสงที่ตกกระทบจะมีการสะท้อนในลักษณะที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนแสง เช่น กระจกเงา ทึบแสง (2)การสะท้อนแสงแบบกระจาย (DiffuseReflection)ในทางกลับกัน หากผิวกระจกนั้นไม่ราบเรียบอย่างสม่ำเสมอ แสงจะสะท้อนออกมาอย่างกระจัดกระจายไม่เสมอกัน ซึ่งเรียกว่า (3) การสะท้อนแบบผสม (Spread Reflection)เป็นลักษณะการสะท้อนที่ผสมผสานกันระหว่างแบบกระจกเงาและการสะท้อนแสงแบบกระจาย โดยเป็นการสะท้อนแสงที่พบมากที่สุด (ดูภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการสะท้อนของแสง

ที่มา http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/Light-and-Sight/Science-Ideas-and-Concepts/Reflection-of-light

ในการพิจารณาค่าคุณสมบัติกระจกจะพบว่ามีทั้งค่าสะท้อนแสงภายนอก(Visible Reflection Light out) และค่าสะท้อนแสงภายใน (Visible Reflection Light in) กระจกที่มีค่าสะท้อนแสงภายนอกมากจะทำให้ปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาในอาคารลดลง ทำให้อาคารต้องใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งถ้าค่าสะท้อนแสงนั้นมากเกินไปจะรบกวนบุคคลภายนอกอาคารได้

ซึ่งตามกฎหมายกำหนดค่าสะท้อนแสงภายนอกไม่ให้เกินร้อยละ 30 นอกจากนี้ หากมีค่าการสะท้อนแสงภายในมากจะทำให้ผู้ใช้อาคารในตอนกลางคืน มองเห็นเงาของตัวเองสะท้อนในกระจก และไม่สามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอกอาคารได้ชัดเจน เช่น กระจกสะท้อนแสงที่มีสีทึบ

2) การดูดกลืนของแสง (Light Absorption) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนเข้าไปในเนื้อกระจกที่แสงตกกระทบ โดยปริมาณการถูกดูดกลืนของแสงขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดกลืนของกระจกที่เป็นตัวกลางซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสีและประเภทของกระจก เช่น กระจกสีชาดำจะมีการดูดกลืนแสงมากทำให้แสงธรรมชาติส่องผ่านเข้ามายังอาคารได้น้อย จึงทำให้ภายในอาคารดูมืดสลัว นอกจากนั้น แสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปจะถูกเปลี่ยนรูปจากพลังงานแสงไปเป็นพลังงานความร้อนซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร

3) การส่องผ่านของแสง (Light Transmission) หมายถึง การที่แสงตกกระทบกระจกแล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของกระจกได้ โดยเมื่อแสงตกกระทบกระจก แสงส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกระจก ในขณะที่แสงอีกส่วนจะส่องผ่านทะลุมา ดังนั้น ปริมาณแสงทั้งหมด จึงหมายรวมถึง ผลรวมของปริมาณแสงสะท้อน ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน และปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่านนั้นเอง การส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ (1) กรณีตัวกลางโปร่งใส่ (Transparent Medium)เช่น กระจกใสและกระจกสีต่างๆ เมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และการเปลี่ยนทิศทางของแสง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสีและคุณสมบัติของกระจกนั้นๆ และแสงจะทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน (2) กรณีตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium)เช่นกระจกฝ้า กระจกพ่นทราย กระจกเคลือบสีเซรามิกโปร่งแสง เป็นต้น การส่องผ่านของแสงที่ผ่านตัวกลางประเภทนี้จะมีลักษณะกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแสงแหล่งกำเนิดที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของกระจกชนิดต่างๆจะพบว่ามีค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmission)ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการควบคุมแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานอาคาร เช่น ห้องสมุดต้องการใช้แสงสว่างธรรมชาติมากๆ จะเลือกใช้กระจกที่มีค่าแสงส่องผ่านสูง ในขณะ

ที่อาคารสำนักงานที่ใช้งานตอนกลางวันและต้องการความเป็นส่วนตัวโดยมิให้บุคคลภายนอกเข้ามาในอาคารได้ชัด อาจเลือกใช้กระจกสะท้อนแสงที่มีค่าแสงส่องผ่านต่ำกว่า

แนวคิดในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้นนอกจากจะคำนึงถึงพฤติกรรมของแสงที่กระทำต่อกระจกแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบช่องแสงเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ลง เมื่อกล่าวถึงแสงสว่างธรรมชาติจะหมายถึงแสงสว่างในเวลากลางวัน ซึ่งมีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติจึงขึ้นอยู่กับการโคจรขึ้นลงของดวงอาทิตย์ และการโคจรนี้ก็มีผลกระทบกับการเห็นสีต่างๆของเรา แสงธรรมชาติจะแปรเปลี่ยนตามเวลาและฤดูกาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโลกที่โคจรไปรอบๆดวงอาทิตย์ในแต่ละวันก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นจะมีแสงเรืองๆบนท้องฟ้า สีที่เห็นจะไม่ชัดเจนเนื่องจากมีปริมาณแสงน้อยมาก จะปรากฏเป็นเพียงโทนสีเย็นทึมๆคล้ายสีเทา เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นสีจะค่อยๆอุ่นขึ้นและปรากฏเป็นแสงขาว แสงขาวนี้เป็นแสงที่จะเห็นสีได้ชัดเจนที่สุดในตอนเที่ยงวัน ในช่วงบ่ายแสงจะยังคงอุ่นขึ้นเรื่อยๆและจะออกเป็นสีแดงเรืองเมื่อเวลาดวงอาทิตย์ใกล้ตกดิน นอกจากนี้ สภาพที่เปลี่ยนแปลงของอากาศจะเป็นตัวแปรทำให้สีของแสงธรรมชาติเปลี่ยนไปได้ เช่น ปริมาณเมฆบนท้องฟ้าจะกรองคลื่นแสงสีแดง แสด และเหลืองทำให้สีต่างๆ ปรากฏหม่นลง ในการวางมาตราฐานสีที่จะใช้สีที่ปรากฏภายใต้สภาพแสงที่แรงที่สุดขณะเที่ยงวัน สาเหตุที่ยึดสีภายใต้แสงนี้เป็นมาตราฐานก็เพราะถือเป็นสภาพแสงที่แจ่มชัด การพิจารณาความถูกต้องของสี(Color Rendering) วัตถุต่างๆด้วยวิธีง่ายๆ เทียบได้จากแสงเที่ยงวัน แม้ว่าการเทียบสีกระจกที่จะต้องมองสีกระจกที่จะต้องมองสีกระจกผ่านแสงธรรมชาติ จึงจะเห็นสีกระจกอันใกล้เคียงกับกระจกผนังที่จะใช้งานจริงมากที่สุด

แสงธรรมชาติมีผลกระทบต่อสีภายในเช่นเดียวกับภายนอกอาคาร องค์ประกอบต่างๆในงานตกแต่งภายใน ไม่ว่าจะเป็นพื้น ผนัง เครื่องเรือน ล้วนได้รับอิทธิพลจากแสงในช่วงเวลาต่างๆของวัน ห้องที่มีหน้าต่างหรือช่องแสงหันไปทางทิศตะวันออกจะได้รับแสงแดดในช่วงเช้า ห้องที่หันไปทางทิศตะวันตกจะได้แสงที่ร้อนแรงของแดดบ่ายไปจนถึงเย็น แสงเหนือเป็นแสงสว่างที่ไม่ได้รับแดดเข้าภายในอาคารโดยตรง จึงเป็นแสงที่รวมคลื่นแสงทุกสีไว้ ห้องที่ได้รับแสงทางทิศเหนือจึง

สามารถเห็นสีได้ถูกต้องชัดเจน อีกทั้งการเปิดช่องให้แสงเข้าทางด้านบน (Skylights) แสงจะกระจายไปทั่วห้องช่วยสร้างสมดุลแสงจากทุกทิศทางได้ดี

อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาใช้แสงธรรมชาติในอาคาร จะต้องให้ความสำคัญกับสภาวะน่าสบายด้วย โดยสภาวะสบายเนื่องจากการมองเห็นและแสงสว่าง (Visual and Lighting Comfort)หมายถึง การที่ภายในอาคารมีแสงสว่างเพียงพอ และแสงไม่บาดตาเกินไป ความบาดตา (Glare)ของแสงเกิดจากความแตกต่างระหว่างแสงภายนอกกับแสงภายในมีมากจนเกินไป หรืออาจเกิดจากแสงที่มากจนเกินไป ถึงแม้ว่าคนเราจะสามารถปรับสายตาให้เหมาะกับความสว่างที่มากเกินไปในที่แจ้งได้ แต่หากความสว่างบริเวณที่สุดกับบริเวณที่มืดที่สุดมีความแตกต่างมากจนเกินไป บริเวณที่แสงสว่างมากเกินไปอาจก่อให้เกิดสภาวะไม่น่าสบาย ในขณะที่บริเวณที่มืดที่สุดอาจทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้เลย ซึ่งถ้าหากมีความแตกต่างกันมากกว่า 10: 1 อาจก่อให้เกิดแสงบาดตาได้

หากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกระจกและสภาวะน่าสบาย พบว่า กระจกมีอิทธิพลต่อภาวะน่าสบาย เนื่องจากได้รับความร้อน (Heat Gain) และการสูญเสียความร้อน (Heat Loss) ผ่านกระจกสามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในห้องได้ นอกจากนั้นยังมีการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีระหว่างกระจกและผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคาร ยกตัวอย่างเช่น คนที่ทำงานติดกับหน้าต่างกระจก อุณหภูมิของผิวกระจกด้านที่อยู่ภายในอาคารควรจะมีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายอันเป็นผลมาจากการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างคนกับหน้าต่าง ดังนั้นสภาวะน่าสบายนี้จะขึ้นอยู่กับความใกล้หน้าต่าง ตลอดจนขนาดของหน้าต่าง และอุณหภูมิผิวของกระจก

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของการเกิดแสงอาทิตย์ หรือ แสงแดดซึ่งเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมายังผิวโลก โดยแสงอาทิตย์เหล่านี้ มีองค์ประกอบที่สำคัญในการประกอบเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ หรือแสงแดดมีสำคัญ 3 ประการด้วยกัน คือ (1) รังสีอุลตร้าไวโอเล็ทหรือ รังสี

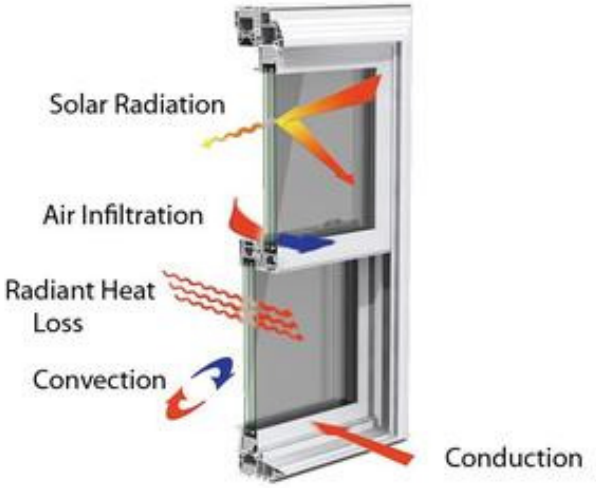
เหนือม่วง หรือรังสียูวี (Ultra Violet หรือUV) (2) แสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) (3) รังสีอินฟราเรด (Infrared) รังสีอินฟราเรด หรือ รังสีความร้อน

ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า แสงธรรมชาติและรังสีอินฟราเรด เป็นปัจจัยสำคัญอันดับต้นๆที่จะต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้กระจกของผนังอาคาร เพราะการเลือกใช้วัสดุอย่างถูกต้องในงานสถาปัตยกรรม มีความสำคัญไม่เฉพาะกับสถาปนิกและวิศวกรเท่านั้นเจ้าของอาคารและผู้ใช้งานอาคารก็จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเรียนรู้ เพราะไม่เพียงแต่รังสี UV จะส่งผลให้เกิดความร้อนภายในอาคารแล้ว แต่ยังส่งผลกระทบให้เกิดปัญหาต่างๆตามมาอีกมากมาย เช่น การเพิ่มขึ้นของการใช้ปริมาณไฟฟ้าภายในอาคาร การซีดจางของสีวัสดุ และการเสื่อมสภาพของวัสดุตกแต่งภายในอาคารก่อนเวลา ซึ่งสิ่งเหล่านี้ถือเป็นปัญหาที่พบมากในอาคารที่อยู่ในเขตโซนร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรุงเทพมหานคร ที่เป็นศูนย์การธุรกิจที่มีอาคารกระจกสูงมากมาย

จะเห็นได้ว่า ปัจจุบันอาคารตึกสูงมักจะมีการนำเทคโนโลยีต่างๆในการป้องกันความร้อนของวัสดุผนังอาคารมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กับวัสดุผนังอาคาร เช่น กระจก ที่ได้กลายเป็นองค์ประกอบหลักสำคัญของกรอบอาคาร โดยเทคโนโลยีที่พบว่าถูกนำมาใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การเคลือบสารสะท้อนแสง (Solar Reflective Coating) และสารแผ่รังสีต่ำ (Low – Emisitivity Coating) บนผิวกระจกอาคาร เพื่อช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร และเพื่อช่วยควบคุมพลังงานของแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ที่เกิดผ่านกระจก และการใช้ฟิลม์ PVB เพื่อลดรังสี UV ที่ผ่านเข้ามาในอาคาร เป็นต้น

กลไกการถ่ายเทความร้อนและส่งผ่านแสงของกระจกเมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนผิวด้านนอกของกระจก หรือเมื่อผนังกระจกได้รับความร้อน รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะผ่านเข้าไปในอาคารได้โดยตรงบางส่วนถูกสะท้อนกลับขณะที่ส่วนที่เหลือจะถูกดูดกลืนไว้ในตัวของกระจกซึ่งทำให้กระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อน โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่ๆมีอุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั้งเกิดการคงที่และเท่ากันของอุณหภูมิทั้งสอง ซึ่งความร้อนที่สะสมนี้ส่วนหนึ่งจะถ่ายเทกลับสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโดยส่วนที่เหลือจะถูกถ่ายเทเข้าสู่ภายในตัวอาคารและกลายเป็นภาระความร้อนของระบบปรับอากาศผลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคารก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความ

ร้อนถ่ายเทผ่านกระจกเข้าสู่อาคารดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกจึงมีทั้งส่วนที่เกิดจาก การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ซึ่งเรียกว่ากลไกการถ่ายเทความร้อน (Thermal Heat Transfer) ทั้งนี้รูปแบบของการถ่ายเทความร้อนจะแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติเฉพาะของกระจกแต่ละประเภท



ภาพที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนของกระจก

ที่มา http://www.miwd.com/ask-the-expert/post/1038549-what-is-the-difference-between-conduction

โดยทั่วไปความร้อนจากภายนอกที่มาจากแหล่งกำเนิดจากดวงอาทิตย์ จะมาในรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ (Extraterrestrial Solar Radiation) สู่พื้นผิวโลก ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับไปและส่วนที่เรื่อยจะเคลื่อนเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศ โดยบางส่วนจะถูกกระเจิง (Scatter) และดูดกลืน (Absorption) โดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละอองส่วนความร้อนที่เหลือจะลงสู่พื้นผิวโลกซึ่งจะมีทั้งสะท้อนกลับไปสู่ชั้นบรรยากาศและถูกดูดกลืนไว้ ซึ่งความร้อนที่สะสมไว้จากการดูดกลืนจะทำให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นและจะพยายามถ่ายเทเข้าสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงการถ่ายเทสู่ตัวอาคารด้วยเช่นกัน โดยมีการถ่ายเทความร้อน3 แบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี

2.1.1 **การนำความร้อน** (Conduction)

เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกัน และมีการชนกันไปเรื่อยๆจนเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงาน ซึ่งกันและกัน ซึ่งการนำความร้อนชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่มีพลังงานมากกว่าเกิดการสั่นสะเทือนและถ่ายทอดพลังงานไปยังโมเลกุลที่มีพลังงานน้อยกว่า โดยที่ตัวกลางไม่เกิดการเคลื่อนที่ หรือกล่าวง่ายๆว่าเป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งความสามารถของการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่แตกต่างกัน เช่น (1) ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ โดยวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงจะ นำความร้อนได้ดี เช่น โลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีกว่า คอนกรีต อิฐ อโลหะและอากาศ (2) ระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การนำความร้อนที่ดีจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุในแต่ละด้าน ถ้าในแต่ละด้านมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากก็จะนำความร้อนได้มาก ถ้าอุณหภูมิของวัตถุในแต่ละด้านถ้าในแต่ละด้านมีความแตกต่างของอุณหภูมิน้อย ก็จะนำความร้อนได้น้อย เป็นต้น (3) ความหนาแน่นของวัตถุ ซึ่งวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อย จะนำความร้อนได้มาก (4) พื้นที่เปิด พื้นที่เปิดภายในอาคารมีผลต่อระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ถ้าอาคารมีพื้นที่เปิดต่อความแตกกต่างอุณหภูมิมาก ย่อมเกิดการนำความร้อนมาก (5) ระยะเวลา หมายถึงระยะเวลาของวัตถุที่สัมผัสความร้อน ถ้าวัตถุสัมผัสความร้อนนานเท่าไหร่ก็จะเกิดการนำความร้อนได้มาก

การเลือกใช้วัสดุก็มีผลต่อระดับอุณหภูมิภายในอาคาร เช่นถ้าเราเลือกใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อน (R Value)สูง หรือ วัสดุที่มีค่าการส่งผ่านความร้อน (U Value)ต่ำ ก็จะสามารถลดการนำความร้อนเข้าสู่ภายในตัวอาคารได้ นอกจากนี้ความแตกต่างของระดับของอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารก็มีผลต่อนำความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารมีความแตกต่างกันมากก็จะนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้มาก หากอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารมีความแตกต่างกันน้อย ก็จะสามารถนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อยเช่นกัน ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาค่าการนำความร้อนของผนังกระจกจะต้องพิจารณาที่ค่าของ การส่งผ่านความร้อน หรือ ค่า U ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้

โปรแกรมจำลอง (Simulation Software) ซึ่งจะต้องพิจารณาควบคู่กับพื้นที่ของตัวกระจก ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

2.1.2 **การพาความร้อน** (Convention)

เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอะตอมและโมเลกุลของสสารซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ส่วนของแข็งนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน และการแผ่รังสีเท่านั้น การพาความร้อนแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ (1) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) หรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) คืออาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหลโดยที่ไม่มีกลไกใดๆที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งอาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง และ(2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection) โดยใช้แรงภายนอกมาบังคับการเคลื่อนที่ของของไหลพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่างกัน สำหรับกรณีที่ลมมีความเร็วมากกว่า4-5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะถือว่าเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2552) การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหลโดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอกวัตถุซึ่งมีผิวเรียบอยู่ในของไหลซึ่งอยู่นิ่งถ้าอุณหภูมิของผิวสูงกว่าอุณหภูมิของของไหลความร้อนจะเริ่มเคลื่อนที่มายังของไหลที่ชิดกับผนังทำให้ความหนาแน่นของของไหลที่อยู่ชิดผนังต่ำลงซึ่งทำให้เกิดแรงผลักดันให้ของไหลลอยตัวขึ้นของไหลที่อยู่ต่ำกว่าก็จะเคลื่อนเข้ามาแทนที่และทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหลเช่นพัดลมหรือเครื่องสูบน้ำเมื่อพิจารณาจะเห็นว่าอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนในกรณีนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณต่างๆหลายปริมาณเช่นคุณสมบัติต่างๆของของไหลขนาดและลักษณะของของแข็งอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างของไหลและพื้นผิวนอกจากนี้สัมประสิทธิ์ในการขยายตัวของสารซึ่งมีผลต่อแรงลอยตัวของสารก็ยังมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

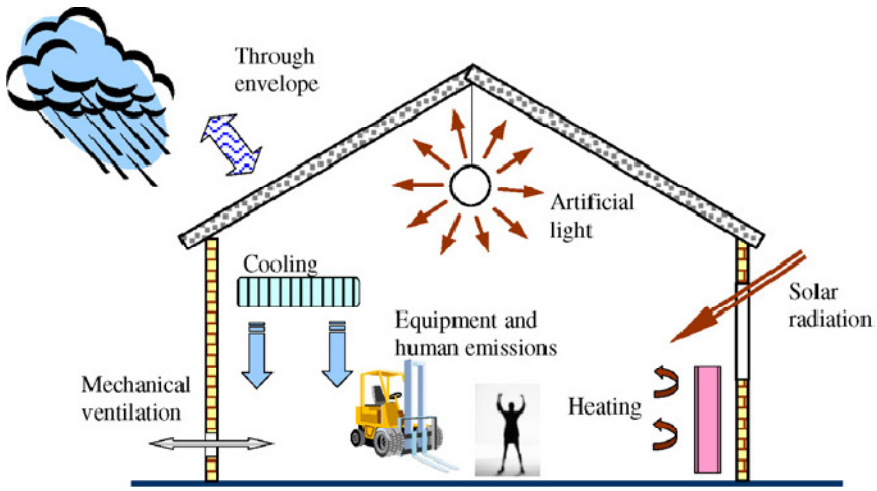
2.1.3 **การแผ่รังสี** (Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทางโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน เท่ากับว่าเป็นการเดินทางของพลังงานรังสีด้วยความเร็วที่เท่ากับความเร็วแสง และเดินทางจากแหล่งกำเนิดที่ร้อนกว่าในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electronic wave) ไปสู่ด้านที่เย็นกว่า เช่นความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสีมายังโลก โดยคิดเป็นร้อยละ 68.2 ส่วนปริมาณความร้อนของรังสีที่เหลืออีก ร้อยละ 31.8 จะถูกสะท้อนกลับไปเป็นสู่ชั้นบรรยากาศของโลก (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2552) ในลักษณะคลื่นโดยที่วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้คือ (1) ความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน (Absorptivity) (2) ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity) (3)ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) และ(4) ความสามารถในการส่งผ่านรังสีความร้อน (Transmisivity) นอกจากนี้อาจยังขึ้นอยู่กับ สีของวัตถุหรือ ผิวของวัตถุ อีกด้วย เช่น วัตถุสีดำหรือสีเข้มดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุสีขาวหรือสีอ่อนหรือ วัตถุผิวขรุขระดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุผิวเรียบและขัดมันซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับสภาพอากาศในบริเวณที่ตั้งอาคารเพราะแม้กระทั้งสีของอาคารก็มีส่วนช่วยทำให้อาคารเย็นและร้อนได้ด้วย

จากความสามารถในกระบวนการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่กล่าวมา ถือได้ว่าเป็นลักษณะ และหลักการเช่นเดียวกันกับกระบวนการแผ่รังสีของกระจก โดยเมื่อเกิดแสงอาทิตย์มาตกกระทบที่ผิวกระจกและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์(Solar Energy) นี้จะถูกสะท้อนออมาภายนอกอาคาร (Solar Reflection) และมีบางส่วนที่ถูกดูดกลืนเข้าสู่ตัวเนื้อกระจก (Solar Absorption) ก่อนที่จะค่อยๆแผ่รังสีความร้อนออกมาสู่ทั้งภายนอกและภายในอาคาร (Solar Emissivity) และส่วนสุดท้ายที่เหลือคือ พลังงานของแสงอาทิตย์ที่สามารถทะลุผ่านกระจกเข้ามาในตัวอาคาร (Solar Transmittance) (สวิชญา ดาวประกายมงคล)

2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความร้อนสะสมของอาคาร

ความร้อนที่สะสมในอาคาร โดยทั่ว ๆ ไปจะมาจาก 4 สาเหตุ ได้แก่ ความร้อนจากดวงอาทิตย์ ความร้อนจากผู้ใช้งานในอาคาร และเครื่องใช้สำนักงานต่าง ๆ ความร้อนจากแสงสว่าง (จากหลอดไฟ และบัลลาสต์) และความร้อนจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในอาคาร ซึ่งสัดส่วนของความร้อนที่มาจากรังสีอาทิตย์จะเป็นความร้อนที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับความร้อนในส่วนอื่น ๆ ความร้อนในส่วนนี้จะเข้าสู่อาคารได้ 2 ทาง ได้แก่ ความร้อนที่ผ่านหลังคา และความร้อนที่ผ่านผนังของอาคาร ได้แก่ หน้าต่าง และ ผนังกำแพง ซึ่งความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด เช่น ช่องแสงหน้าต่างกระจก จะมากที่สุดที่ปริมาณ 2 เท่าของความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา (Xiaoxin W., 2008) (ภาพที่1)



ภาพที่ 2.4 ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับอาคาร

ที่มา : Xiaoxin W., Chris K., Ray O. and James M. 2008. *Dynamic thermal simulation of a retail shed with solar reflective coatings*. Applied Thermal Engineering 28 : 1066–1073

2.4 งานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีในช่วงแรกของสารเคลือบกระจกที่มีคุณสมบัติกันความร้อน เป็นการเริ่มต้นคิดค้นทางวิทยาศาสตร์สารที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อน ได้ถูกผลิตขึ้นภายในโรงงานพร้อมกันระหว่างกระจกและสารกันความร้อน อยู่ในรูปแบบของการผลิตเป็นกระจกสำเร็จรูปพร้อมติดตั้ง ซึ่ง Durrani S.M.A., 2004 ได้ทำการศึกษาวิจัยกระจกสามชั้นที่มีการเคลือบสารลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน เพื่อนำมาใช้กับอาคารและศึกษาสารเคลือบกระจก

กันความร้อนมีประสิทธิภาพต่อการลดการใช้พลังงานของอาคารภายใต้สภาพเขตอากาศอบอุ่นหรือไม่อย่างไร โดยสารที่นำมาศึกษา ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2), ทังสเตนไตรออกไซด์ (WO_3), and ซิงก์ซัลเฟด (ZnS) ได้ทำการทดลอง และได้สรุปผลว่ากระจกที่เคลือบสารเหล่านี้สามารถกันความร้อนได้เมื่อเทียบกับกระจกที่ไม่ได้เคลือบสาร

ในการศึกษาด้านประสิทธิภาพการกันความร้อนของสารเคลือบกันความร้อนที่ทดลองใช้กับวัสดุต่างๆของอาคารซึ่งในช่วงถัดมาที่มีการศึกษาวิจัยโดย Synnefa A., 2006 ส่วนมากจะทดลองใช้วัสดุทึบอย่างเช่น ผนังคอนกรีต เป็นหลัก เพราะเป็นส่วนที่ถูกมองว่าเป็นส่วนที่สัมผัสความร้อนมากที่สุด และสารเคลือบกันความร้อนนี้ส่วนใหญ่เป็นสารที่มีสีขาวและสารสีเงินที่ทาลงบนพื้นผิววัสดุ ในการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเหล่านั้น ที่มีความสามาถในการกันความร้อนเข้าสู่อาคารและทำให้อุณหภูมิภายในลดลง และช่วยเหลือในการเลือกใช้สารให้มีความเหมาะสมสำหรับเปลือกอาคาร ซึ่งการทดลองสารทาเคลือบทั้งหมด14 ชนิดซึ่งมีความแตกต่างกันในเรื่องของสีของสารเคลือบสรุปผลได้ว่าสารเคลือบสีขาวมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสารเคลือบสีเงิน

หลังจากนั้นเมื่อมีการพัฒนาวิทยาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาคาร ได้มีการคิดค้นวิธีที่จะช่วยลดปัญหาความร้อนเข้าสู่อาคารที่จะผ่านเข้ามาทางกระจกคือ แผ่นฟิล์ม ที่มีลักษณะบาง โปร่งใส สามารถเลือกสีความสวยงามได้ และมีคุณสมบัติของสารในการกันความร้อน แสงสว่างสามารถเข้าถึงพื้นที่ใช้งานภายในได้ปกติ ในการศึกษา การทำความเข้าใจและจัดทำเกณฑ์ในการเลือกหน้าต่างกระจกธรรมดาและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มชนิดต่างๆ สำหรับใช้เป็นกรอบอาคาร การเลือกนี้จะพิจารณาโดยเน้นในเรื่องสภาวะน่าสบาย (Thermal comfort) และการส่งผ่านพลังงานความร้อนที่มีต่อผู้อยู่อาศัย เพิ่มเติมจากการเลือกหน้าต่างกระจก และหน้าต่างกระจกติดฟิล์มโดยทั่วไป ซึ่งมักจะพิจารณาในเรื่องของความสวยงามเป็นหลัก ความเข้าใจในเรื่องของสภาวะน่าสบาย และการส่งผ่านพลังงานความร้อนที่มีต่อผู้อยู่อาศัย จะทำให้การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในการงานศึกษาวิจัยของ Chaiyapinunt S., 2005 ทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกใสและกระจกติดฟิล์ม ที่มีผลต่อความน่า

สบาย โดยขั้นตอนการทำการศึกษาวิจัยจะต้องมีการทดลองด้วยโปรแกรมคำนวณเปรียบเทียบผลของกระจกแต่ละชนิดกับแผ่นฟิล์ม และมีการทำการสำรวจค่าดัชนีความสบาย Predicted percentage of dissatisfied (PPD) ของผู้ใช้ด้วย ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการใช้ต่อไป และ อำพล พิชัยเชิด 2006 ทำการศึกษากระจกธรรมดาเปรียบเทียบกับกระจกที่มีการติดแผ่นฟิล์ม 5 ชนิด ซึ่งในการทดลองต้องมีการคำนวณค่าและทำการเปรียบเทียบ ซึ่งผลสรุปคือสีของฟิล์มทั้ง 5 ชนิดที่มีความแตกต่างกันนั้น สีที่เข้มสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าสีที่อ่อนเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ต่อไป

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในลักษณะเปรียบเทียบการใช้แผ่นฟิล์มของ Miguel H., 2012 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซึมความร้อนของกระจก โดยใช้กระจกแบบธรรมดา ซึ่งผลสรุปได้ว่ากระจกที่มีการเคลือบผิวด้วยฟิล์มกันความร้อนสามารถดูดซึมความร้อนได้ดีกว่า ทำให้อุณหภูมิภายในน้อยกว่าด้วยโดยกระจกที่ไม่ได้เคลือบผิวดูดซึมที่ 1.2% แต่กระจกที่เคลือบผิวสามารถดูดซึมได้ 3.5% แต่ในความเป็นจริงผู้ทำการวิจัยได้พบว่ามีการผิดพลาดอยู่ประมาณ 2 เท่าตัว และในส่วนงานวิจัยของ Noh-Pat F., 2011 เป็นการศึกษากระจกธรรมดาที่ไม่มีการติดแผ่นฟิล์มและกระจกที่มีการเคลือบติดแผ่นฟิล์มกันความร้อนภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้กับกระจกสองชั้น และศึกษาในเรื่องของการป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งผลสรุปการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่า กระจกสองชั้น ที่มีการใช้แผ่นฟิล์มกันความร้อนสามารถลดปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาสู่พื้นที่ภายในได้ 55%

สารเคลือบกันความร้อนที่เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือสารเคลือบกันความร้อนที่ใช้กับหลังคา Synnefa A., 2007 เพื่อสะท้อนรังสีความร้อนไม่ให้ความร้อนนั้นแผ่เข้าสู่ภายในอาคาร ด้วยวิธีการพ่นสารเคลือบลงบนวัสดุมุงหลังคา หรือบริเวณพื้นชั้นดาดฟ้าเพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน มีการคิดค้นทางวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีค่าความกันความร้อนอยู่อย่างต่อเนื่องมาจนปัจจุบัน มีการทดลองด้วยสารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ซิลิก้าไดออกไซด์ (SiO_2) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นต้น มีงานศึกษาวิจัยมากมาย ได้มีการทดลองศึกษากับอาคารจริง ในอาคารหลายประเภท ได้แก่ บ้านพักอาศัย อาคารสำนักงาน ร้านค้าห้างสรรพสินค้า และโรงงาน ซึ่งการศึกษาเปรียบเทียบอาคารแต่ละประเภทที่มีการใช้สารเคลือบ

กันความร้อนและไม่ใช้สารเคลือบกันความร้อน และยังระบุในตำแหน่งของเมืองสำคัญๆทั่วโลกที่มีปัจจัยของสภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งผลที่ออกมาคือการเลือกใช้สารเคลือบกันความร้อนจะช่วยให้พื้นที่ภายในมีอุณหภูมิที่ลดลง และลดการทำงานของระบบปรับอากาศ ช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายของการใช้ไฟฟ้าได้

ในช่วงของการพัฒนาทางวิทยาการที่ไม่หยุดนิ่ง มีอาคารสูงเกิดขึ้นมากมาย มีการคิดค้นสารเคลือบกันความร้อนเพื่อรองรับการใช้งานให้เข้ากับทุกองค์อาคาร ทั้งหลังคา ผนังกำแพงกระจก ซึ่งเป็นผลให้ต้องมีการนำเสนอแนวคิดเพื่อให้ผู้ใช้อาคารอยู่ในสภาพวะน่าสบายและมีความยั่งยืนด้วยการใช้สารเคลือบอาคารจะมีประโยชน์ต่ออาคารหลังเก่าที่มีปัญหาในการอยู่อาศัยของผู้ใช้ ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิพื้นผิว ช่วยให้อาคารประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้น และสภาพแวดล้อมภายในอาคารดีขึ้นคือมีอุณหภูมิที่ลดลงแต่แสงสว่างมากขึ้น Hui S., 2011

นอกจากนี้ในด้านของแนวคิดการออกแบบอาคารให้มีความทันสมัย และสิ่งหนึ่งที่นำมาใช้ในการออกแบบนั้นคือกระจก ไม่ว่าจะเป็นบ้านพักอาศัย หรืออาคารสำนักงานในปัจจุบันต่างมีการออกแบบโดยใช้กระจกเป็นวัสดุหลัก เพื่อให้ได้มุมมองที่สวยงาม แต่ผลที่ตามมาและเป็นปัญหาอย่างมากคือ การดูแลรักษา และการป้องกันความร้อน ในแง่ของการดูแลรักษาคือเมื่อต้องทำความสะอาดกระจกที่มีความสูงมากๆของอาคารสูงจะทำเช่นไร ทำให้เกิดการคิดค้นสารเคลือบกระจกตัวใหม่ขึ้นที่สามารถพ่นลงบนกระจกแล้วทำให้กระจกนั้นๆ สามารถทำความสะอาดตนเองได้ (Self-cleaning) Alessandro C., 2010 กล่าวคือฝุ่นหรือคราบสิ่งสกปรกจะไม่เกาะบนกระจกที่ผ่านการเคลือบสารนี้ แต่ในแง่ของการกันความร้อนยังคงต้องเป็นการเลือกกระจกที่มีคุณสมบัติกันความร้อนอย่างกระจก Low-e หรือการเลือกติดฟิล์มดังได้กล่าวข้างต้น

ต่อมาในปัจจุบันนี้ได้มีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ขึ้นมา ซึ่งกำลังเริ่มมีบทบาทในการช่วยลดความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางกระจก ซึ่งเป็นการพัฒนาเพื่อมาแทนที่ของ แผ่นฟิล์ม นั้นคือ การใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน ด้วยวิธีการที่แตกต่างไปเช่น การพ่น Giovanni B., 2005 สารลักษณะคล้ายกับสารทำความสะอาดตนเองของกระจก โดยสารจะเข้าไปเกาะผสานกับเนื้อกระจก แต่สารเคลือบนี้สามารถสะท้อนความร้อนได้ หรือจะเป็นการทาสารเคลือบคล้ายการทาสีของบ้านลงบนพื้นผิว ด้วยเทคโนโลยีที่เรียกว่า sol-gel Nagamedianova Z., 2011เป็นสารที่มีความบาง

สามารถทาแล้วผสานเป็นเนื้อเดียวกับกระจก นอกจากจะสามารถกันความร้อนได้แล้ว ยังมีประโยชน์ คือ ความสะดวกรวดเร็ว และช่วยลดปริมาณขยะจากการใช้ฟิล์มได้ด้วย ซึ่งมีความเหมาะสมกับอาคารที่ไม่ต้องการเปลี่ยนวัสดุกระจกของอาคารทั้งหลัง หรือความยากลำบากในการถอดเปลี่ยนกระจกชนิดใหม่ แต่เลือกจัดการกับส่วนที่มีปัญหาความร้อนในตำแหน่งนั้นๆได้ ซึ่งในส่วนของการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่มีพัฒนาตัวสารให้มีคุณสมบัติในการกันความร้อนให้มีประสิทธิภาพของสารเมื่อเคลือบลงบนกระจกมากยิ่งขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แนวทางการวิจัย

งานวิจัยศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อน ของกระจกต้นแบบ (base case) 5 ชนิด โดยศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างกระจกต้นแบบ กระจกทติดฟิล์ม และกระจกทาสารเคลือบกันความร้อน โดยแบ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกทำการทดลองด้วยกล่องทดลองเบื้องต้น เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระจกด้วยการวัดและเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากกล่องทดลองของกระจกทุกชนิด และส่วนที่ 2 ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.1 โดยนำข้อมูลรูปแบบอาคารอ้างอิง (Reference building) ที่รวบรวมได้จากการทบทวนวรรณกรรมมาจำลองผล พร้อมกับนำข้อมูลจากการทดลองส่วนแรกมาใช้ในการจำลองผลในส่วนนี้ ทำการเก็บบันทึกข้อมูลผลการจำลองทั้งหมด และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระจกกับอาคารอ้างอิงจากการจำลอง จากสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอยตลอดทั้งปี (kWh/m^2.year) และวิเคราะห์ผลเชิงเทคนิค และเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อสรุปผลและเสนอแนะแนวทางของงานวิจัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ในส่วนแรก คือ กล่องทดลองประสิทธิภาพกระจก โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ HOBO U12 Temperature/Relative Humidity/2 External Channel Data Logger U12-013 พร้อมสายเซนเซอร์ เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิ ในส่วนที่สอง ใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.0 ในการคำนวณและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร ของแบบจำลองอาคารเบื้องต้น ได้แก่ บ้านพักอาศัย และอาคารสำนักงาน

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับกล่องทดลอง และระเบียบวิธีการทดลองเพื่อใช้ในการทดลองเบื้องต้น ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนของกระจก ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อความร้อนภายในอาคาร เพื่อกำหนดตัวแปรของงานวิจัย รวมถึงการสืบค้นบทความที่เกี่ยวข้องผ่านอินเทอร์เน็ต

3.4 การกำหนดตัวแปรของงานวิจัย

ตัวแปรต้น

- สารเคลือบกระจกกันความร้อน
- แผ่นฟิล์ม
- กระจก

ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดจากกล่องทดลอง
- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ($kWh/m^2.yr$)

ตัวแปรควบคุม

- รูปแบบของกล่องทดลอง ช่วงระยะเวลาในการทดลอง
- รูปแบบของอาคารอ้างอิง คือ อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังอาคาทั้งหมด (WWR)

3.5 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ศึกษารวบรวมข้อมูล ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ งานวิจัยที่ใช้เครื่องมือในการศึกษาเป็น กล่องทดลองเพื่อจำลองสถานการณ์ และทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุ เช่น ผนัง กระจก สารเคลือบวัสดุ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำกล่องทดลองเบื้องต้นของงานวิจัย ศึกษาทฤษฎีด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารที่เป็นกระจก และปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในอาคารและการประหยัดพลังงาน เพื่อศึกษาและ

กำหนดตัวแปรที่ผลต่องานวิจัย และศึกษางานวิจัยที่มีการทดสอบประสิทธิภาพของกระจกกับอาคารประเภทต่างๆเพื่อกำหนดรูปแบบอาคารในงานวิจัย

3.5.2 ทำการกำหนดตัวแปรของงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ ศึกษาประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกความร้อนกับกระจกหลายชนิด โดยศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก เป็นสำคัญ จากการกำหนดตัวแปรข้างต้น

กระจกเป็นตัวแปรต้นที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 0.30x0.30 ม. ซึ่งเป็นขนาดของสินค้าตัวอย่าง ทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่

- กระจกใส หนา 3mm
- กระจกเขียว หนา 6mm
- กระจกสะท้อนความร้อน หนา 6mm
- กระจกอินซูเลทใส
- กระจกอินซูเลท Low-E

โดยกระจกทั้ง 5 ชนิด จะทำการทดลองเป็น 3 กรณีดังนี้

- แบบที่ 1 คือ กระจกต้นแบบ ที่ไม่ได้ปรับปรุง (no coat)
- แบบที่ 2 คือ กระจกติดฟิล์ม (film)
- แบบที่ 3 คือ กระจกทาสารเคลือบกันความร้อน (coat)

สรุปจำนวนของกระจกที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 15 แผ่น โดยแต่ละกรณีจะใช้เวลาในการบันทึกผลอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที บันทึกผลทุก 2 นาที และทดลองภายในห้องปิด

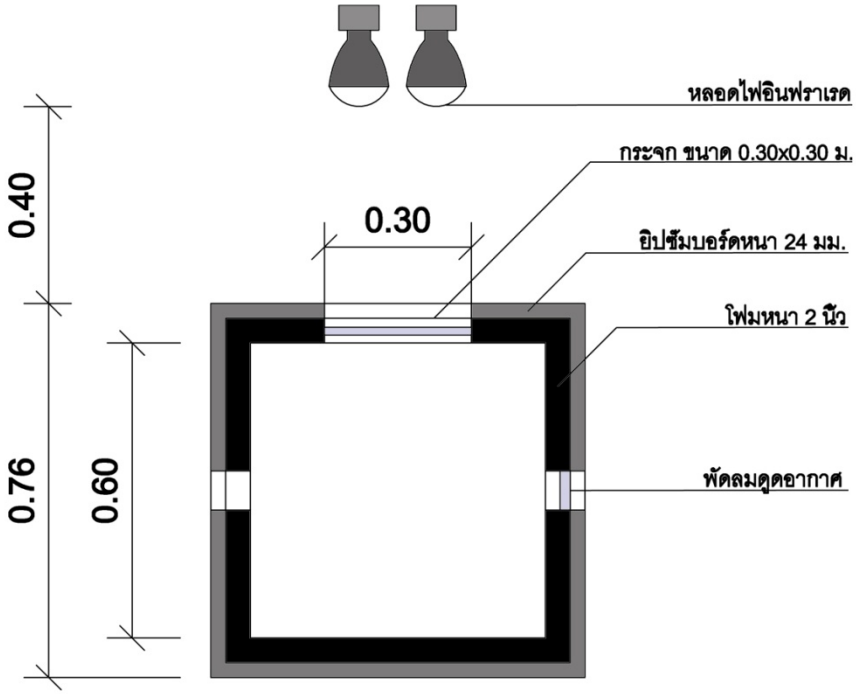
3.5.3 ขั้นตอนทดสอบประสิทธิภาพกระจกด้วยกล่องทดลอง

ขั้นตอนเตรียมกระจก โดยนำกระจกทั้ง 5 ชนิดติดฟิล์มที่ผิวของกระจกที่กำหนดให้อยู่ด้านในของกล่องทดลอง และนำกระจกอีกชุดหนึ่งทาสารเคลือบกระจกกันความร้อน โดยทาสารเคลือบที่ผิวของกระจกด้านที่อยู่ภายในกล่องเช่นกัน ซึ่งภายหลังจากทาสารเคลือบกระจกเสร็จควรรอเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงสารเคลือบจะเริ่มจับตัวกับกระจกในระดับโมเลกุล

ผสานเป็นเนื้อเดียวกับกระจก ในช่วงเวลานี้ไม่ควรสัมผัสที่กระจก และกระจกที่ทาสารเคลือบจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง สารเคลือบกันความร้อนและฟิล์มมีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี

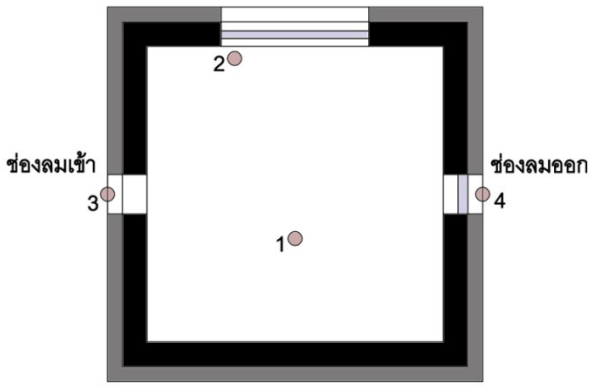
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทาสารเคลือบกระจกกันความร้อนลงบนผิวกระจกทั้ง 5 ชนิด

กล่องทดลองมีขนาดภายใน 0.60x0.60x0.60 ม. ทำด้วยแผ่นโฟมหนา 2 นิ้วเพื่อเป็นฉนวน โครงภายนอกทำด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ดสองแผ่นประกบหนา 24 มม. ผนังกล่องด้านหน้าเจาะช่องขนาด 0.30x0.30 ม. สำหรับติดตั้งและปรับเปลี่ยนกระจกในการทดลอง และด้านหนึ่งของผนังกล่องเจาะเป็นช่องลมเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว และผนังฝั่งตรงข้ามเจาะเป็นช่องลมออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว พร้อมติดพัดลมดูดอากาศขนาดหน้าตัด 3 นิ้ว ที่มีค่าอัตราระบายอากาศ (Cubic foot per minute-CFM) เท่ากับ 20.89 ft^3/min โดยติดตั้งหลอดไฟอินฟราเรด (Infrared) 500w จำนวน 2 ดวง ให้หลอดไฟส่องไปตั้งฉากกับกระจกทางแนวราบห่างจากกล่องประมาณ 0.40 ม. (ดูภาพที่ 3.2 ประกอบ)



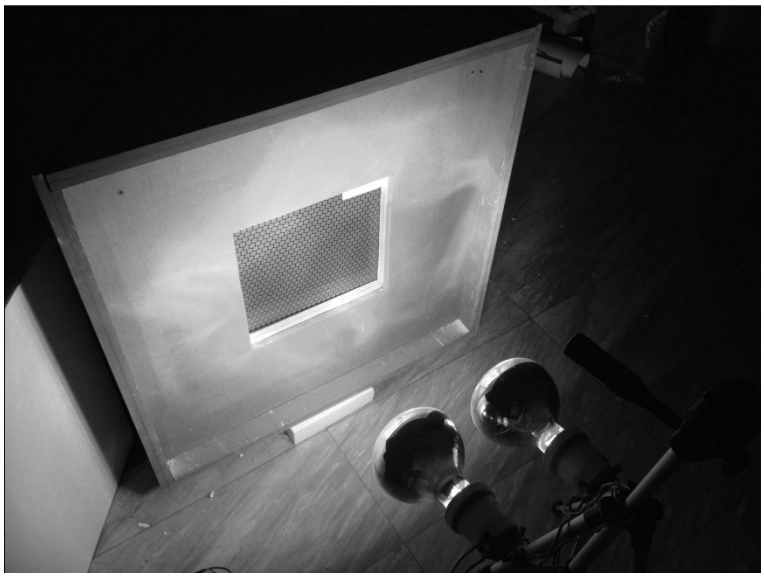
ภาพที่ 3.2 รูปผังพื้นแสดงรายละเอียดของกล่องทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ คือ HOBO U12 Temperature/Relative Humidity/2 External Channel Data Logger U12-013 เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิ โดยตำแหน่งที่ทำการเก็บบันทึกอุณหภูมิมีทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ได้แก่ (1) ภายในกึ่งกลางกล่อง (2) ผิวกระจกภายในกล่อง (3) ช่องลมเข้า (in let) และ (4) ช่องลมออก (out let) (ดูภาพที่ 3.3 ประกอบ)



ภาพที่ 3.1 รูปผังพื้นแสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากเครื่อง HOBO เป็นอุณหภูมิ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส และเวลา มีหน่วยเป็น โดยแสดงค่าอุณหภูมิ ณ เวลานั้นๆ เป็นตาราง และแผนภูมิเส้น เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระจกแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.4 ภาพขณะเปิดหลอดไฟทำการทดลอง

3.5.4 **คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก** (Shading coefficient-SC)

วิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่เก็บได้ ประเมินประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อนเปรียบเทียบข้อมูลชุดการทดลอง และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก (SC) จาก ASHRAE เพื่อนำไปแทนค่าในขั้นตอนการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual DOE 4.1 เพื่อสร้างกระจกติดฟิล์มและกระจกทาสารเคลือบกันความร้อนที่ไม่มีอยู่ในโปรแกรม

จากสูตร Q = 1.08 x CFM x deltaT

โดยที่ Q คือ ค่าปริมาณความร้อน

CFM คือ ค่าคงที่ของพัดลมที่ติดอยู่ที่กล่องทดลอง ในที่นี้ มีค่าเท่ากับ 20.89 ft^3/min

Δ T คือ ค่าเปรียบต่างของ อุณหภูมิ ณ จุดลมออก และอุณหภูมิ ณ จุดลมเข้า (องศาฟาเรนไฮต์)

และนำค่า Q ที่ได้จากสูตรดังกล่าวข้างตน มาหาค่า SC อีกครั้ง

จากสูตร; $Q_{\text{ที่วัดจากกล่อง(glass)}} = Q_{\text{ที่เข้าไปผ่านกระจก}}$

$$1.08 \times CFM \times \Delta T = Q_{radiation} + Q_{conduction}$$

$$1.08 \times CFM \times \Delta T = (SHGC \times I_0) + (U \times \Delta T)$$

$$(SHGC \times I_0)_{glass} = (1.08 \times CFM \times \Delta T)_{glass} - (U \times \Delta T)_{glass} \quad (1)$$

$$(SHGC \times I_0)_{glass3mm} = (1.08 \times CFM \times \Delta T)_{glass3mm} - (U \times \Delta T)_{glass3mm} \quad (2)$$

$$SC = \frac{Q\ radiation}{Q\ radiation\ _{(glass3mm)}}$$

$$SC = \frac{(SHGC\ \times I_0)_{glass}}{(SHGC\ \times I_0)_{glass3mm}} \quad (3)$$

แทนค่า (1),(2) ใน (3) ; $SC = \dfrac{(1.08\ \times CFM\ \times \Delta T)_{glass} - (U \times \Delta T)_{glass}}{(1.08\ \times CFM\ \times \Delta T)_{glass3mm} - (U \times \Delta T)_{glass3mm}}$

$$SC = \frac{Q_{glass} - (U \times \Delta T)_{glass}}{Q_{glass3mm} - (U \times \Delta T)_{glass3mm}}$$

โดยที่ SC คือ สัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก

Q_{glass} คือ ค่าปริมาณความร้อนที่ได้จากกระจกที่ทำการทดลอง

$Q_{glass3mm}$ คือ ค่าปริมาณความร้อนที่ได้จากกระจกใสหนา 3 มม.

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก

ΔT คือคือค่าเปรียบต่างของ อุณหภูมิ ณ จุดลมออก และจุดลมเข้า (องศาฟาเรนไฮต์)

3.5.5 ทำการจำลองอาคารอ้างอิง (Reference Building) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual DOE 4.1และเก็บข้อมูล

งานวิจัยในขั้นตอนนี้นำรูปแบบอาคารอ้างอิงมาจากการทบทวนวรรณกรรม เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพของกระจกกับอาคารในการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร โดยอาคารอ้างอิงที่นำมาทำการศึกษา ได้แก่ บ้านพักอาศัยสองชั้น และอาคารสำนักงาน โดยนำผลที่ได้จากการคำนวณค่า SC เพื่อแทนค่าตัวแปรในการสร้างวัสดุใหม่ เนื่องจากในโปรแกรม Visual DOE4.1 ไม่มีกระจกติดฟิล์มและกระจกทาสารเคลือบกันความร้อน

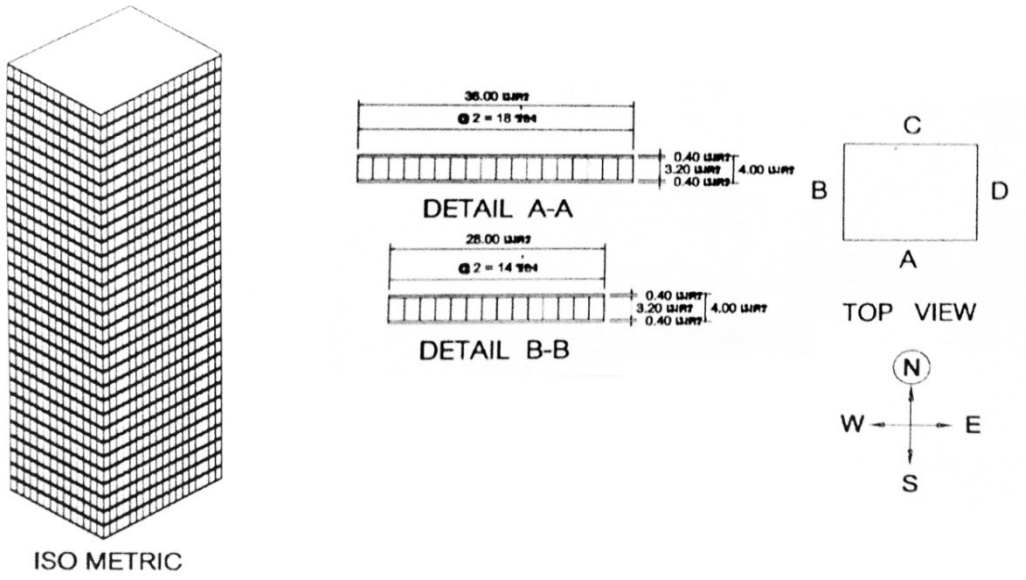
บ้านพักอาศัยสองชั้น

อาคารอ้างอิง (Reference Building) เป็นอาคารประเภทบ้านพักอาศัยสองชั้น โดยนำแบบอาคารจากงานวิจัย การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2549)

ภาพที่ 3.5 รูปแบบอาคารอ้างอิง (Reference Building) ของบ้านพักอาศัย

อาคารสำนักงาน

อาคารอ้างอิง (Reference Building) เป็นอาคารประเภทอาคารสำนักงาน ขนาด 30,000 ตารางเมตร สูง 30 ชั้น โดยแบบอาคารสำนักงานแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะตามสัดส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคาร (window to wall ratio – WWR) ได้แก่ WWR80, WWR60, WWR40 และWWR20 (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552)



ภาพที่ 3.6 รูปแบบอาคารอ้างอิง (Reference Building) ของอาคารสำนักงาน แตกต่างที่ขนาดของพื้นที่หน้าต่าง

3.5.6 ประเมินผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองอาคาร เปรียบเทียบการใช้กระจกทางเลือกที่มีการปรับปรุงที่ติดฟิล์ม และทาสารเคลือบกันความร้อน กับกระจกต้นแบบ(Base case) ทั้ง 5 ชนิดมาวิเคราะห์เชิงเทคนิคในด้านอุณหภูมิ ค่าSC และการใช้พลังงานทั้งปีต่อตารางเมตร (kWh/m^2.year) และวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ด้วยวิธีการคิดระยะเวลาคืนทุน (payback period - PB) อัตราการตอบแทนภายใน (Internal rate of return - IRR) และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี (Life-cycle cost analysis - LCC)

3.5.7 **สรุปผลและข้อเสนอแนะ**

สรุปผลการจำลองทั้งหมด เป็นการรายงานภาพรวมของการวิเคราะห์เชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ และเสนอแนวทางในการกำหนดการใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนกับชนิดกระจกและประเภทอาคารที่มีผลการใช้พลังงานภายในอาคาร

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิธีการรวบรวมข้อมูล

โดยแบ่งข้อมูลของผลการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ (1) ข้อมูลจากกล่องทดลอง และ (2) ข้อมูลจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

4.1.1 รวบรวมข้อมูลจากกล่องทดลอง

ทำการแยกกลุ่มข้อมูลตามประเภทของกระจก ทั้งหมด 5กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 กระจกใส 3 มม.

กลุ่มที่ 2 กระจกเขียว 6 มม.

กลุ่มที่ 3 กระจกสะท้อนความร้อน 6 มม.

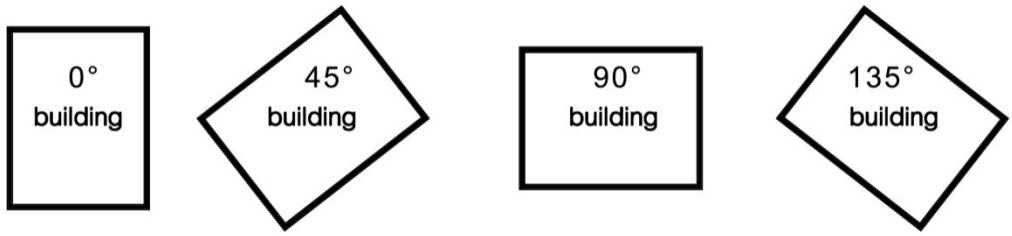
กลุ่มที่ 4 กระจกอินซูเลท

กลุ่มที่ 5 กระจกอินซูเลท Low-E

โดยที่กลุ่มมีกระจก 3 แบบ คือ กระจกต้นแบบ (No coat) กระจกติดฟิล์ม (Film) และกระจกทาสารเคลือบกันความร้อน (Coat) ทำการศึกษาและวิเคราะห์เชิงเทคนิคด้านประสิทธิภาพของกระจก ได้แก่ อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่วัดจากกล่องทดลอง ผลต่างของอุณหภูมิช่องลมเข้าและช่องลมออก (ΔT) และค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก (SC)

4.1.2 รวบรวมข้อมูลจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

ทำการแยกกลุ่มข้อมูลตามรูปแบบอาคารอ้างอิง คือ บ้านพักอาศัย และอาคารสำนักงาน ที่มีการใช้กระจกทั้งหมดตามข้อมูลจากกล่องทดลอง โดยเพิ่มเติมตัวแปรของอาคารสำนักงาน จากสัดส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด (WWR) อีก 4 กรณี ได้แก่ WWR80%, WWR60%, WWR40% และWWR20% และทิศทางการวางผังอาคารอีก 4 กรณี ได้แก่ 0°, 45°, 90° และ 135° โดยทำการวิเคราะห์เชิงเทคนิคด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละกรณี (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ทิศทางการวางผังอาคาร

4.2 ผลการศึกษาวิจัยจากกล่องทดลอง และวิเคราะห์ผลเชิงเทคนิคด้านอุณหภูมิ

จากการศึกษาด้วยกล่องทดลองกับกระจกทั้งหมด 15 กรณี ศึกษา โดยผลบันทึกอุณหภูมิจากการทดลองที่ได้นำค่า ณ ช่วงเวลาที่มีค่าอุณหภูมิเริ่มคงที่จากทั้ง 4 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ 1 คือกลางกล่องทดลอง ตำแหน่งที่ 2 คือผิวกระจกด้านใน ตำแหน่งที่ 3 คือช่องลมเข้า และตำแหน่งที่ 4 คือช่องลมออก (ดูภาพที่ 3.3 ประกอบ) ผลการเก็บบันทึกอุณหภูมิปรากฏดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการบันทึกอุณหภูมิของตำแหน่งที่วัดทั้ง 4 ตำแหน่ง

กระจกใส 3 มม.	ตำแหน่งที่ 1 (°C)	ตำแหน่งที่ 2 (°C)	ตำแหน่งที่ 3 (°C)	ตำแหน่งที่ 4 (°C)
No coat	40.45	60.19	27.82	38.48
Film	36.85	47.9	27.08	35.95
Coat	37.39	49.7	27.87	36.65
กระจกเขียว 6 มม.	ตำแหน่งที่ 1 (°C)	ตำแหน่งที่ 2 (°C)	ตำแหน่งที่ 3 (°C)	ตำแหน่งที่ 4 (°C)
No coat	37.39	39.89	27.53	36.12
Film	35.01	37.61	27.28	34.14
Coat	36.66	38.3	27.6	35.83
กระจกสะท้อน 6mm	ตำแหน่งที่ 1 (°C)	ตำแหน่งที่ 2 (°C)	ตำแหน่งที่ 3 (°C)	ตำแหน่งที่ 4 (°C)
No coat	34.21	39.81	28.15	33.4
Film	34.55	40.74	28.02	33.55
Coat	32.06	36.75	27.31	32.04
กระจกอินซูเลท	ตำแหน่งที่ 1 (°C)	ตำแหน่งที่ 2 (°C)	ตำแหน่งที่ 3 (°C)	ตำแหน่งที่ 4 (°C)
No coat	37.03	48.33	27	36.08
Film	36.41	46.58	28.27	36.48
Coat	34.58	37.49	26.68	34.09
กระจกอินซูเลท Low-E	ตำแหน่งที่ 1 (°C)	ตำแหน่งที่ 2 (°C)	ตำแหน่งที่ 3 (°C)	ตำแหน่งที่ 4 (°C)
No coat	34.8	42.01	27.1	32.97
Film	33.53	40.29	27.79	33.51
Coat	32.68	35.08	27.62	31.97

วิเคราะห์เชิงเทคนิคด้านอุณหภูมิ จากผลการศึกษากล่องทดลองกับกระจกทั้ง 15 กรณี จากตำแหน่งที่ได้บันทึกอุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่ง สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อบอกถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนของกระจกแต่ละชนิดที่มีประสิทธิภาพต่างกัน และเมื่อมีการปรับปรุงด้วยการใช้ฟิล์มติดกระจก และสารเคลือบกระจกกันความร้อน ที่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของกล่องทดลอง ค่าอุณหภูมิจากตางรางที่ 4.1 ณ ตำแหน่งที่ 1 (กึ่งกลางกล่อง) และตำแหน่งที่ 2 (ผิวกระจกด้านในกล่อง) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้จากตัวเลขในตาราง โดยกระจกที่มีอุณหภูมิต่ำ หมายถึง กระจกมีประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนที่สูงกว่า ผลจากการทดสอบกระจกทุกกรณี อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ 1 และ 2 สามารถวิเคราะห์ร่วมกันได้ โดยมีแนวโน้มแปรผันตามกัน กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ 1 ของกระจกติดฟิล์มลดลง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ 2 ก็จะลดตามด้วย แต่ ณ ตำแหน่งที่ 3 และ 4 จะต้องนำมาคิดผลต่างจึงนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ได้ ซึ่งจะกล่าวต่อไป

ผลอุณหภูมิจากการทดสอบกระจก ณ ตำแหน่งที่ 1 และ 2 จากตารางที่ 4.1 กรณีของกระจกใสหนา 3 มม. และกระจกเขียวหนา 6 มม. เมื่อกระจกติดแผ่นฟิล์มและกระจกทาสารเคลือบกันความร้อน ลดอุณหภูมิจากกระจกต้นแบบที่ไม่ได้ปรับปรุง แต่กระจกติดฟิล์มประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนสูงกว่ากระจกทาสารเคลือบกันความร้อน เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า โดยเปรียบเทียบผลอุณหภูมิกรณีที่ปรับปรุงกับกระจกใสต้นแบบ ณ ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิลดลงประมาณ 2-3°C และตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิลดลงประมาณ 10-12°C และเปรียบเทียบผลอุณหภูมิกรณีที่ปรับปรุงกับกระจกเขียว ณ ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิลดลงประมาณ 1-2°C และตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิลดลงประมาณ 1-2°C

กรณีของกระจกสะท้อนความร้อน กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E กรณีที่กระจกทาสารเคลือบกันความร้อนมีประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนสูงกว่ากรณีกระจกติดฟิล์มเนื่องจากมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า โดยกระจก 3 ชนิดที่กล่าวเมื่อปรับปรุงด้วยการติดฟิล์มและทาสารเคลือบแล้วสามารถลดอุณหภูมิจากกระจกต้นแบบได้ทั้งหมด ยกเว้นแต่กระจกสะท้อนความร้อนมีผลที่แตกต่างกว่ากรณีอื่นๆคือเมื่อกระจกสะท้อนความร้อนติดฟิล์มมีประสิทธิภาพต่ำลง กล่าวคือ มีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกระจกต้นแบบที่ไม่ได้ปรับปรุง

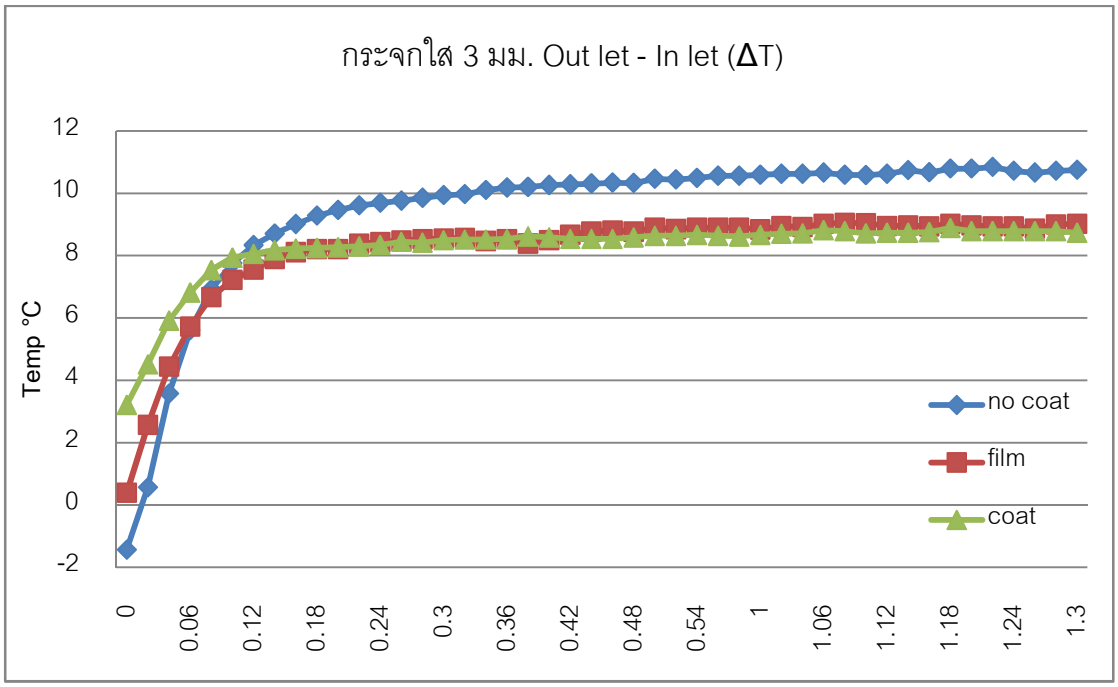
จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ 3 และ 4 จะต้องนำมาคิดเป็นผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) เป็นค่าที่มีความสำคัญเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ และแทนค่าในการจำลองอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยคำนวณจากผลต่างของอุณหภูมิลมเข้า (ตำแหน่งที่3) และอุณหภูมิลมออก (ตำแหน่งที่4) โดยค่า ΔT จะต้องแปลงหน่วยอุณหภูมิเป็น องศาฟาเรนไฮต์ (° F) จากนั้นนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก (Shading coefficient – SC) เพื่อนำไปใช้ในการสร้างกระจกขึ้นใหม่ที่ไม่มีในโปรแกรม

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า ΔT (°C), ΔT (°F) และ Shading coefficient (SC)

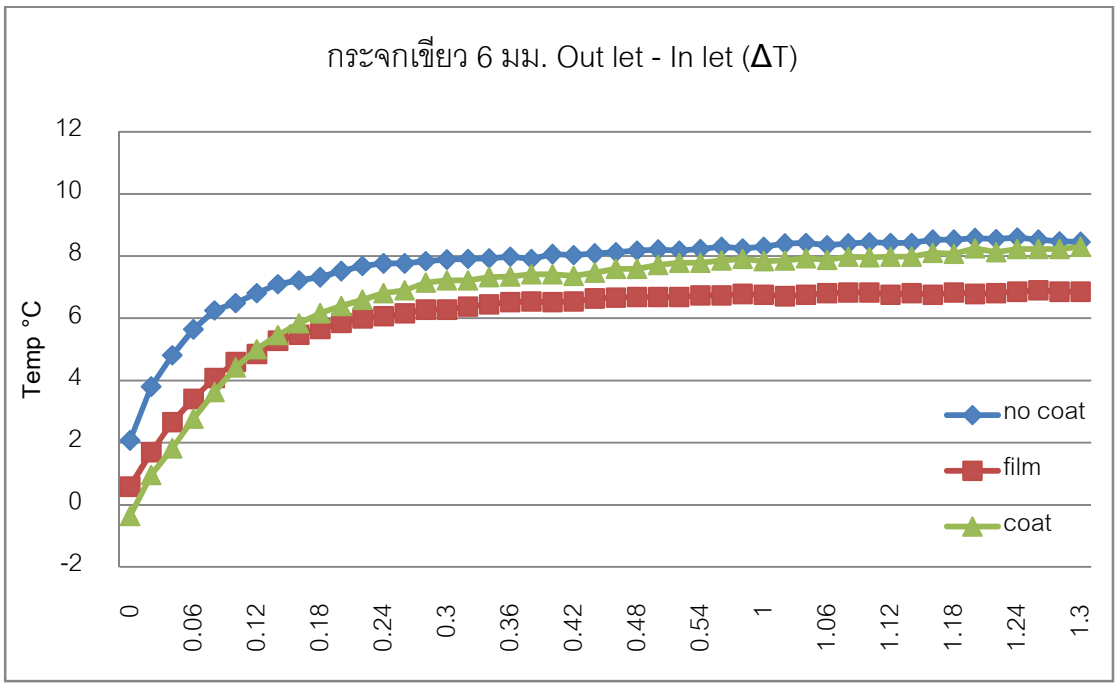
กระจกใส 3 มม.	ΔT(°C)	ΔT(°F)	SC
No coat	10.66	82.08	1
Film	8.87	80.74	0.83
Coat	8.78	82.17	0.82
กระจกเขียว 6 มม.	ΔT(°C)	ΔT(°F)	SC
No coat	8.6	81.55	0.81
Film	6.86	81.11	0.64
Coat	8.23	81.68	0.77
กระจกสะท้อนความร้อน	ΔT(°C)	ΔT(°F)	SC
No coat	5.25	82.67	0.49
Film	5.53	82.44	0.52
Coat	4.73	81.15	0.44
กระจกอินซูเลท	ΔT(°C)	ΔT(°F)	SC
No coat	9.08	80.6	0.85
Film	8.21	82.89	0.77
Coat	7.41	80.02	0.7
กระจกอินซูเลท Low-E	ΔT(°C)	ΔT(°F)	SC
No coat	5.87	80.78	0.55
Film	5.72	82.03	0.54
Coat	4.35	81.71	0.41

จากตารางที่ 4.1 วิเคราะห์อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4 จะต้องวิเคราะห์ที่ค่าผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) เป็นการแสดงถึงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป เมื่อลมเข้าไปจากช่องลมเข้าอุณหภูมิห้องคงที่ที่ประมาณ 26-28°C ผ่านเข้ามาภายในกล่อง ในขณะที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก สะสมอยู่ภายในกล่อง และลมนั้นถูกดูดออกไปทางช่องลมออกมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปในแต่ละกรณี จากตารางที่ 4.2 ΔT ที่มีค่าต่ำหมายถึงกระจกนั้นมีประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนที่สูงกว่า จากข้อมูลกระจกทุกชนิดที่ทาสารเคลือบมีค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่ากระจกติดฟิล์ม เนื่องจากค่า ΔT ที่ต่ำกว่า ยกเว้นกระจกเขียวติดแผ่นฟิล์มมี ΔT ต่ำกว่ากระจกทาสารเคลือบ อุณหภูมิน้อยกว่าประมาณ 1-2°C และกระจกสะท้อนความร้อนติดแผ่นฟิล์มมี ΔT สูงกว่ากระจกที่ไม่ได้เคลือบสาร เนื่องจากสารที่ฉาบบนกระจกสะท้อนความร้อนและแผ่นฟิล์ม ทำให้ความร้อนไม่สามารถแผ่ออกทางผิวกระจก ความร้อนจึงสะสมภายในกล่องมากกว่ากระจกสะท้อนความร้อนต้นแบบ ประเมินเชิงเทคนิคโดยรวมกระจกที่ทาสารเคลือบเปรียบเทียบกับกระจกติดแผ่นฟิล์ม มีประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิที่น้อยกว่ากันประมาณ 1-2 °C

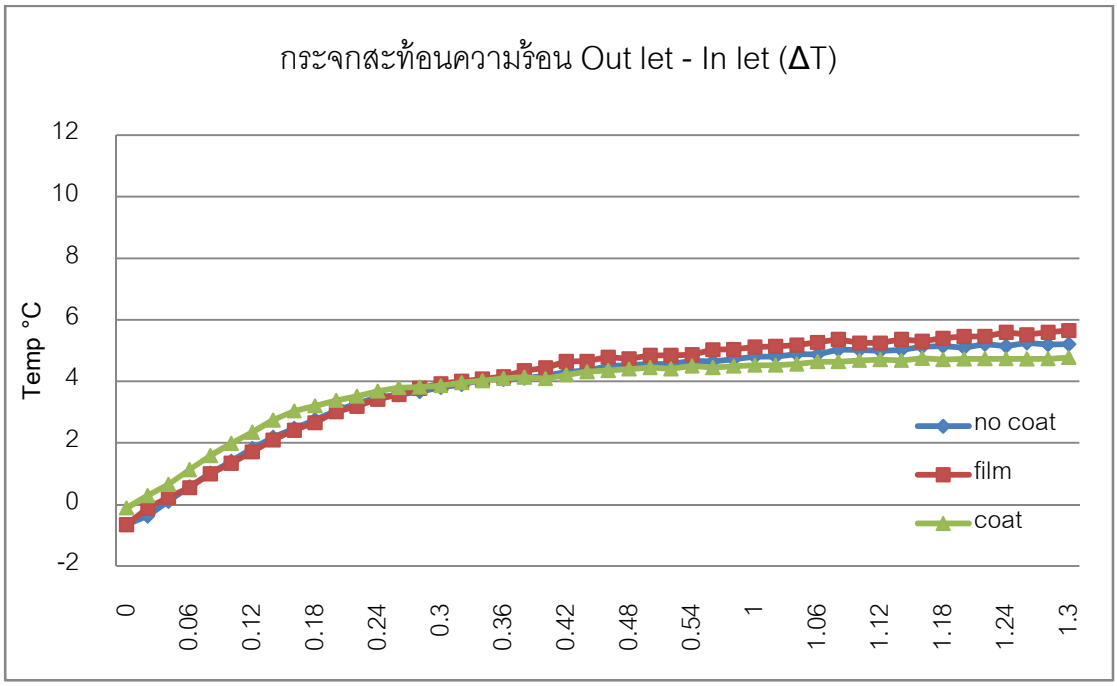
นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก (SC) มีแนวโน้มที่แปรผันตามค่า ΔT ที่มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส โดยกระจกที่มีค่า ΔT ต่ำ ค่า SC ยิ่งต่ำตามไปด้วย แสดงว่ากระจกนั้นมีความสามารถให้การต้านทานความร้อนได้มากขึ้น โดยค่า SC ของกระจกที่ทาสารเคลือบกันความร้อนมีค่าต่ำกว่า ค่า SC ของกระจกต้นแบบและกระจกติดฟิล์ม ยกเว้นกระจกเขียวติดฟิล์มที่ค่า SC ต่ำกว่ากระจกเขียวทาสารเคลือบ แต่กระจกสะท้อนความร้อนกลับมีค่า ΔT ที่สูงกว่ากระจกต้นแบบและค่า SC สูงขึ้นเมื่อติดฟิล์มเนื่องจาก โดยวิเคราะห์ผลการทดลอง ΔT ของกระจกทั้ง 5 ชนิดเปรียบเทียบกระจกเมื่อมีการปรับปรุงช่วยลดอุณหภูมิลงได้ แบ่งตามชนิดของกระจก ดังแผนภูมิที่ 4.1- 4.5



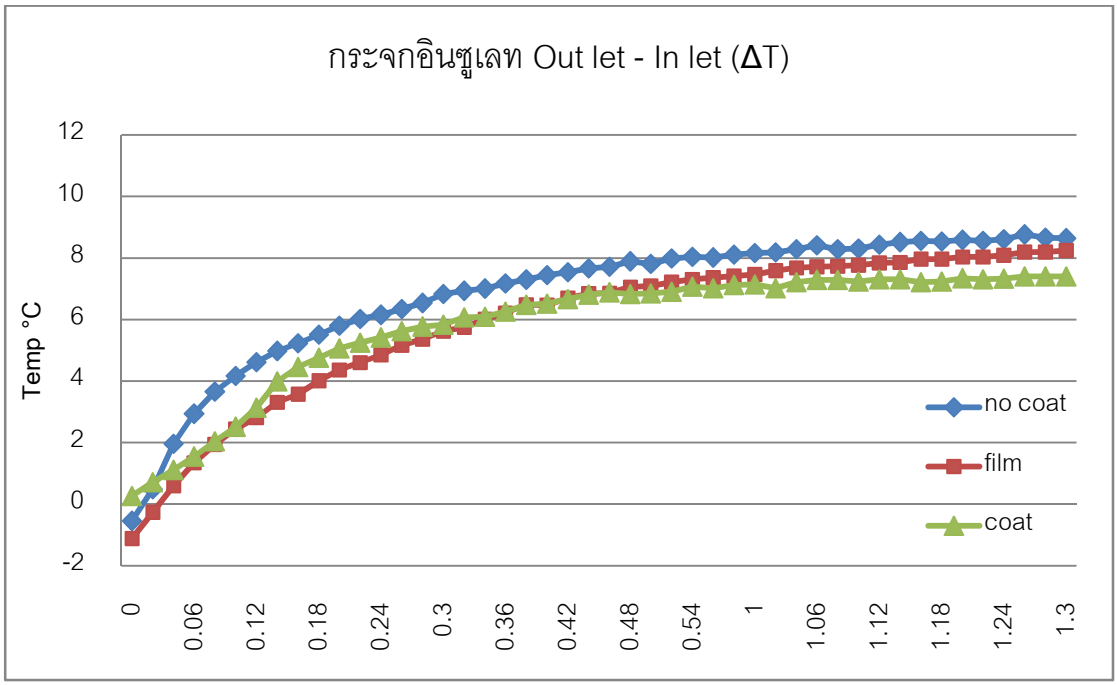
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกใส 3 มม.จากกล่องทดลอง



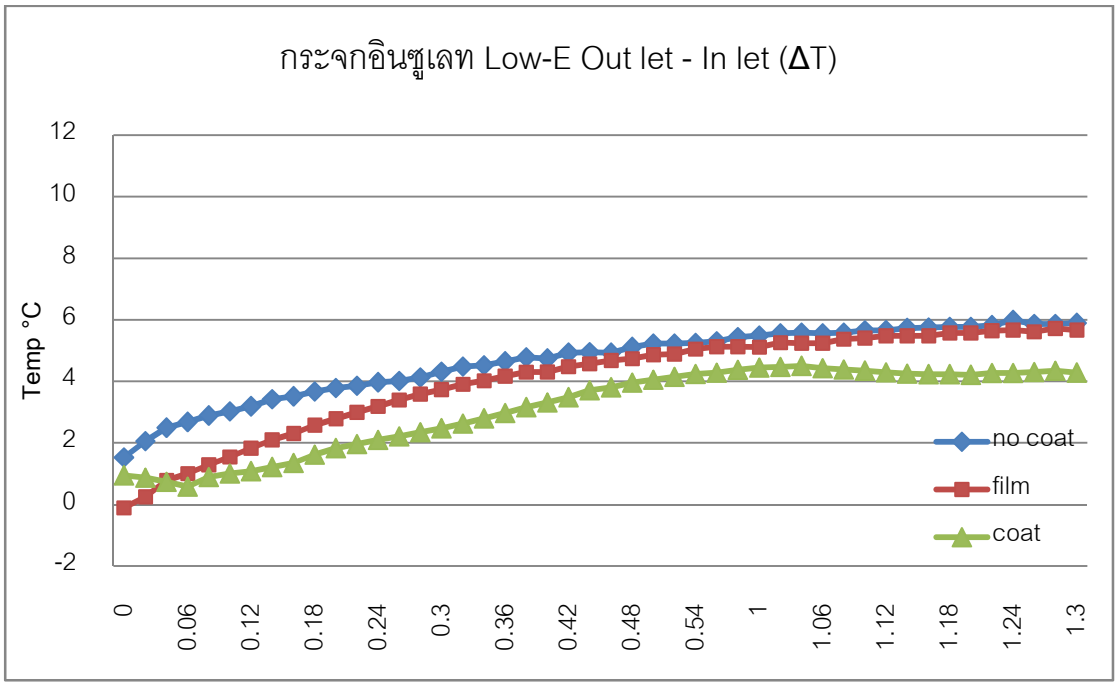
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกเขียว 6 มม.จากกล่องทดลอง



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกสะท้อนความร้อนจากกล่องทดลอง



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกอินซูเลทจากกล่องทดลอง



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบ ΔT ของกระจกอินซูเลท Low-E จากกล่องทดลอง

4.3 ผลการศึกษาวิจัยจากการจำลองอาคาร และวิเคราะห์ผลเชิงเทคนิคด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

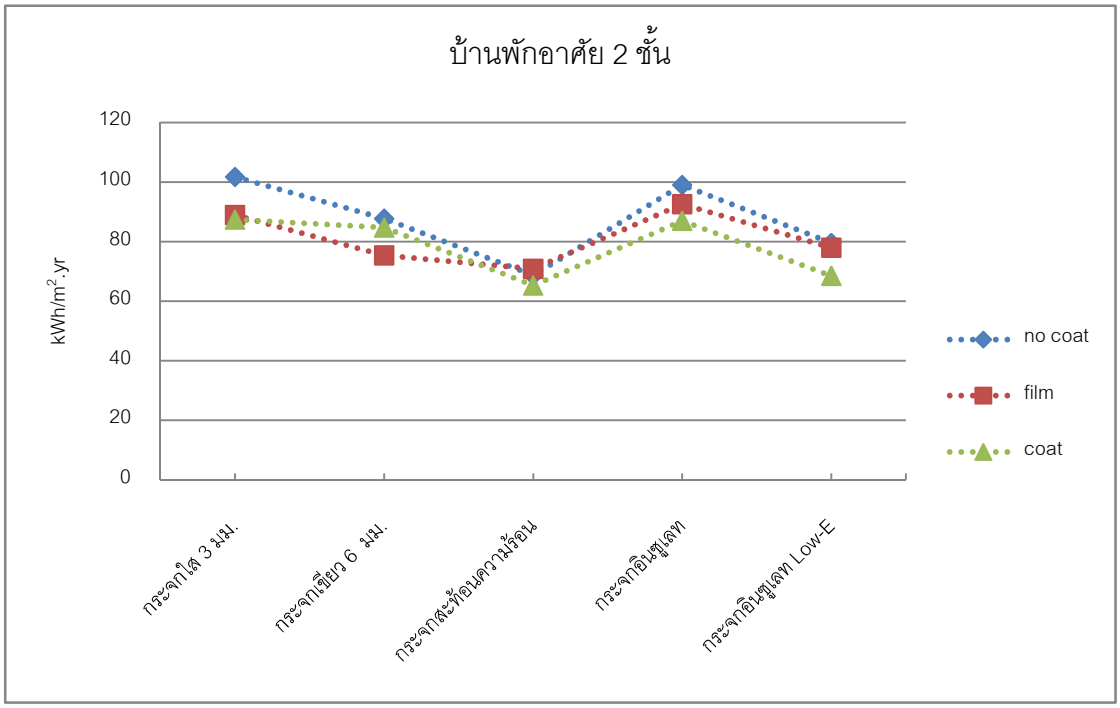
4.3.1 **ผลการจำลองอาคารบ้านพักอาศัยสองชั้น** ที่มีพื้นที่ 217 ตร.ม. แสดงใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารตลอดทั้งปี (Electric End Use) (kWh/m^{2}.yr) โดยเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยจากการหาค่าพลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยที่ปรับเปลี่ยนทิศทางการวางผังอาคารทั้งแปดทิศ ผลการศึกษาปรากฏตามรายละเอียดในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยสองชั้น

กระจกใส 3 มม.	การใช้พลังงาน(kWh/m^2.yr)
no coat	101.70
film	88.93
coat	87.45
กระจกเขียว 6 มม.	การใช้พลังงาน(kWh/m^2.yr)
no coat	87.69
film	75.39
coat	84.74
กระจกสะท้อนความร้อน	การใช้พลังงาน(kWh/m^2.yr)
no coat	68.73
film	70.85
coat	65.28
กระจกอินซูเลท	การใช้พลังงาน(kWh/m^2.yr)
no coat	99.01
film	92.59
coat	87.03
กระจกอินซูเลท Low-E	การใช้พลังงาน(kWh/m^2.yr)
no coat	79.57
film	77.94
coat	68.52

จากตารางที่ 4.3 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของบ้านพักอาศัยที่ใช้กระจกต้นแบบทั้ง 5 ชนิด เมื่อมีการปรับปรุงอาคารด้วยการติดฟิล์ม และทาสารเคลือบกันความร้อนแล้ว ทำให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารลดลง โดยกรณีทางเลือกการปรับปรุงของบ้านที่แย่ที่สุด คือ บ้านที่ใช้กระจกสะท้อนความร้อนติดฟิล์ม เนื่องจากทำให้การใช้ใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น ไม่ช่วยให้อาคารประหยัดพลังงาน ในขณะที่กรณีทางเลือกอื่นๆสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ โดยกรณีทางเลือกการปรับปรุงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการติดฟิล์มและการทาสารเคลือบกันความร้อน บ้านที่ใช้กระจกใส กระจกสะท้อนความร้อน กระจกอินซูเลท กระจกอินซูเลท Low-E การทา

สารเคลือบกันความร้อนมีการใช้พลังงานที่ลดลงมากกว่าการติดฟิล์ม ยกเว้นบ้านที่ใช้กระจกเขียวที่การติดฟิล์มลดการใช้พลังงานได้มากกว่าการทาสารเคลือบกันความร้อน โดยสามารถสรุปการใช้พลังงานรวมของบ้านพักอาศัยเปรียบเทียบกระจกแต่ละกรณี ดังแผนภูมิที่ 4.6



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยกับกระจกหลายชนิดและกระจกที่มีการปรับปรุง

จากลักษณะของแผนภูมิที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้กระจกใส 3 มม. กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E เมื่อปรับปรุงอาคารด้วยสารเคลือบกระจกกันความร้อนแล้วช่วยลดการใช้พลังงานได้สูงกว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้กระจกเขียว และกระจกสะท้อนความร้อน

4.3.2 **ผลการจำลองอาคารสำนักงาน** สูง 30 ชั้น มีพื้นที่ 30,000 ตร.ม. แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารตลอดทั้งปี (Electric End Use) (kWh/m^2.yr) แบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ตารางตามขนาดพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคาร (Window to wall ratio - WWR) ได้แก่ WWR80%, WWR60%, WWR40% และWWR20% และแต่ละกรณีพิจารณาในทิศทางการวางผังของอาคาร 4 ทิศทาง ผลการศึกษาปรากฏตามรายละเอียดใน ตารางที่ 4.4

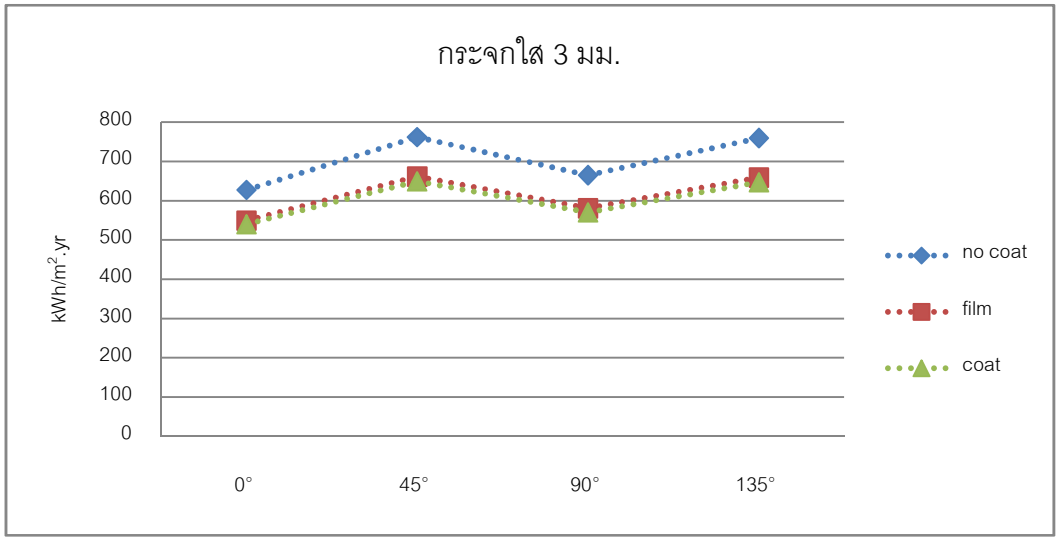
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน

กระจกใส	WWR80%				WWR60%				WWR40%				WWR20%			
	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°
nocoat	627	762	664	759	515	614	543	611	404	470	422	467	287	322	297	320
film	549	661	580	659	456	538	479	536	363	418	379	416	266	296	274	294
coat	540	649	570	647	449	529	472	527	359	412	374	410	263	293	271	291
กระจก	WWR80%				WWR60%				WWR40%				WWR20%			
เขียว	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°
nocoat	540	650	571	648	449	530	472	527	359	412	374	410	263	293	271	291
film	462	549	487	547	390	454	408	452	318	361	330	360	243	266	249	266
coat	522	626	551	624	435	512	457	510	349	400	364	398	258	286	266	285
กระจก	WWR80%				WWR60%				WWR40%				WWR20%			
สะท้อน	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°
nocoat	399	468	418	465	340	390	354	388	282	318	292	316	225	243	230	243
film	413	486	434	484	351	404	366	402	290	327	300	325	228	248	233	247
coat	375	437	392	435	322	368	335	366	270	302	279	301	220	235	223	235
กระจก	WWR80%				WWR60%				WWR40%				WWR20%			
อินซูเลท	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°
nocoat	575	696	609	693	472	559	496	557	371	429	388	426	268	298	277	297
film	537	646	567	643	443	522	466	520	352	404	366	401	258	286	266	285
coat	503	602	531	600	417	490	438	488	334	382	348	380	249	275	256	274
กระจก	WWR80%				WWR60%				WWR40%				WWR20%			
Low-E	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°
nocoat	436	516	459	514	366	424	383	422	298	337	309	335	231	252	236	251
film	426	504	448	501	358	415	375	412	293	331	304	329	229	249	234	248
coat	366	426	383	424	313	358	326	356	263	294	271	292	215	230	219	230

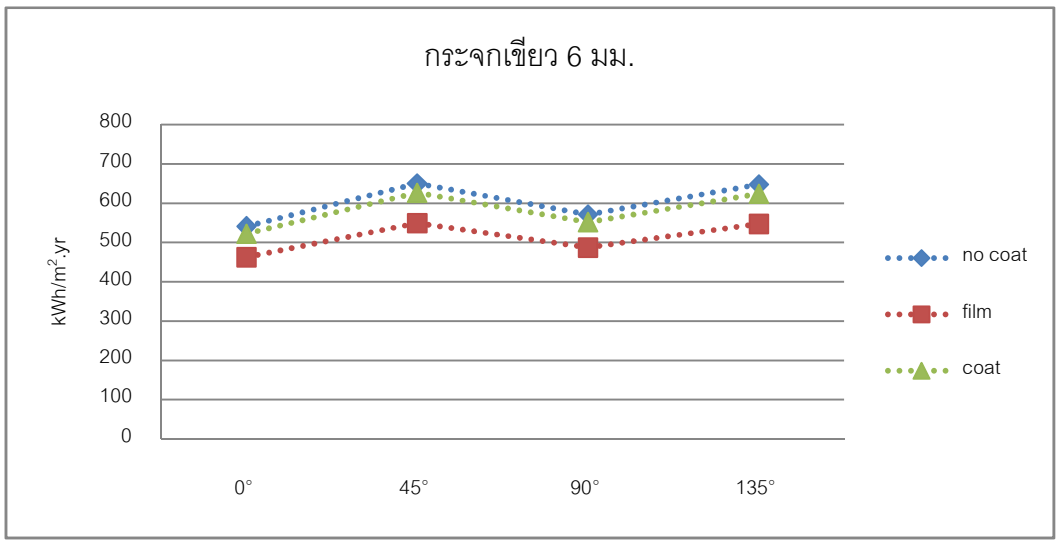
จากตารางที่ 4.4 การใช้พื้นที่ของกระจก (WWR) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระจกเป็นตัวนำความร้อนและรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ตรงเข้ามาสู่อาคาร แต่เมื่อขนาดพื้นที่ของหน้าต่างที่ต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารต่างกัน โดยอาคารสำนักงาน WWR80%, WWR60%, WWR40%และ WWR20% มีค่าการใช้พลังงานลดลงตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ได้ว่า การวางผังอาคารในทิศทางต่างๆมีผลต่อค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารสำนักงานทั้ง 4 กรณีที่มีค่า WWR ต่างกัน โดยอาคารสำนักงานที่วาง

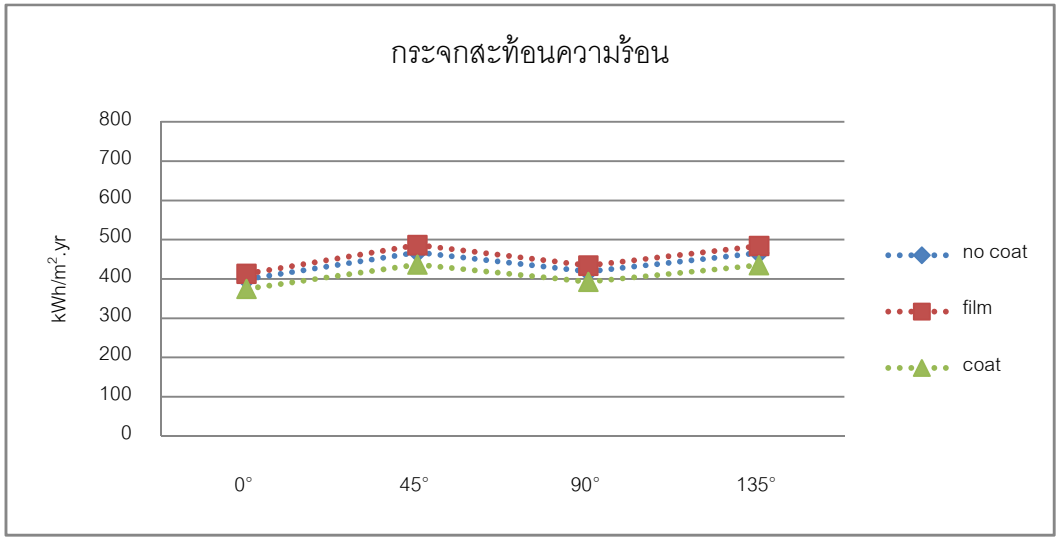
ผังอาคารตามแนวตะวัน หันด้านกว้างอาคารไปทางทิศเหนือ-ใต้ หรือ 0° มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารต่ำสุดซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการวางผังอาคาร รองลงมาเป็นการวางผังอาคารขวางตะวัน หันด้านกว้างอาคารไปทางทิศตะวันออก-ตะวันตก หรือ 90° เนื่องจากพื้นที่กระจกถูกความร้อนแสงอาทิตย์มากกว่า ทำให้ใช้พลังงานมาก และการวางอาคารเอียง 45° และ 135° มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากวางอาคารไม่ได้คำนึงถึงบริบททำให้มีผลต่อการใช้พลังงานที่มากที่สุด โดยสามารถสรุปการวิเคราะห์ปัจจัยความสัมพันธ์ด้านทิศทางการวางผังอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงาน แบ่งตามชนิดกระจก ได้ดังแผนภูมิที่ 4.7-4.11



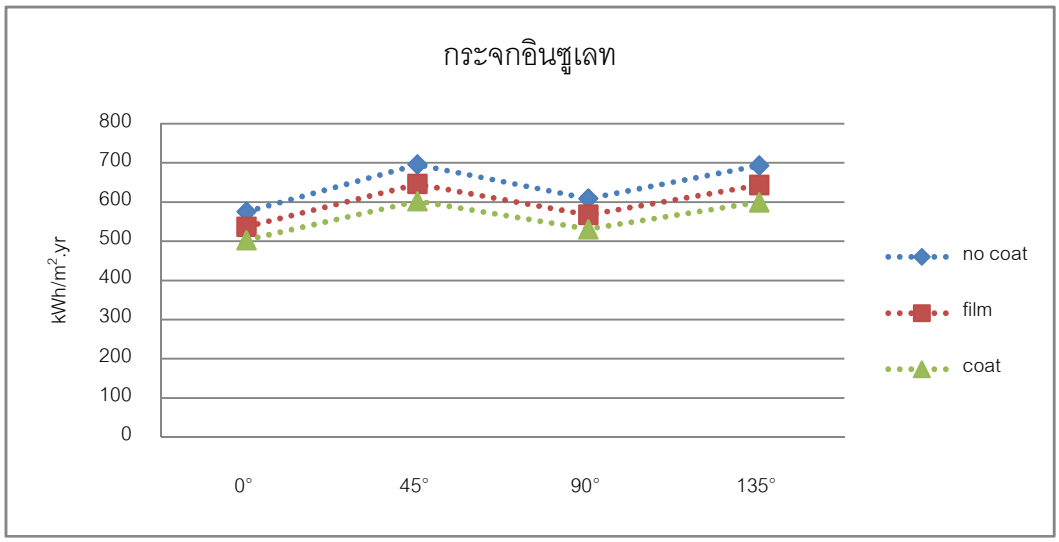
แผนภูมิที่ 4.7 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80%ของกระจกใส



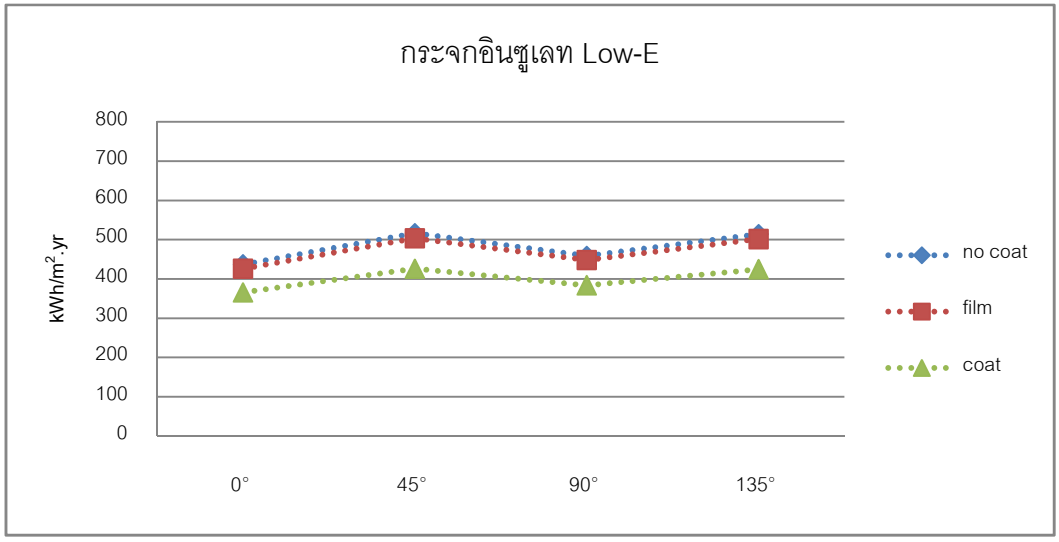
แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80%ของกระจกเขียว



แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80% ของกระจกสะท้อนความร้อน



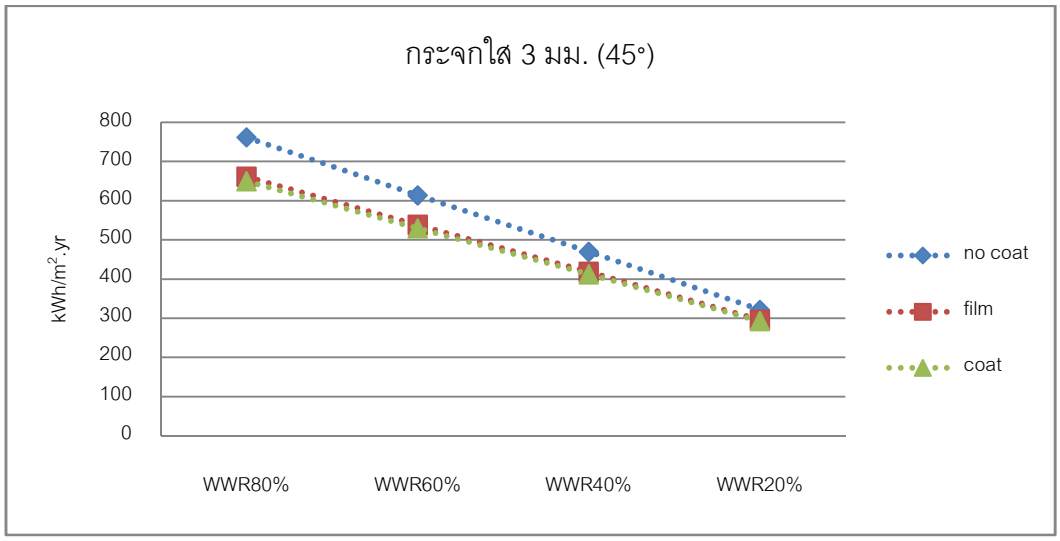
แผนภูมิที่ 4.10 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80% ของกระจกอินซูเลท



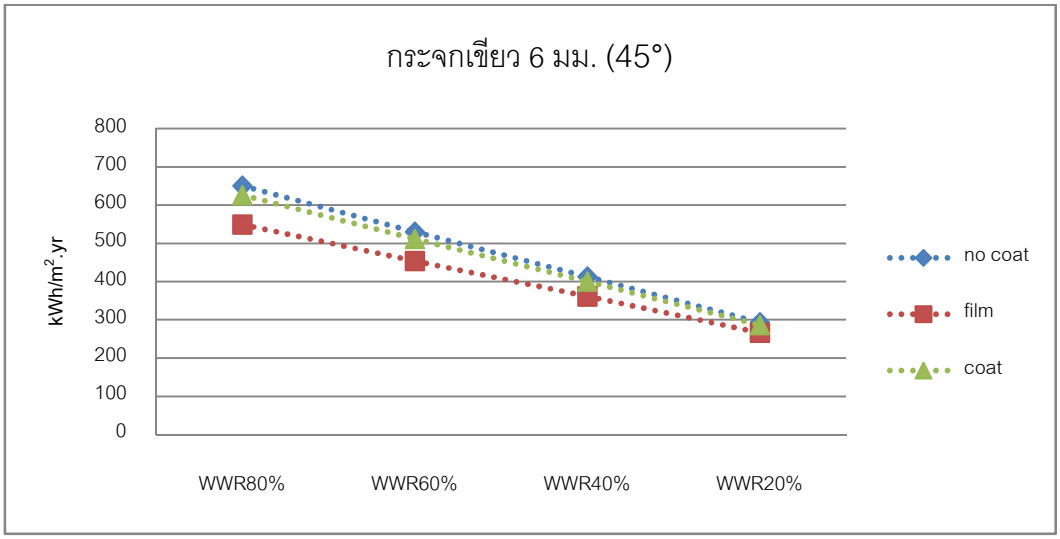
แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบทิศการวางผังกับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน WWR80% ของกระจกอินซูเลท Low-E

จากแผนภูมิที่ 4.7-4.11แสดงให้เห็นว่าอาคารสำนักงานที่กระจกที่ต่างชนิด แต่มีแนวโน้มการใช้พลังงานที่สูงขึ้น เมื่ออาคารนั้นมีการวางผังอาคารที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าทั้ง 5 แผนภูมิ ลักษณะการวางของอาคารที่วางผังเอียงหรือวางผังโดยไม่ได้คำนึงถึงทิศทางของแสงอาทิตย์จะทำให้ใช้พลังงานมากกว่า และเมื่อวิเคราะห์ร่วมกับตารางที่ 4.4 ค่าผลต่างของการใช้พลังงานลดลงมาก ในกรณีที่อาคารสำนักงานที่ใช้กระจกเดิมมีการใช้พลังงานยิ่งสูง เมื่อปรับปรุงอาคารด้วยสารเคลือบกระจกกันความร้อนจะยิ่งลดการใช้พลังงานได้มากตาม โดยอาคารสำนักงานที่ใช้กระจกใสวางผังเอียง45° มีค่าการลดการใช้พลังงานมากที่สุดเมื่อเคลือบสารกันความร้อนโดยลดลงไป 113 kwh/m^2.yr

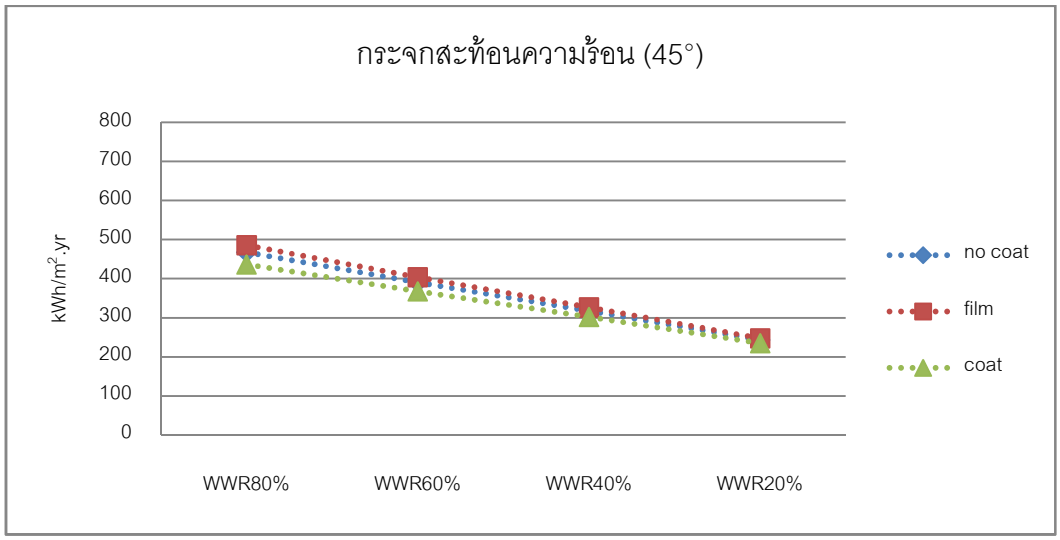
นอกจากกรณีของทิศการวางผังอาคารที่มีผลต่อการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน และการใช้พลังงานรวมของอาคารแล้ว ยังมีปัจจัยของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) โดยผู้วิจัยเลือกนำข้อมูลของอาคารสำนักงานที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดคือ อาคารที่วางผังเอียง 45° ซึ่งวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานได้ดังแผนภูมิที่ 4.12-4.16



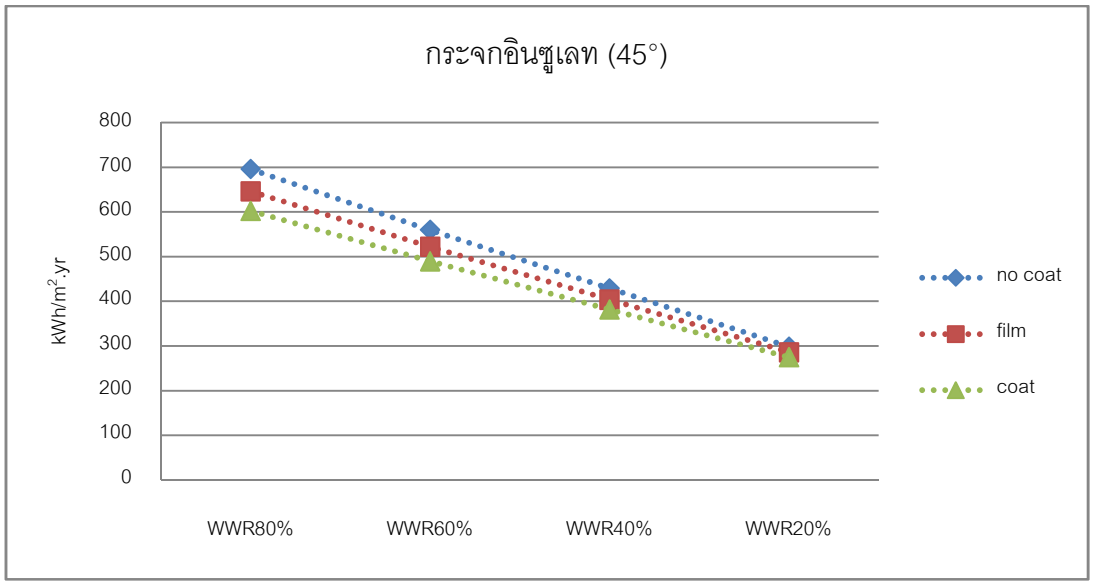
แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกใส 3 มม.



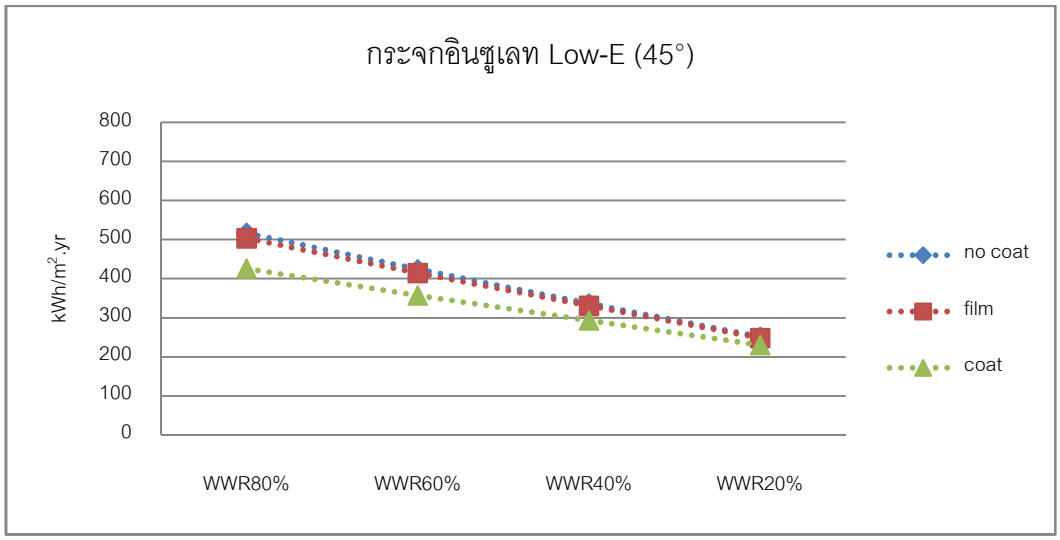
แผนภูมิที่ 4.13 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกเขียว 6 มม.



แผนภูมิที่ 4.14 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกสะท้อนความร้อน



แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกอินซูเลท



แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบ WWR กับการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ของกระจกอินซูเลท Low-E

จากแผนภูมิที่ 4.12-4.16 แสดงให้เห็นว่าอาคารสำนักงานที่วางผังเอียง 45° มีการใช้พลังงานลดลงแปรผันตามค่า WWR ที่ลดลง และจากลักษณะของแผนภูมิแสดงให้เห็นว่าอาคารWWR80% ที่ใช้กระจกเดิมเมื่อปรับปรุงด้วยการทาสารเคลือบกันความร้อนจะลดพลังงานได้มากกว่า WWR60% WWR40% และ WWR20% ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าสารเคลือบกระจกเหมาะสมที่จะใช้กับอาคารที่มีพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ที่มีค่าสูง

โดยสามารถประเมินเชิงเทคนิคของอาคารสำนักงานได้ว่า รูปแบบอาคารสำนักงาน เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร คือ สัดส่วนของ WWR และทิศทางการวางผังของอาคาร เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของค่าการใช้พลังงาน กระจกที่ปรับปรุงอาคารด้วยการเคลือบสารกันความร้อนช่วยให้อาคารสำนักงานการใช้พลังงานลดลงได้ มากกว่ากระจกติดฟิล์ม เมื่อใช้กับกระจกทุกชนิด ยกเว้นอาคารที่ใช้กระจกเขียวติดฟิล์มช่วยลดการใช้พลังงานได้มากกว่ากระจกเขียวทาสารเคลือบกันความร้อน และสารเคลือบกันความร้อนมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับอาคารสำนักงานที่มีการใช้พลังงานที่มากที่สุด คือ WWR80 และทิศทางการวางผัง 45° และ 135° เมื่อใช้กับกระจกใส 3 มม. และประสิทธิภาพต่ำสุดสำหรับอาคารสำนักงาน WWR20 และทิศทางการวางผัง 0° เมื่อใช้กับกระจกเขียว 6 มม.

4.4 วิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์

เพื่อความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนกับกระจกทั้ง 5 ชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกติดฟิล์ม จากที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบว่าการใช้สารเคลือบกระจกกันนั้นสามารถลดการถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจกได้ ในการพิจารณาความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์นั้น ผู้วิจัยเลือกพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุน (payback period - PB) อัตราการตอบแทนภายใน (Internal rate of return - IRR) และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี (Life-cycle cost analysis - LCC) โดยเปรียบเทียบกับอาคารที่ใช้กระจกต้นแบบ เป็น Base case โดยนำผลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของบ้านพักอาศัย และอาคารสำนักงาน ในทุกกรณีมาคิดค่าไฟฟ้าตลอดทั้งปี

โดยวิธีการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของแต่ละวิธี ได้แก่ (1) ระยะเวลาคืนทุน (PB) มีหน่วยเป็นปี ใช้เวลาน้อยกว่าแสดงว่ามีความคุ้มทุนมากกว่า (2) อัตราการตอบแทนภายใน (IRR) มีหน่วยเป็นร้อยละ (%) ยิ่งอัตราการตอบแทนมากแสดงว่ามีความคุ้มทุนมากกว่า โดยที่ค่า IRR ต้องมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดเท่ากับ 7.5% และ (3) มูลค่าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี (LCC) เปรียบเทียบมูลค่าที่ต้องจ่ายของอาคารที่ใช้กระจกต้นแบบกับอาคารที่ปรับปรุงทางเลือกที่มูลค่าน้อยสุดหมายถึงทางเลือกที่มีความคุ้มทุนมากกว่า

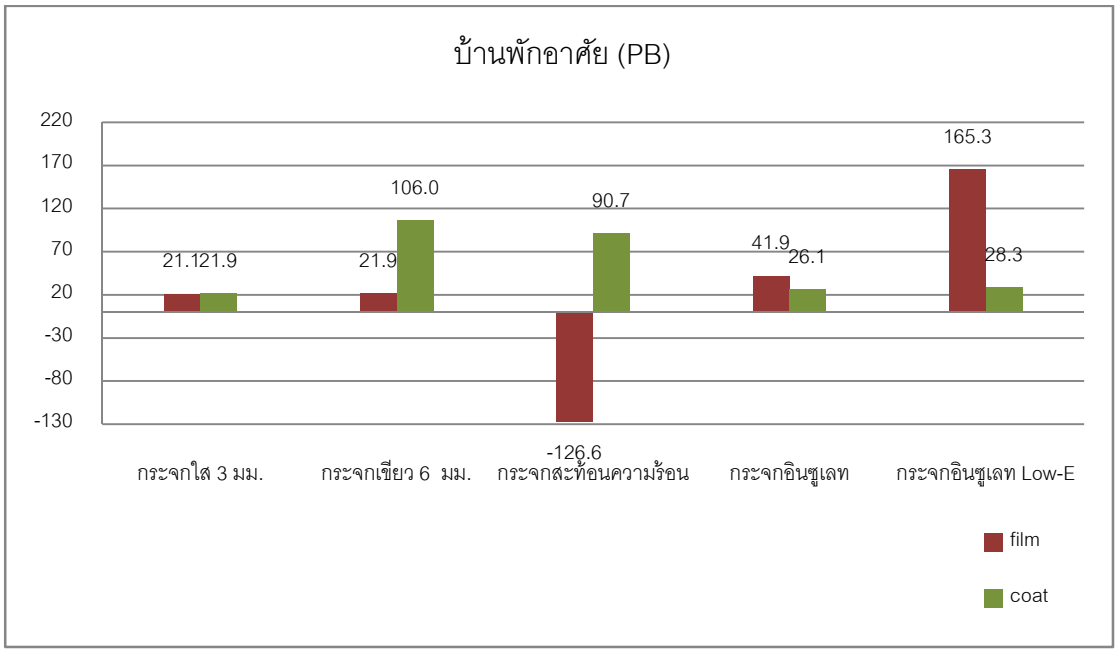
เงินต้นทุนในการปรับปรุงอาคารมาจากค่าใช้จ่ายของวัสดุรวมกับค่าแรงต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร โดยค่าปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มมีค่าใช้จ่าย 1,722 บาทต่อตารางเมตร และการทาสารเคลือบกันความร้อนมีค่าใช้จ่ายตารางเมตรละ 2,000 บาทต่อตารางเมตร (อ้างอิงจากตัวแทนจำหน่ายสินค้า)

4.4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของบ้านพักอาศัยสองชั้น โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารตลอดทั้งปี มาคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตลอดทั้งปีดังตารางที่4.5 และผลสรุปประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ปรากฏตามรายละเอียดในตาราง ข.1 และวิเคราะห์สรุปข้อมูลแบ่งเป็น ระยะเวลาคุ้มทุน (PB) อัตราการตอบแทนภายใน (IRR) และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ดังแผนภูมิที่ 4.17-4.19 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยตลอดทั้งปี

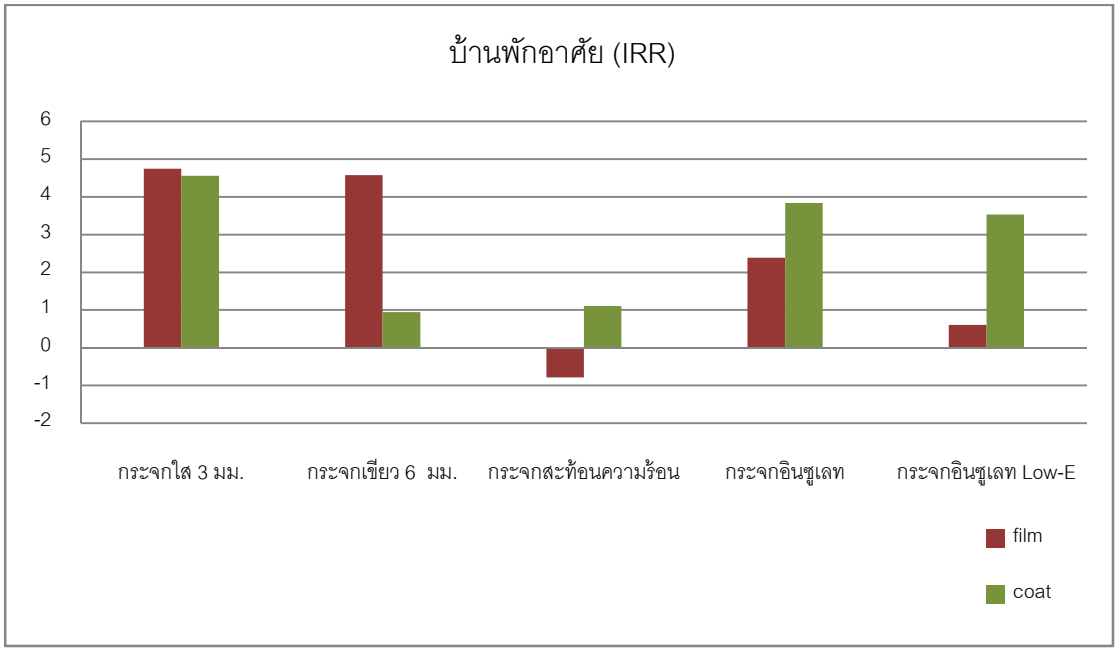
กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ปีละ
no coat	0	50,757	-
film	134,316	44,386	6,371
coat	156,000	43,649	7,108
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ปีละ
no coat	0	43,768	-
film	134,316	37,627	6,141
coat	156,000	42,296	1,472
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ปีละ
no coat	0	34,302	-
film	134,316	35,363	-1,061
coat	156,000	32,583	1,719
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ปีละ
no coat	0	49,416	-
film	134,316	46,214	3,202
coat	156,000	43,436	5,980
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ปีละ
no coat	0	39,711	-
film	134,316	38,898	813
coat	156,000	34,197	5,514

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยตลอดทั้งปี และค่าไฟฟ้าที่ประหยัดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกต้นแบบ กระจกที่เคลือบสารกันความร้อนสามารถช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ทุกกรณี แปรผันตามประสิทธิภาพที่วิเคราะห์เชิงเทคนิค โดยกระจกที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากที่สุดคือ กระจกใส 3 มม. สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้คิดเป็นร้อยละ 12.5 ต่อปี และกระจกที่ประหยัดลงได้น้อยที่สุดคือ กระจกเขียว 6 มม. สามารถลดค่าไฟฟ้าได้คิดเป็นร้อยละ 3.3 ต่อปีเท่านั้น



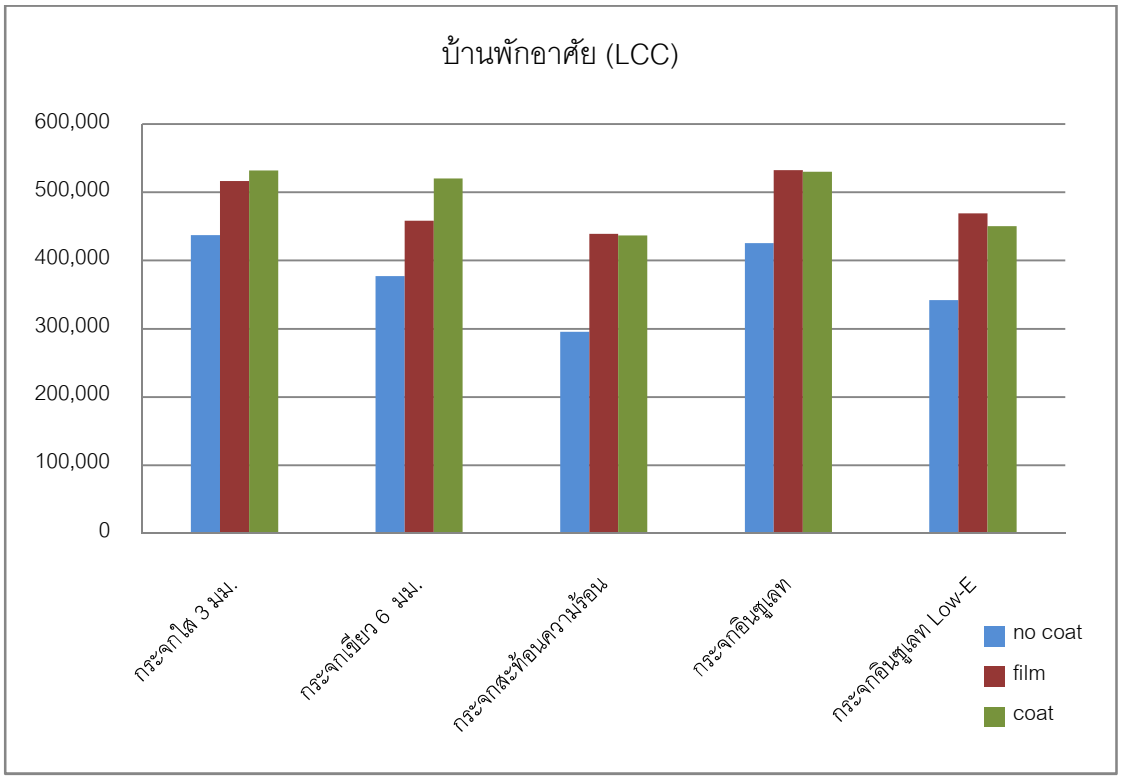
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของบ้านพักอาศัย กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

จากแผนภูมิที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาคืนทุนจากการปรับปรุงกระจกด้วยการติดฟิล์มและทาสารเคลือบกันความร้อนของบ้านพักอาศัยใช้ระยะเวลามากกว่า 20 ปีในทุกกรณี แต่อายุการใช้งานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนมีอายุการใช้งาน 10 ปีเท่านั้น



แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายในของบ้านพักอาศัย กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

จากแผนภูมิที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าอัตราการตอบแทนภายในจากการปรับปรุงกระจกด้วยการติดฟิล์มและทาสารเคลือบกันความร้อนของบ้านพักอาศัยมีค่าน้อยกว่าอัตราคิดลด 7.5% ในทุกกรณีซึ่งไม่มีความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์



แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งานของบ้านพักอาศัยของกระจกต้นแบบกับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

จากแผนภูมิที่ 4.19 แสดงให้เห็นการเปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งานจากการปรับปรุงกระจกด้วยการติดฟิล์ม และทาสารเคลือบกันความร้อนของบ้านพักอาศัยมีมูลค่าการมากกว่าอาคารที่ยังไม่ได้ปรับปรุงในทุกรณี ซึ่งไม่มีความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์

สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์แล้วในกรณีของบ้านพักอาศัยไม่เหมาะสมที่จะปรับปรุงอาคารด้วยการทาสารเคลือบกันความร้อนหรือการติดฟิล์ม แม้ว่าค่าไฟฟ้าที่จ่ายจะลดลงจากกระจกเดิมเมื่อมีการปรับปรุงอาคาร แต่เมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนแล้วการปรับปรุงอาคารของกระจกทุกชนิดและทุกทางเลือกต้องใช้ระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนานมาก ซึ่งนานกว่าอายุการใช้งานของฟิล์มและสารเคลือบกันความร้อนที่มีอายุการใช้งาน 10 ปี ตัวอย่างเช่น บ้านพัก

อาศัยที่ใช้กระจกใส 3 มม. เมื่อปรับปรุงอาคารด้วยการติดฟิล์มและทาสารเคลือบมีระยะเวลาคืนทุน 21.1 ปี และ 21.9 ปี ซึ่งมากกว่าอายุการใช้งานของวัสดุเป็นเท่าตัว นอกจากนี้สามารถดูค่า IRR ของแต่ละกรณีจะต้องมีค่ามากกว่า 7.5% (ค่าอัตราคิดลดที่ให้ในการคำนวณ) โดยทุกทางเลือกมี IRR น้อยกว่าทั้งหมด นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน หรือ LCC 10 ปี เมื่อทำการปรับปรุงมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลต่างกับกระจกต้นแบบได้ค่าตัวเลขที่ติดลบ แสดงว่าการปรับปรุงอาคารไม่ได้ช่วยให้อาคารประหยัดค่าใช้จ่าย ดังนั้นสารเคลือบกระจกไม่เหมาะสมที่จะใช้กับบ้านพักอาศัยเพื่อปรับปรุงอาคารเพราะไม่มีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

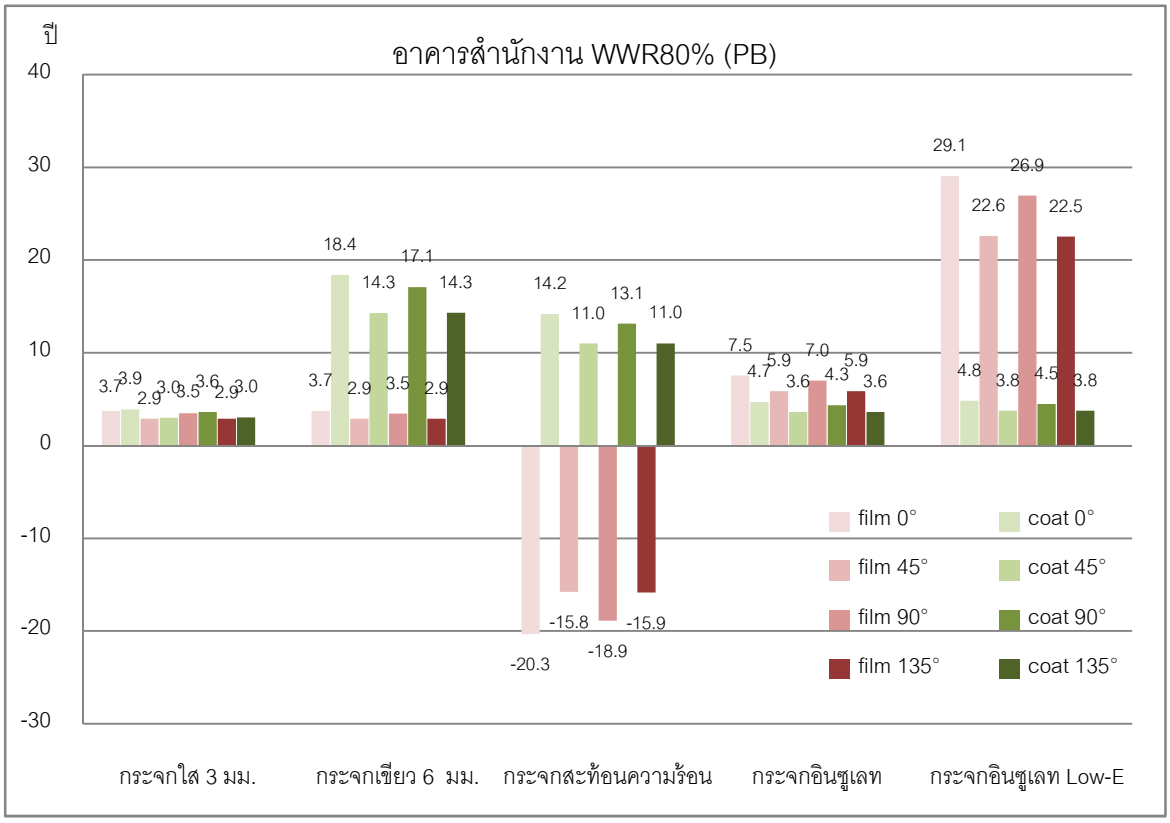
4.4.2 **ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของอาคารสำนักงาน** แบ่งข้อมูลตามขนาดของ WWR โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารตลอดทั้งปีจากตาราง ข. สรุปได้ดังตารางที่4.6 โดยผู้วิจัยแสดงผลค่าไฟฟ้าบางส่วนคือ WWR80% และผลสรุปประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ปรากฏตามรายละเอียดในตาราง ข. โดยวิเคราะห์ข้อมูลสรุปแบ่งเป็น ระยะเวลาคุ้มทุน (PB) อัตราการตอบแทนภายใน (IRR) และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ดังแผนภูมิต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน WWR80%

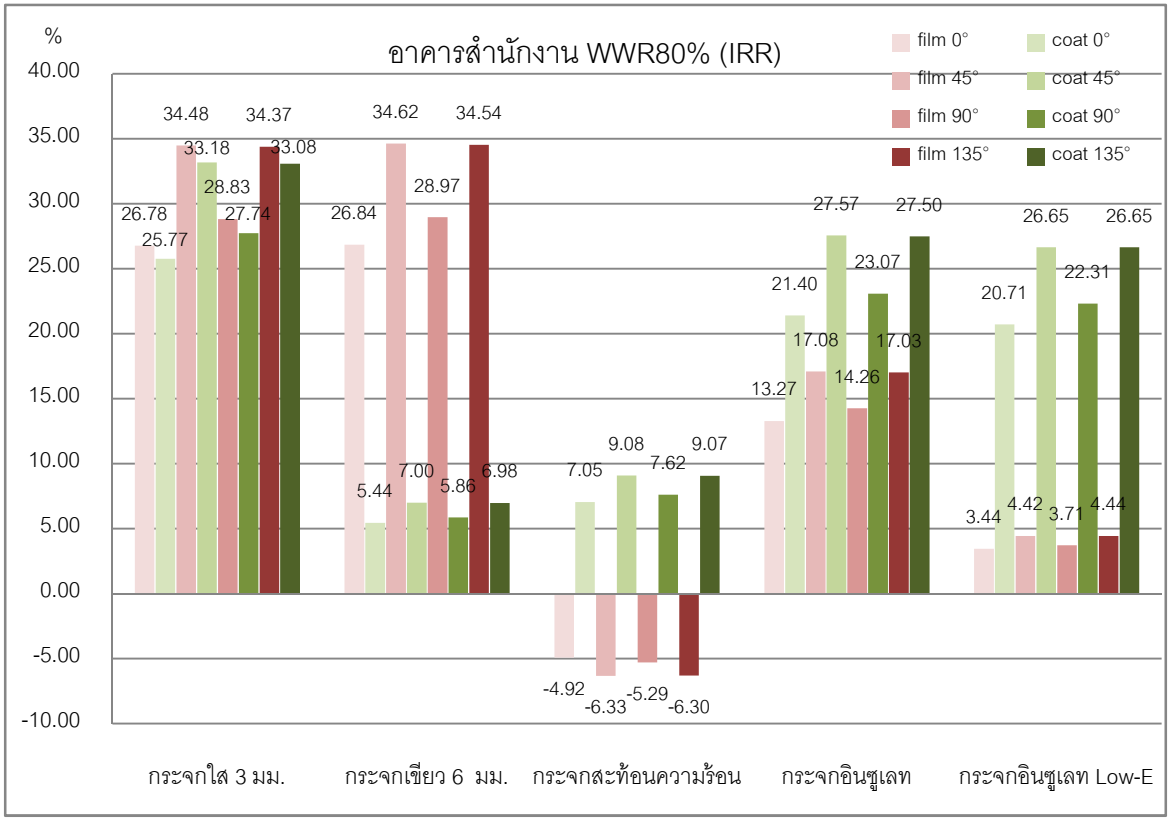
กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน	0°		45°		90°		135°	
		ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)
no coat	0	45,520,032	-	55,280,275	-	48,222,739	-	55,090,771	-
film	21,159,936	39,853,766	5,666,266	47,984,626	7,295,650	42,122,918	6,099,821	47,817,389	7,273,382
coat	24,576,000	39,186,984	6,333,048	47,125,507	8,154,768	41,404,579	6,818,160	46,961,347	8,129,424
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน	0°		45°		90°		135°	
		ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)
no coat	0	39,227,242	-	47,178,240	-	41,449,728	-	47,013,274	-
film	21,159,936	33,548,100	5,679,142	39,852,869	7,325,371	35,319,715	6,130,013	39,703,841	7,309,433
coat	24,576,000	37,890,739	1,336,502	45,458,976	1,719,264	40,010,100	1,439,628	45,297,542	1,715,731
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน	0°		45°		90°		135°	
		ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)
no coat	0	28,939,709	-	33,936,960	-	30,355,130	-	33,783,845	-
film	21,159,936	29,980,397	-1,040,688	35,277,288	-1,340,328	31,475,328	-1,120,198	35,117,952	-1,334,107
coat	24,576,000	27,206,227	1,733,482	31,706,342	2,230,618	28,483,608	1,871,522	31,554,281	2,229,564
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน	0°		45°		90°		135°	
		ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)
no coat	0	41,763,518	-	50,491,574	-	44,183,707	-	50,286,672	
film	21,159,936	38,956,171	2,807,347	46,876,819	3,614,755	41,167,349	3,016,358	46,683,773	3,602,899
coat	24,576,000	36,503,957	5,259,562	43,715,107	6,776,467	38,514,590	5,669,117	43,528,454	6,758,218
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน	0°		45°		90°		135°	
		ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)	ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	ประหยัด/ปี (บาท)
no coat	0	31,652,275	-	37,480,092	-	33,294,804	-	37,323,190	-
film	21,159,936	30,924,302	727,973	36,543,826	936,266	32,509,291	785,513	36,384,317	938,873
coat	24,576,000	26,562,310	5,089,966	30,931,234	6,548,858	27,813,091	5,481,713	30,773,587	6,549,602

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน WWR80% ในรูปแบบอาคารทั้ง 4 ทิศทาง ตลอดทั้งปี และค่าไฟฟ้าที่ประหยัดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกต้นแบบ กระจกที่เคลือบสารกันความร้อนสามารถช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ทุกกรณี เช่นเดียวกับบ้านพักอาศัยสองชั้น โดยอาคารสำนักงาน WWR80% ที่วางอาคารเอียง 45° ที่ใช้กระจกใส 3 มม. ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 14.7 ต่อปี และอาคารสำนักงาน WWR80% วาง

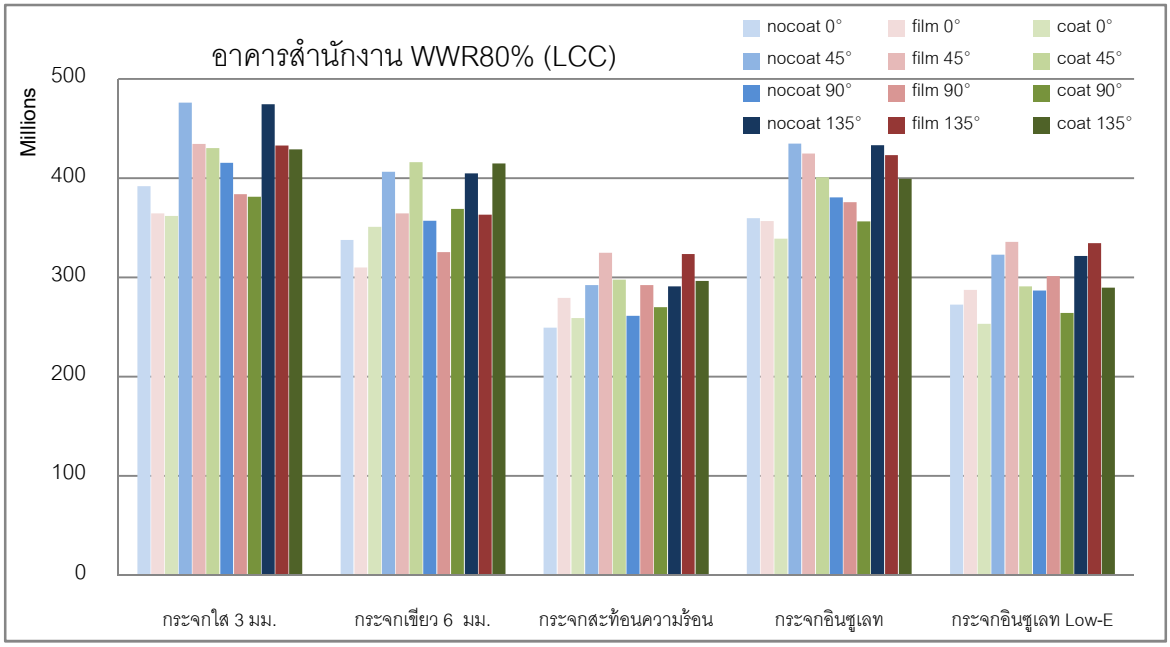
อาคารตามตะวัน 0° ที่ใช้กระจกเขียว ประหยัดค่าไฟฟ้าได้น้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 3.4 ต่อปีเท่านั้น นอกจากการคิดค่าไฟฟ้าที่ประหยัดลง ยังไม่สามารถสรุปผลได้ว่าการเคลือบสารกันความร้อนกับกระจกชนิดใด และอาคารรูปแบบใดจะมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ จะต้องพิจารณาด้วยวิธีคิดด้าน ระยะเวลาคุ้มทุน (PB) อัตราการตอบแทนภายใน (IRR) และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ดังต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของอาคารสำนักงาน WWR80% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

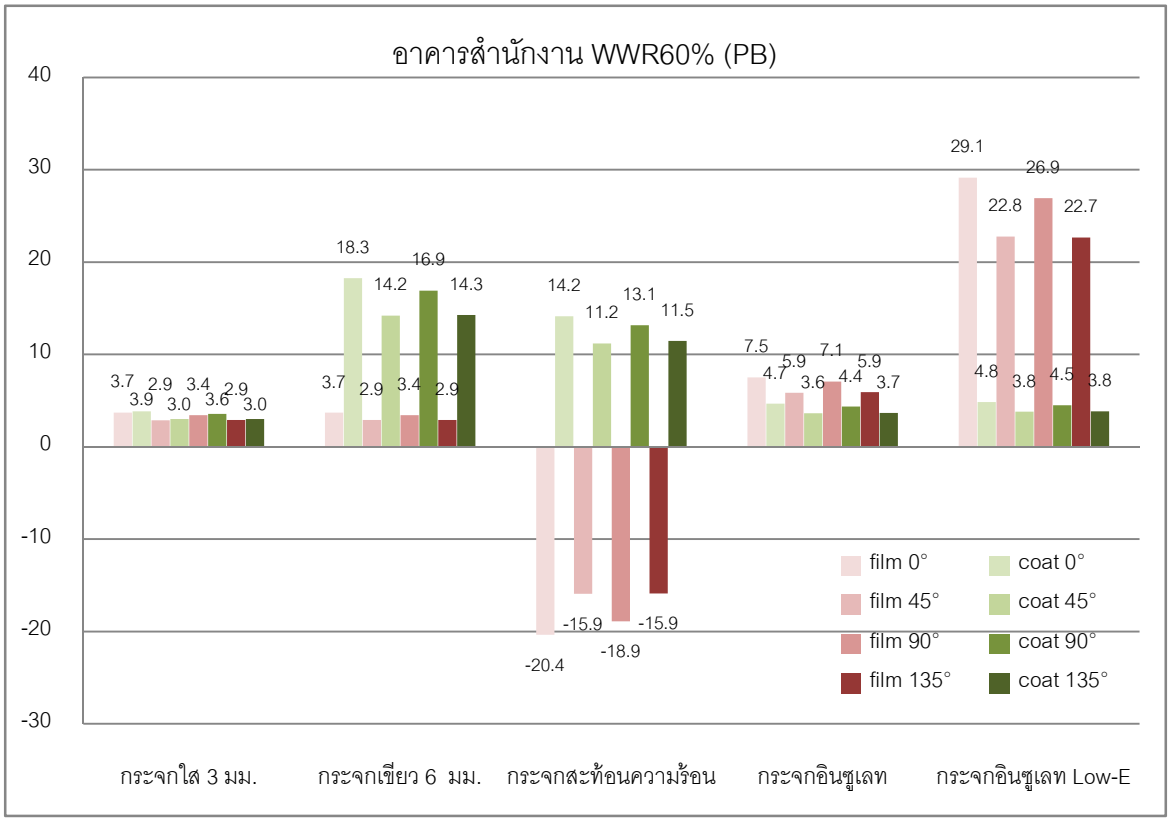


แผนภูมิที่ 4.21 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายใน ของอาคารสำนักงาน WWR80% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

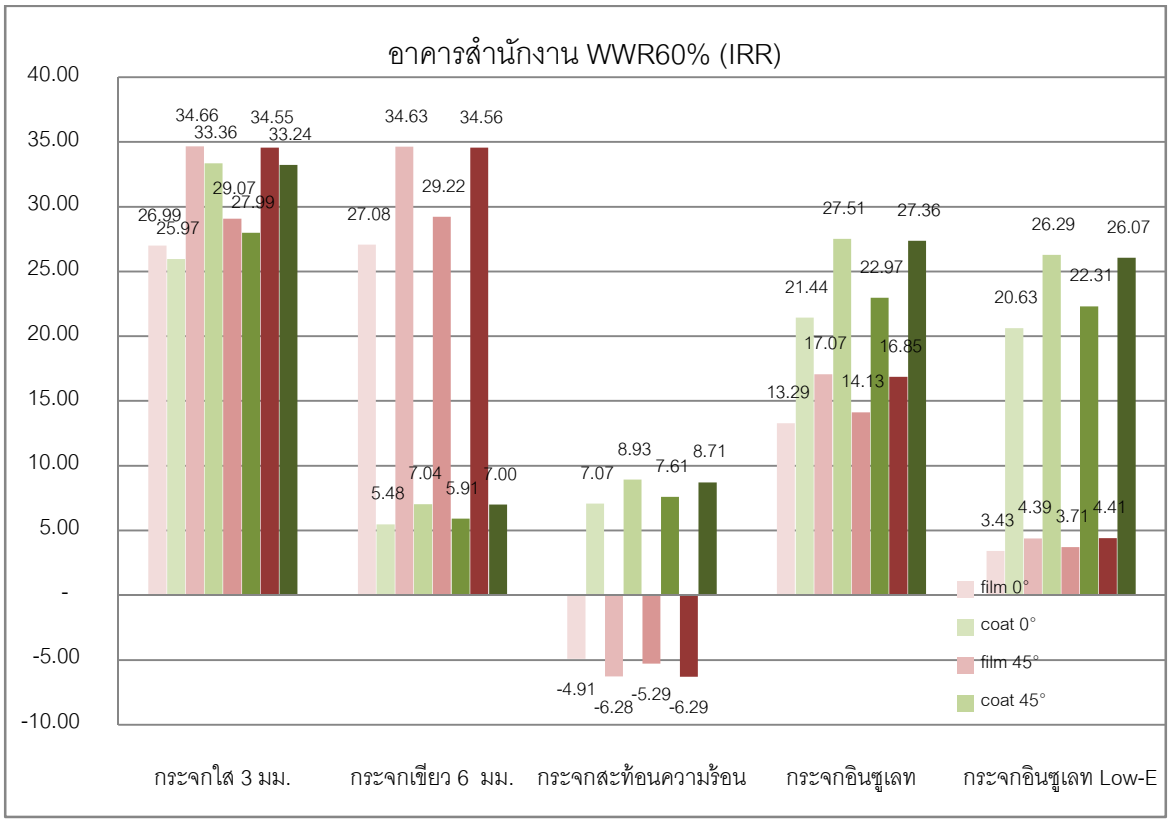


แผนภูมิที่ 4.22 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงาน WWR80% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

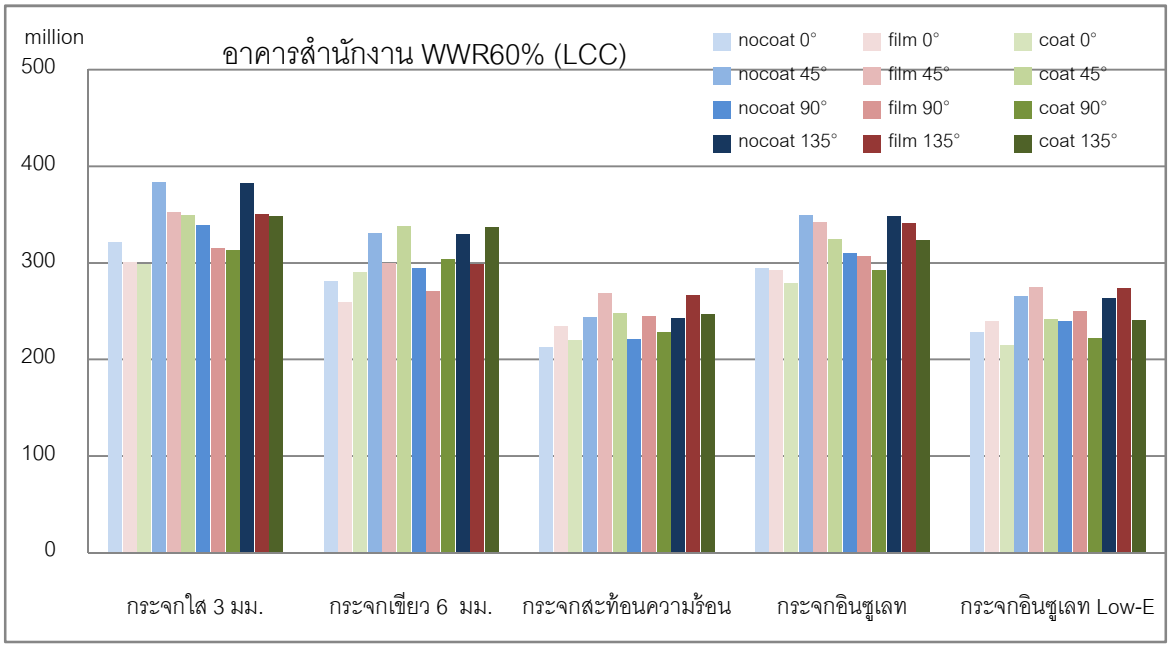
จากแผนภูมิที่ 4.20-4.22 เป็นผลวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ทั้ง 3 วิธีจากที่ได้กล่าวข้างต้น ของอาคารสำนักงาน WWR80% ในทุกกรณี สามารถสรุปได้ว่าวารเคลือบกระจกมีความเหมาะสมที่จะใช้กับอาคารที่วางผังเอียง 45° และเป็นอาคารที่ใช้กระจกใส 3 มม. มีระยะเวลาคืนทุน 3 ปี อัตราการตอบแทน 33.1% และมูลค่าตลอดอายุการใช้งานลดลงประมาณ 45.6 ล้านหรือคิดเป็นร้อยละ 9.5% เมื่อเทียบกับกระจกต้นแบบ



แผนภูมิที่ 4.23 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

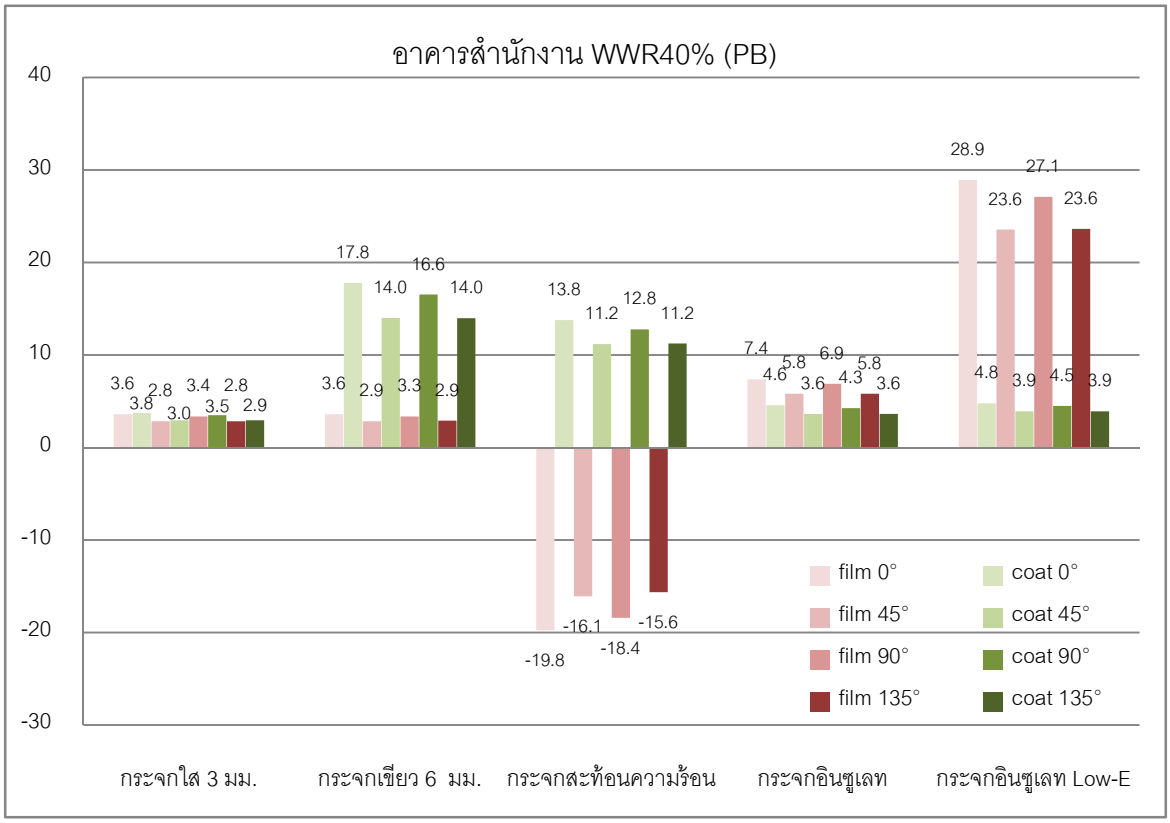


แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายใน ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

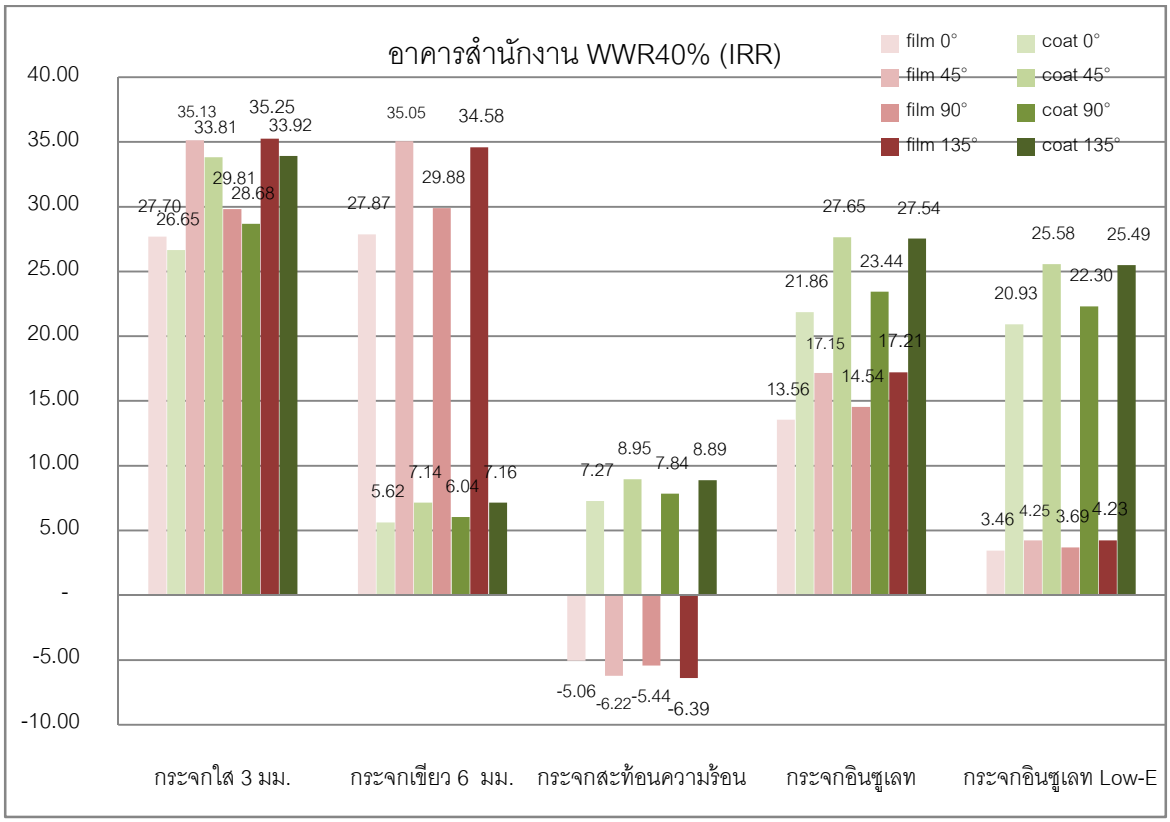


แผนภูมิที่ 4.25 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

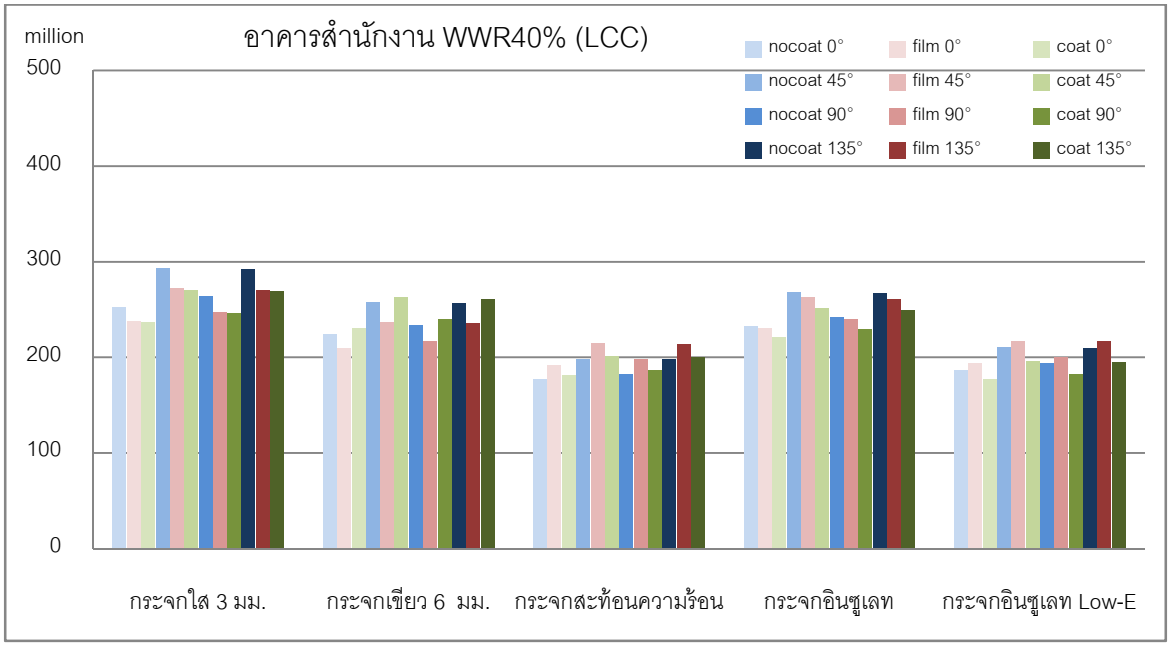
จากแผนภูมิที่ 4.23-4.25 เป็นผลวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ทั้ง 3 วิธีจากที่ได้กล่าวข้างต้น ของอาคารสำนักงาน WWR60% ในทุกกรณี สามารถสรุปได้ว่าวารเคลือบกระจกมีความเหมาะสมที่จะใช้กับอาคารที่วางผังเอียง 45° และเป็นอาคารที่ใช้กระจกใส 3 มม. มีระยะเวลาคืนทุน 3 ปี อัตราการตอบแทน 33.3% และมูลค่าตลอดอายุการใช้งานลดลงประมาณ 34.4 ล้านหรือคิดเป็นร้อยละ 9% เมื่อเทียบกับกระจกต้นแบบ



แผนภูมิที่ 4.26 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของอาคารสำนักงาน WWR40% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

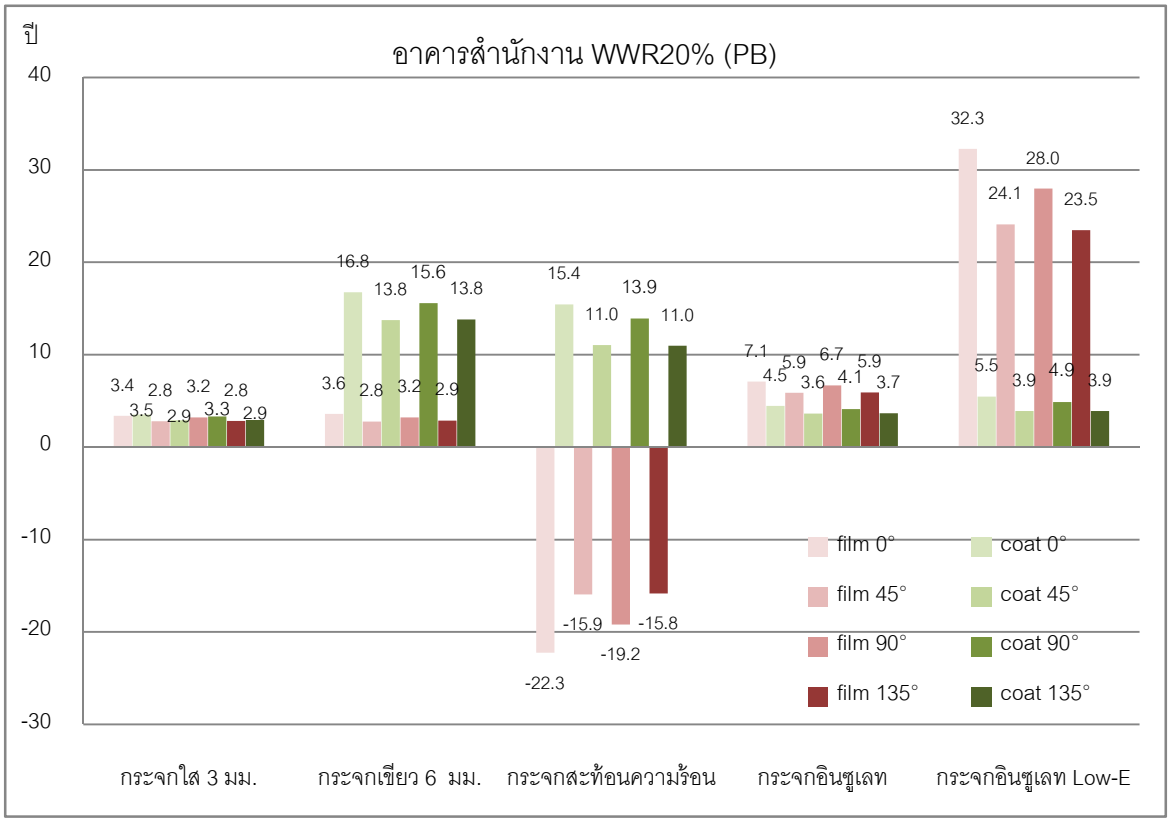


แผนภูมิที่ 4.27 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายใน ของอาคารสำนักงาน WWR40% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

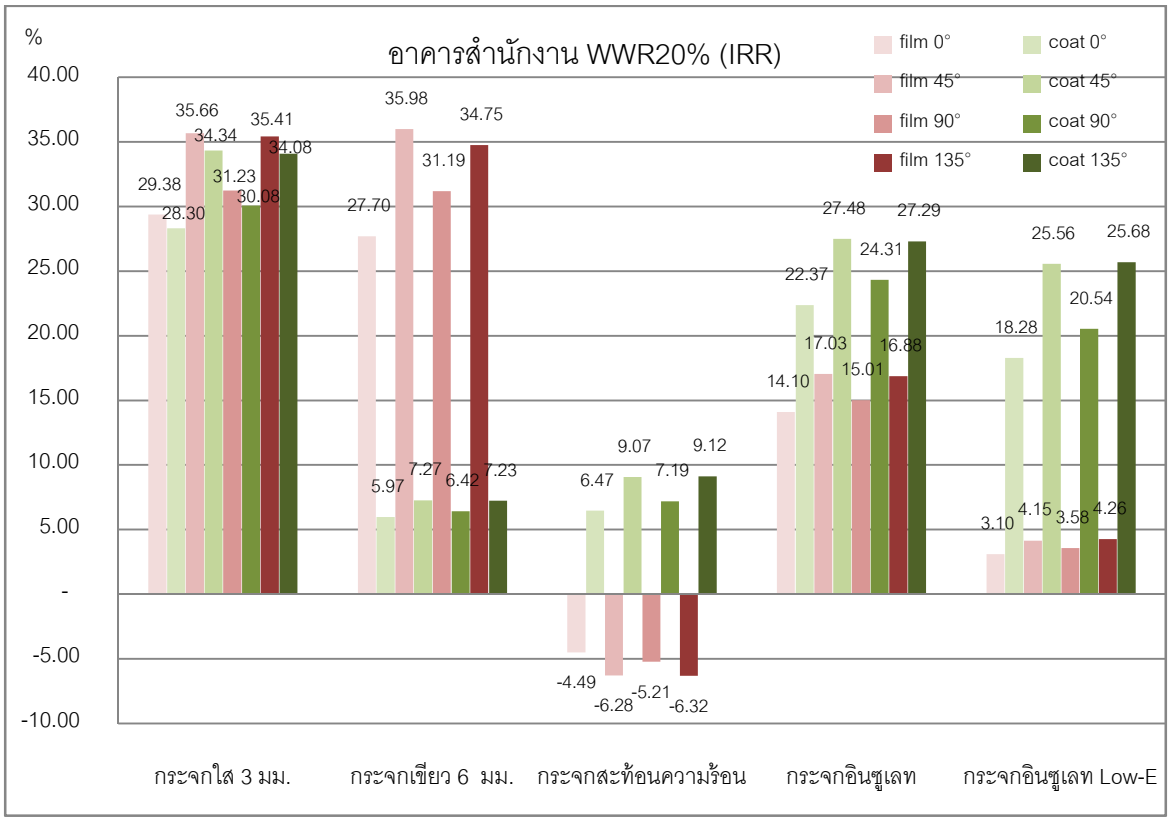


แผนภูมิที่ 4.28 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงาน WWR40% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

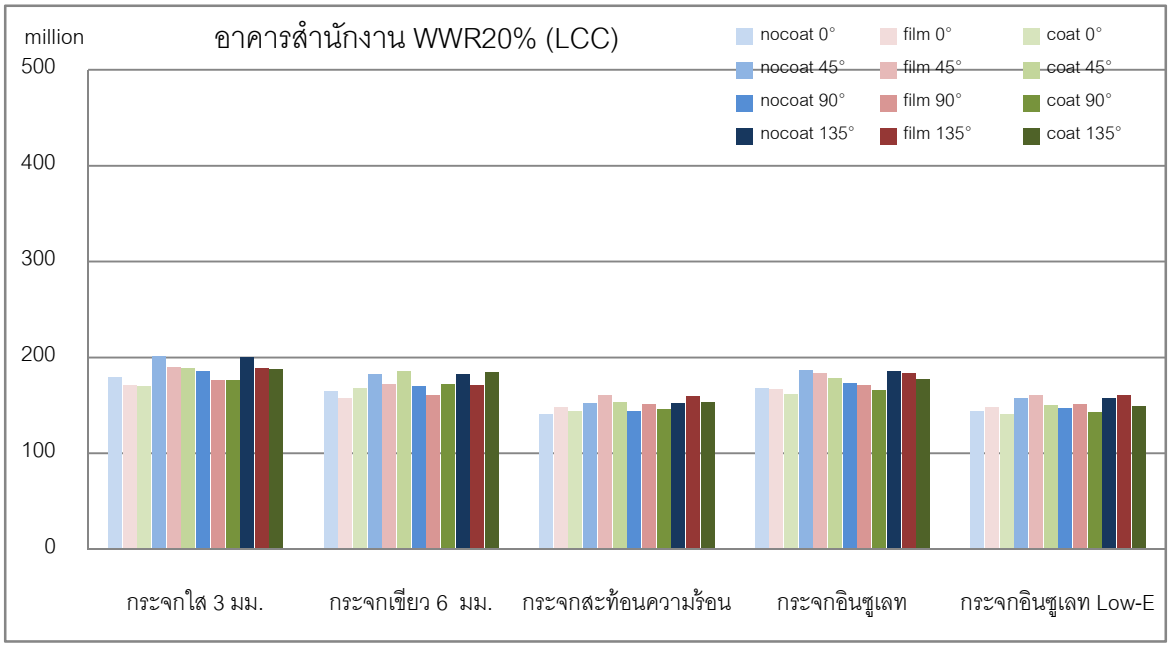
จากแผนภูมิที่ 4.26-4.28 เป็นผลวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ทั้ง 3 วิธีจากที่ได้กล่าวข้างต้น ของอาคารสำนักงาน WWR40% ในทุกกรณี สามารถสรุปได้ว่าวารเคลือบกระจกมีความเหมาะสมที่จะใช้กับอาคารที่วางผังเอียง 135° และเป็นอาคารที่ใช้กระจกใส 3 มม. มีระยะเวลาคืนทุน 2.9 ปี อัตราการตอบแทน 33.9% และมูลค่าตลอดอายุการใช้งานลดลงประมาณ 23.6 ล้านบาทหรือคิดเป็นร้อยละ 8.1% เมื่อเทียบกับกระจกต้นแบบ



แผนภูมิที่ 4.29 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (ปี) ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด



แผนภูมิที่ 4.30 เปรียบเทียบอัตราการตอบแทนภายใน ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด



แผนภูมิที่ 4.31 เปรียบเทียบมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงาน WWR20% ที่วางผังอาคารทั้ง 4 ทิศทาง กับการปรับปรุงกระจกทุกชนิด

จากแผนภูมิที่ 4.29-4.31 เป็นผลวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ทั้ง 3 วิธีจากที่ได้กล่าวข้างต้น ของอาคารสำนักงาน WWR20% ในทุกกรณี สามารถสรุปได้ว่าวารเคลือบกระจกมีความเหมาะสมที่จะใช้กับอาคารที่วางผังเอียง 45° และเป็นอาคารที่ใช้กระจกใส 3 มม. มีระยะเวลาคืนทุน 2.9 ปี อัตราการตอบแทน 34.3% และมูลค่าตลอดอายุการใช้งานลดลงประมาณ 11.9 ล้านบาทหรือคิดเป็นร้อยละ 5.9% เมื่อเทียบกับกระจกต้นแบบ

สรุปโดยรวม จากแผนภูมิที่ 4.20-4.31 แสดงการประเมินประสิทธิภาพของอาคารสำนักงานในทุกกรณีสามารถสรุปได้ว่า อาคารสำนักงานที่พื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ WWR80%, WWR60%, WWR40% และ WWR20% ที่วางผังอาคารเอียง 45° และ 135° เมื่อปรับปรุงกระจกอาคารจะสามารถลดพลังงานได้มากกว่า 0° และ 90° โดยหากเปรียบเทียบการปรับปรุงอาคารแต่ละประเภทของกระจก กระจกใส และกระจกเขียวเคลือบสารกันความร้อนจะมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์น้อยกว่าการติดฟิล์ม ในขณะที่กระจกสะท้อนความร้อน กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E เคลือบสารกันความร้อนจะมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการติดฟิล์ม แต่เมื่อประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์โดยรวมแล้วกระจกที่ใช้ในอาคารสำนักงานที่เหมาะสมจะใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน ได้แก่ กระจกใส 3 มม. กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบกระจกด้วยกล่องทดลอง และจำลองผลอาคารบ้านพักอาศัยสองชั้นและอาคารสำนักงานที่มีการปรับปรุงกระจก ด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 โดยเก็บบันทึกอุณหภูมิของกระจกจากกล่องทดลองเบื้องต้น และเก็บผลการใช้พลังงานรวมภายในอาคารตลอดทั้งปี เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อน ที่ปรับปรุงกระจก 5 ประเภท ในแต่ละทิศทางส่งผลต่อการใช้พลังงานรวมภายในอาคาร จากบทที่4 พบว่าสารเคลือบกระจกกันความร้อนมีผลช่วยให้การใช้พลังงานรวมภายในอาคารลดลง ทั้งบ้านพักอาศัยสองชั้น และอาคารสำนักงาน โดยการอภิปรายแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

5.1 สรุปผลการวิจัยของการศึกษาประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อนและแนะนำแนวทางในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน

ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคด้านอุณหภูมิ จากการทดสอบกระจกด้วยกล่องทดลอง สารเคลือบกระจกกันความร้อนมีประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อน ช่วยให้มีอุณหภูมิที่ลดลงได้เมื่อใช้กับกระจกทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ กระจกใส 3 มม. กระจกเขียว 6 มม. กระจกสะท้อนความร้อน กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับการติดฟิล์ม กระจกทาสารเคลือบกันความร้อนทุกชนิดมีประสิทธิภาพสูงกว่ากระจกติดฟิล์ม ยกเว้นกระจกเขียว 6 มม. ซึ่งในที่นี้ กระจกใส 3 มม. เหมาะสมที่สุดในการใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกประเภทอื่นๆ

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิดด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร จากการจำลองอาคารด้วยโปนแกรม Visual DOE 4.1 ในส่วนของบ้านพักอาศัยสองชั้นเมื่อปรับปรุงอาคารด้วยการทาสารเคลือบกระจกกันความร้อนช่วยให้การใช้พลังงานลดลงได้เมื่อใช้กับกระจกทั้ง 5

ชนิด และเมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่ลดลงของสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับการติดฟิล์ม บ้านพักอาศัยที่ใช้กระจกเคลือบสารกันความร้อนมีประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานมากกว่าการติดฟิล์ม ยกเว้นกระจกเขียว 6 มม. ซึ่งในที่นี้สรุปได้ว่า บ้านพักอาศัยที่ใช้กระจกใส 3 มม. เหมาะสมที่สุดที่จะใช้สารเคลือบกันกระจกความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกประเภทอื่นๆ

ในส่วนของอาคารสำนักงาน สามารถสรุปผลเชิงเทคนิคด้านการใช้พลังงานได้เช่นเดียวกับบ้านพักอาศัย แต่ที่เพิ่มเติมคือ รูปแบบของอาคารสำนักงานที่เมื่อมีการเคลือบสารกันความร้อนเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) สารเคลือบกระจกกันความร้อนมีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้กับอาคารสำนักงานที่มี WWR ที่มากกว่าตามลำดับ ซึ่งในที่นี้สรุปได้ว่าอาคารสำนักงานที่มีการวางผังเอียง 45° และ 135° ที่มี WWR80% ใช้กระจกใส 3 มม. เหมาะสมที่สุดที่จะใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกและอาคารรูปแบบอื่นๆ

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยด้านความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (PB) อัตราการตอบแทนภายใน (IRR) และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี (LCC) โดยสรุปได้ว่า บ้านพักอาศัยสองชั้น เมื่อคิดคำนวณค่าไฟฟ้าสามารถลดค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายได้เมื่อใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนกับกระจกทุกชนิด แต่เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาคืนทุน เมื่อมีการปรับปรุงอาคารกับกระจกทุกกรณี ใช้เวลาในการคืนทุนอย่างต่ำ 20 ปี ซึ่งสารเคลือบกระจกกันความร้อนมีอายุการใช้งานเพียง 10 ปี อีกทั้งอัตราการตอบแทนภายใน ที่มีค่าต่ำกว่าอัตราคิดลด และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน มีมูลค่าสูงขึ้นมากเมื่อมีการปรับปรุงอาคาร เมื่อพิจารณาทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ บ้านพักอาศัยสองชั้นทุกกรณี ไม่เหมาะสมที่จะใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนเพื่อปรับปรุงอาคารให้เป็นอาคารประหยัดพลังงานเนื่องจากความไม่คุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

อาคารสำนักงาน เมื่อคิดคำนวณค่าไฟฟ้าสามารถลดลงได้เมื่อใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนสามารถกับรูปแบบอาคารและประเภทกระจกทุกกรณี เมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุน อัตราการตอบแทนภายใน และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน ของอาคารสำนักงานที่ใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน กระจกที่ผ่านการประเมิน คือ กระจกใส 3 มม. กระจกอินซูเลท และกระจก Low-E และทิศทางการวางผังของอาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเอียง 45° และ 135° ซึ่งมีผล

การประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกันกับสัดส่วน WWR ที่มีผลที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยที่ WWR80% มีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าตามลำดับของสัดส่วน WWR และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ กระจกเคลือบสารกันความร้อนที่มีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์มากกว่ากระจกติดฟิล์ม คือ กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E เนื่องจากกระจกใส 3 มม. ที่แม้ว่าผ่านการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ทั้งหมด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการติดฟิล์มมีความคุ้มทุนที่ต่ำกว่า ซึ่งในที่นี้สรุปได้ว่า อาคารสำนักงานที่มีรูปแบบการวางอาคารเอียง 45° และ 135° มีพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคาร 80% และเป็นอาคารที่ใช้กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E เหมาะสมที่สุดที่จะใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกและอาคารรูปแบบอื่นๆ

สุดท้ายนี้จึงสรุปได้ว่า ประเภทกระจก รูปแบบและทิศทางการวางอาคารมีผลต่อการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อน มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนเพื่อให้อาคารประหยัดพลังงานที่เหมาะสมทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้

ผลการศึกษาวิจัยนี้ ผู้ที่สนใจสามารถนำไปเป็นแนวทางเลือกใหม่ในการปรับปรุงแก้ไขกับอาคารสำนักงานเพื่อให้อาคารประหยัดพลังงานตามสัดส่วนของ WWR ที่แตกต่างกันไป และทิศทางการวางผังของอาคาร และชนิดกระจกของอาคารเดิมที่ใช้อยู่ แต่ในการใช้งานจริงผู้ออกแบบอาจจะต้องมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรบางอย่าง เช่น ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่นำผลกาศึกษาไปประยุกต์ใช้

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนกับกระจกทั้งอาคาร ดังนั้นงานวิจัยในอนาคต สามารถทำการศึกษาสารเคลือบกระจกกันความร้อนเฉพาะด้านของอาคารและทำการเปรียบเทียบเพื่อ รายละเอียดที่เพิ่มมากขึ้นในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. ประเภทของกระจกที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ เลือกศึกษาเพียง 5 ชนิดคือ กระจกใส 3 มม. กระจกเขียว 6 มม. กระจกสะท้อนความร้อน กระจกอินซูเลท และกระจกอินซูเลท Low-E เท่านั้น และประเภทของอาคารที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ บ้านพักอาศัยสองชั้น และอาคารสำนักงาน ดังนั้นงานวิจัยต่อไปควรเพิ่มประเภทของกระจกและอาคาร นอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาเพื่อศึกษาให้ได้ผลที่มีความระเอียดและหลากหลาย

3. ในงานวิจัยนี้ประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคาร ซึ่งในอนาคตอาจพิจารณาในรายละเอียดเฉพาะของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

4. ผลการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ถึงแม้จะทำการตรวจสอบด้วยความแม่นยำในการจำลองผลแล้วก็ตาม เพื่อตรวจสอบผลข้อมูลการวิจัย ควรมีการเปรียบเทียบและวัดผลค่าที่แท้จริงในอาคารที่เปิดใช้งาน

5. งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์เชิงเทคนิคด้านอุณหภูมิและการใช้พลังงาน และวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของอาคารสำนักงานที่มีกฎหมายอาคารเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาเปรียบเทียบ ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตอาจศึกษาเปรียบเทียบให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (OTTV)

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

พิชญะ เพียรพัฒนางกูร. ผลกระทบของมวลอุณหภาพของผนังภายนอกอาคารในทิศทางต่างๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

พิพัฒน์ ชัยวิวัฒนวรกุล และพัฒนะ รักความสุข. รู้ทันพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.

สวิชญา ดาวประกายมงคล. แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศเพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

อำพล พิชัยเชิด และบรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ. การวิจัยเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกใส และกระจกติดฟิล์ม ที่ส่งผลต่อการอนุรักษ์พลังงาน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2549.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือก อาคารในอาคารทาวน์เฮ้าส์. Journal of Architectural/Planning Research and Studies. 5(1), (2549): 30-52.

ภาษาอังกฤษ

Alessandro C., Francesco F., Michele M., Giovanni T., Roberto C. and Giuseppe G. Multifunctional bioinspired sol-gel coatings for architectural glasses. Building and Environment 45 (2010) : 1233–1243.

American Society of Heat, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE Handbook of Fundamentals, USA, chapter 29 (1997) : 29.1-29.51.

Chaiyapinunt, S., Phueakphongsuriya, B., Mongkornsaksit, K., & Khomporn, N. Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission. Energy and Buildings 37 (2005): 725–738.

Durrani,S.M.A.,Khawaja,E.E.,Al-Shukri,A.M.,&Al-KuhailiM.F.Dielectric/Ag/dielectric coated energy-efficient glass windows for warm climates. Energy and Buildings. 36 (2004) : 891–898

Giovanni B., Valeria C., Luca L., Tiziano M., Cristina S., Cecilia B., Alessio L. and Teodoro V. Plasma-sprayed glass-ceramic coatings on ceramic tiles: microstructure,chemical resistance and mechanical properties. Journal of the European Ceramic Society 25 (2005) : 1835–1853.

Guoa W., Qiaoa X., Huanga Y., Fanga M., Hanb X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone. Energy and building. 50 (2012) : 196-203.

Hui S., Hongwei T. and Athanasios T. The effect of reflective coatings on building surface temperatures,indoor environment and energy consumption—An experimental study. Energy and Buildings 43 (2011) : 573–580.

Nagamedianova Z., Ramírez-García R.E., Flores-Arévalo S.V., Miki-Yoshida M. and Arroyo-Ortega M. Solar heat reflective glass by nanostructured sol–gel multilayer coatings. Optical Materials 33 (2011) : 1999–2005.

Noh-Pat F., Xamán J., Álvarez G., Chávez Y. and Arce J. Thermal analysis for a double glazing unit with and without a solar control film (SnS–Cu_xS) for using in hot climates. Energy and Buildings 43 (2011) : 704–712.

Miguel H., Fernando D.A. and Juan A.H. Analytical solution to the one-dimensional non-uniform absorption of solar radiation in uncoated and coated single glass panes. Energy and Buildings 47 (2012) : 561–571

Synnefa A., Santamouris M. and Akbari H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. Energy and Buildings 39 (2007) : 1167–1174.

Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS). Solar Heat Gain Coefficient (G-value) Test Report, Inflector (Asia) Limited 2011

Synnefa A., Santamouris M. and Livada I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. Solar Energy 80 (2006) : 968–981.

The National Fenestration Rating Council (NFRC). The Facts about Solar Heat Gain & Windows. 2005.

Xiaoxin W., Chris K., Ray O. and James M. Dynamic thermal simulation of a retail shed with solar reflective coatings. Applied Thermal Engineering 28 (2008) : 1066–1073.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางการบันทึกผลอุณหภูมิของกระจกทั้ง 5 ชนิดจากกล่องทดลอง

ตาราง ก.1

Time	กระจกใส 3 มม.					
(min)	Inlet (°C)	Inbox(°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT(°C)
0.00	28.79	27.53	27.4	27.57	27.05	-1.74
0.02	28.3	30.02	34.74	27.48	28.86	0.56
0.04	28.02	33.47	43.65	27.44	31.59	3.57
0.06	28	35.69	49.53	27.41	33.61	5.61
0.08	27.95	37.11	53.07	27.37	34.87	6.92
0.10	27.95	37.95	55.2	27.34	35.7	7.75
0.12	27.97	38.51	56.76	27.32	36.3	8.33
0.14	27.95	38.93	57.77	27.3	36.65	8.7
0.16	27.97	39.22	58.55	27.28	36.98	9.01
0.18	27.97	39.41	59.05	27.25	37.25	9.28
0.20	28	39.63	59.43	27.23	37.46	9.46
0.22	27.95	39.65	59.72	27.21	37.56	9.61
0.24	27.97	39.82	60.02	27.19	37.66	9.69
0.26	28	39.93	60.28	27.16	37.76	9.76
0.28	28.02	39.95	60.41	27.16	37.87	9.85
0.30	28	40.04	60.41	27.12	37.94	9.94
0.32	27.97	40.08	60.5	27.09	37.94	9.97
0.34	27.95	40.06	60.45	27.07	38.05	10.1
0.36	27.84	40.06	60.37	27.05	38.02	10.18
0.38	27.92	40.17	60.54	27.05	38.12	10.2
0.40	27.89	40.12	60.45	27.03	38.15	10.26
0.42	27.89	40.15	60.45	27.03	38.17	10.28
0.44	27.89	40.23	60.45	27	38.2	10.31
0.46	27.89	40.32	60.41	27	38.23	10.34
0.48	27.95	40.3	60.45	26.98	38.28	10.33
0.50	27.87	40.32	60.58	26.98	38.33	10.46
0.52	27.89	40.36	60.5	26.98	38.33	10.44
0.54	27.84	40.36	60.45	26.98	38.33	10.49
0.56	27.82	40.34	60.5	26.98	38.38	10.56
0.58	27.82	40.39	60.37	27	38.38	10.56
1.00	27.79	40.41	60.28	27	38.38	10.59
1.02	27.79	40.43	60.24	27	38.41	10.62
1.04	27.79	40.39	60.37	27	38.41	10.62
1.06	27.72	40.34	60.28	27	38.38	10.66
1.08	27.74	40.3	60.24	26.98	38.33	10.59
1.10	27.77	40.39	60.24	26.94	38.35	10.58
1.12	27.79	40.39	60.32	26.91	38.41	10.62
1.14	27.72	40.52	60.28	26.89	38.46	10.74
1.16	27.79	40.54	60.41	26.87	38.46	10.67
1.18	27.69	40.49	60.37	26.85	38.48	10.79
1.20	27.72	40.49	60.32	26.85	38.51	10.79
1.22	27.72	40.45	60.28	26.82	38.56	10.84
1.24	27.82	40.43	60.24	26.82	38.54	10.72
1.26	27.82	40.45	60.19	26.82	38.48	10.66
1.28	27.82	40.52	60.28	26.82	38.54	10.72
1.30	27.84	40.58	60.58	26.82	38.59	10.75

ตาราง ก.2

Time	กระจกใส 3 มม. ติดฟิล์ม					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	26.95	26.19	26.36	25.92	27.34	0.39
0.02	26.67	27.69	30.15	26.01	29.24	2.57
0.04	26.6	30	35.03	26.1	31.04	4.44
0.06	26.67	31.92	38.69	26.17	32.39	5.72
0.08	26.7	33.27	41.35	26.24	33.37	6.67
0.10	26.75	34.27	43.17	26.3	33.97	7.22
0.12	26.78	34.87	44.37	26.37	34.33	7.55
0.14	26.83	35.27	45.23	26.44	34.72	7.89
0.16	26.83	35.6	45.89	26.48	34.94	8.11
0.18	26.88	35.94	46.27	26.53	35.09	8.21
0.20	26.93	36.06	46.58	26.57	35.14	8.21
0.22	26.9	36.18	46.81	26.6	35.28	8.38
0.24	26.95	36.26	46.97	26.6	35.38	8.43
0.26	26.95	36.31	47.03	26.6	35.43	8.48
0.28	26.95	36.31	47.13	26.6	35.48	8.53
0.30	27	36.41	47.35	26.62	35.55	8.55
0.32	27.03	36.49	47.38	26.64	35.6	8.57
0.34	27.11	36.55	47.48	26.64	35.58	8.47
0.36	27.05	36.55	47.68	26.62	35.58	8.53
0.38	27.16	36.57	47.55	26.6	35.55	8.39
0.40	27.13	36.55	47.61	26.55	35.63	8.5
0.42	27.13	36.61	47.58	26.53	35.8	8.67
0.44	27.11	36.75	47.74	26.48	35.88	8.77
0.46	27.05	36.77	47.71	26.44	35.85	8.8
0.48	27.11	36.81	47.84	26.42	35.88	8.77
0.50	27.05	36.77	47.71	26.39	35.95	8.9
0.52	27.05	36.81	47.64	26.37	35.9	8.85
0.54	27	36.75	47.71	26.35	35.9	8.9
0.56	27.03	36.77	47.74	26.33	35.93	8.9
0.58	27.05	36.85	47.81	26.33	35.95	8.9
1.00	27.11	36.81	47.87	26.33	35.95	8.84
1.02	27.05	36.85	47.94	26.3	36	8.95
1.04	27.05	36.89	47.97	26.3	35.97	8.92
1.06	27	36.91	48	26.3	36.02	9.02
1.08	27.05	36.93	48.03	26.3	36.1	9.05
1.10	27.03	36.89	47.94	26.3	36.07	9.04
1.12	27.05	36.95	48.03	26.3	36	8.95
1.14	27.05	36.93	47.97	26.3	36.02	8.97
1.16	27.08	36.89	48	26.3	36.02	8.94
1.18	27.05	36.93	47.87	26.3	36.07	9.02
1.20	27.08	36.91	47.87	26.3	36.05	8.97
1.22	27.11	36.87	47.9	26.33	36.05	8.94
1.24	27.08	36.91	47.94	26.33	36.02	8.94
1.26	27.08	36.85	47.9	26.33	35.95	8.87
1.28	27.05	36.77	47.81	26.33	36.05	9
1.30	27.05	36.79	47.81	26.35	36.07	9.02

ตาราง ก.3

Time	กระจกใส 3 มม. ทาสารเคลือบกระจกกันความร้อน					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	surface(°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	27.21	27.59	28.26	26.01	32.42	5.21
0.02	27.23	28.53	31.76	26.08	33.44	6.21
0.04	27.23	29.88	35.98	26.15	34.14	6.91
0.06	27.26	31.5	39.5	26.21	34.67	7.41
0.08	27.28	32.95	42.22	26.26	35.01	7.73
0.10	27.33	34.12	44.16	26.3	35.26	7.93
0.12	27.36	34.93	45.67	26.35	35.41	8.05
0.14	27.41	35.42	46.68	26.37	35.58	8.17
0.16	27.46	35.85	47.48	26.35	35.68	8.22
0.18	27.49	36.12	48.03	26.28	35.73	8.24
0.20	27.54	36.31	48.3	26.24	35.8	8.26
0.22	27.56	36.49	48.53	26.19	35.85	8.29
0.24	27.59	36.57	48.76	26.17	35.93	8.34
0.26	27.61	36.63	48.89	26.17	36.05	8.44
0.28	27.64	36.59	48.96	26.15	36.05	8.41
0.30	27.66	36.69	49.03	26.12	36.15	8.49
0.32	27.66	36.73	49.16	26.12	36.17	8.51
0.34	27.69	36.85	49.16	26.12	36.2	8.51
0.36	27.72	36.95	49.3	26.1	36.25	8.53
0.38	27.74	36.93	49.33	26.1	36.35	8.61
0.40	27.77	37.01	49.33	26.1	36.35	8.58
0.42	27.79	36.97	49.4	26.1	36.32	8.53
0.44	27.82	37.03	49.33	26.08	36.35	8.53
0.46	27.84	37.09	49.46	26.08	36.37	8.53
0.48	27.84	37.07	49.53	26.08	36.42	8.58
0.50	27.84	37.13	49.63	26.08	36.47	8.63
0.52	27.84	37.15	49.6	26.08	36.47	8.63
0.54	27.84	37.21	49.67	26.08	36.5	8.66
0.56	27.84	37.23	49.6	26.08	36.47	8.63
0.58	27.84	37.29	49.63	26.08	36.45	8.61
1.00	27.84	37.31	49.67	26.08	36.5	8.66
1.02	27.82	37.29	49.73	26.1	36.52	8.7
1.04	27.84	37.29	49.67	26.1	36.55	8.71
1.06	27.84	37.33	49.67	26.1	36.65	8.81
1.08	27.82	37.35	49.7	26.1	36.6	8.78
1.10	27.84	37.41	49.63	26.1	36.55	8.71
1.12	27.84	37.43	49.77	26.1	36.57	8.73
1.14	27.84	37.41	49.73	26.1	36.57	8.73
1.16	27.87	37.37	49.67	26.1	36.62	8.75
1.18	27.84	37.33	49.7	26.12	36.72	8.88
1.20	27.84	37.35	49.73	26.1	36.62	8.78
1.22	27.87	37.43	49.77	26.1	36.65	8.78
1.24	27.87	37.35	49.77	26.1	36.65	8.78
1.26	27.87	37.39	49.7	26.1	36.65	8.78
1.28	27.89	37.29	49.84	26.1	36.67	8.78
1.30	27.89	37.31	49.87	26.1	36.62	8.73

ตาราง ก.4

Time	กระจกเขียว 6 มม.					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	surface(°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	27.60	34.15	33.99	27.78	31.67	4.07
0.02	27.60	34.82	35.00	27.80	32.39	4.80
0.04	27.60	35.51	35.85	27.80	33.01	5.41
0.06	27.67	35.92	36.51	27.82	33.51	5.84
0.08	27.65	35.92	36.93	27.85	33.90	6.25
0.10	27.70	36.28	37.21	27.89	34.19	6.49
0.12	27.72	36.47	37.87	27.91	34.53	6.81
0.14	27.72	36.61	38.22	27.94	34.82	7.10
0.16	27.72	36.80	38.47	27.94	34.94	7.22
0.18	27.77	36.83	38.78	27.96	35.09	7.32
0.20	27.77	36.86	39.05	27.98	35.28	7.51
0.22	27.74	36.94	39.16	27.98	35.43	7.69
0.24	27.72	37.05	39.33	27.98	35.48	7.76
0.26	27.70	37.02	39.39	27.98	35.46	7.76
0.28	27.72	37.16	39.41	27.98	35.55	7.83
0.30	27.72	37.28	39.41	27.98	35.60	7.88
0.32	27.70	37.25	39.48	27.96	35.60	7.91
0.34	27.70	37.30	39.48	27.96	35.63	7.93
0.36	27.70	37.25	39.50	27.96	35.68	7.98
0.38	27.72	37.28	39.52	27.94	35.63	7.91
0.40	27.77	37.33	39.61	27.94	35.83	8.06
0.42	27.72	37.33	39.63	27.94	35.75	8.03
0.44	27.65	37.33	39.67	27.91	35.73	8.08
0.46	27.67	37.25	39.74	27.91	35.80	8.13
0.48	27.65	37.28	39.69	27.91	35.83	8.18
0.50	27.62	37.30	39.78	27.89	35.83	8.20
0.52	27.62	37.30	39.76	27.89	35.80	8.18
0.54	27.57	37.30	39.71	27.87	35.80	8.23
0.56	27.53	37.39	39.67	27.85	35.83	8.30
0.58	27.50	37.28	39.61	27.85	35.75	8.25
1.00	27.50	37.19	39.67	27.82	35.80	8.30
1.02	27.50	37.22	39.69	27.82	35.90	8.40
1.04	27.53	37.36	39.67	27.80	35.95	8.42
1.06	27.48	37.33	39.74	27.80	35.83	8.35
1.08	27.48	37.33	39.74	27.80	35.88	8.40
1.10	27.48	37.22	39.80	27.80	35.93	8.45
1.12	27.48	37.39	39.82	27.78	35.90	8.42
1.14	27.50	37.36	39.84	27.78	35.93	8.42
1.16	27.48	37.39	39.80	27.75	36.00	8.52
1.18	27.48	37.33	39.84	27.75	36.00	8.52
1.20	27.50	37.44	39.86	27.75	36.07	8.57
1.22	27.48	37.47	39.91	27.75	36.02	8.55
1.24	27.53	37.30	39.89	27.75	36.12	8.60
1.26	27.53	37.39	39.89	27.75	36.05	8.52
1.28	27.55	37.50	39.91	27.73	36.02	8.47
1.30	27.60	37.53	39.91	27.73	36.05	8.45

ตาราง ก.5

Time	กระจกเขียว 6 มม. ติดฟิล์ม					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	27.82	30.29	29.25	27.30	28.40	0.58
0.02	27.55	30.89	30.59	27.37	29.24	1.69
0.04	27.43	31.46	31.78	27.46	30.09	2.66
0.06	27.33	31.99	32.76	27.50	30.73	3.40
0.08	27.26	32.44	33.62	27.55	31.34	4.08
0.10	27.21	32.84	34.31	27.57	31.81	4.60
0.12	27.19	33.10	34.89	27.59	32.04	4.85
0.14	27.16	33.37	35.37	27.62	32.44	5.28
0.16	27.16	33.61	35.77	27.62	32.63	5.47
0.18	27.16	33.83	36.10	27.62	32.82	5.66
0.20	27.16	34.09	36.31	27.64	33.01	5.85
0.22	27.14	34.15	36.57	27.64	33.13	5.99
0.24	27.14	34.34	36.73	27.62	33.20	6.06
0.26	27.14	34.20	36.81	27.62	33.30	6.16
0.28	27.16	34.39	36.93	27.62	33.44	6.28
0.30	27.16	34.36	37.01	27.62	33.44	6.28
0.32	27.14	34.23	37.09	27.59	33.51	6.37
0.34	27.14	34.47	37.15	27.62	33.58	6.45
0.36	27.16	34.74	37.21	27.62	33.68	6.52
0.38	27.16	34.74	37.27	27.62	33.70	6.54
0.40	27.19	34.63	37.29	27.62	33.70	6.52
0.42	27.19	34.77	37.31	27.64	33.73	6.54
0.44	27.19	34.66	37.37	27.64	33.82	6.64
0.46	27.19	34.77	37.45	27.64	33.85	6.66
0.48	27.19	34.74	37.47	27.64	33.87	6.69
0.50	27.19	34.66	37.45	27.64	33.87	6.69
0.52	27.19	34.74	37.45	27.64	33.87	6.69
0.54	27.19	34.74	37.49	27.62	33.92	6.73
0.56	27.21	34.85	37.51	27.64	33.94	6.74
0.58	27.21	34.85	37.53	27.64	33.99	6.78
1.00	27.23	34.93	37.53	27.66	33.99	6.76
1.02	27.23	34.82	37.55	27.66	33.94	6.71
1.04	27.23	34.99	37.57	27.66	33.99	6.76
1.06	27.26	34.99	37.57	27.66	34.07	6.81
1.08	27.26	34.99	37.59	27.66	34.09	6.83
1.10	27.28	34.99	37.61	27.69	34.11	6.83
1.12	27.28	34.93	37.63	27.69	34.04	6.76
1.14	27.31	34.93	37.65	27.71	34.11	6.81
1.16	27.33	34.88	37.59	27.71	34.09	6.76
1.18	27.33	35.01	37.61	27.71	34.16	6.83
1.20	27.31	34.91	37.59	27.71	34.09	6.78
1.22	27.31	34.91	37.59	27.71	34.11	6.81
1.24	27.28	34.93	37.61	27.71	34.14	6.86
1.26	27.28	35.01	37.61	27.73	34.19	6.90
1.28	27.31	35.01	37.67	27.73	34.16	6.85
1.30	27.33	34.80	37.71	27.73	34.19	6.86

ตาราง ก.6

Time	กระจกเขียว6 มม. ทาสารเคลือบกระจกกันความร้อน					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	27.79	30.24	27.76	27.41	27.43	-0.36
0.02	27.62	30.70	28.64	27.62	28.58	0.96
0.04	27.50	31.04	29.90	27.69	29.31	1.81
0.06	27.48	31.62	31.09	27.78	30.25	2.77
0.08	27.48	32.20	32.21	27.85	31.11	3.63
0.10	27.50	32.89	33.20	27.89	31.92	4.42
0.12	27.55	33.50	34.08	27.94	32.56	5.01
0.14	27.57	33.91	34.79	27.98	33.03	5.46
0.16	27.60	34.23	35.38	28.03	33.44	5.84
0.18	27.65	34.63	35.87	28.07	33.80	6.15
0.20	27.70	34.88	36.27	28.10	34.09	6.39
0.22	27.70	35.10	36.59	28.14	34.28	6.59
0.24	27.70	35.31	36.85	28.14	34.50	6.81
0.26	27.67	35.40	37.03	28.17	34.57	6.90
0.28	27.65	35.51	37.19	28.17	34.79	7.15
0.30	27.60	35.64	37.31	28.17	34.82	7.22
0.32	27.60	35.56	37.37	28.17	34.82	7.22
0.34	27.60	35.53	37.45	28.14	34.92	7.32
0.36	27.60	35.53	37.53	28.14	34.94	7.34
0.38	27.57	35.59	37.55	28.14	34.99	7.42
0.40	27.55	35.67	37.59	28.14	34.96	7.41
0.42	27.57	35.72	37.63	28.14	34.94	7.37
0.44	27.55	35.78	37.69	28.14	35.01	7.46
0.46	27.55	35.89	37.77	28.14	35.14	7.59
0.48	27.57	35.97	37.79	28.17	35.16	7.59
0.50	27.60	36.08	37.87	28.19	35.31	7.71
0.52	27.57	36.08	37.89	28.21	35.36	7.78
0.54	27.57	36.14	37.95	28.21	35.36	7.78
0.56	27.60	36.28	38.06	28.23	35.46	7.86
0.58	27.57	36.22	38.08	28.23	35.48	7.91
1.00	27.57	36.30	38.08	28.23	35.41	7.83
1.02	27.55	36.30	38.08	28.23	35.41	7.86
1.04	27.55	36.28	38.10	28.23	35.48	7.93
1.06	27.55	36.22	38.10	28.23	35.43	7.88
1.08	27.55	36.36	38.12	28.26	35.53	7.98
1.10	27.57	36.44	38.12	28.26	35.53	7.96
1.12	27.57	36.58	38.16	28.26	35.55	7.98
1.14	27.57	36.55	38.18	28.26	35.55	7.98
1.16	27.57	36.58	38.22	28.28	35.68	8.10
1.18	27.55	36.64	38.20	28.26	35.63	8.08
1.20	27.55	36.52	38.20	28.26	35.80	8.25
1.22	27.60	36.58	38.24	28.28	35.73	8.13
1.24	27.60	36.77	38.28	28.30	35.83	8.23
1.26	27.60	36.66	38.30	28.30	35.83	8.23
1.28	27.62	36.64	38.32	28.30	35.85	8.23
1.30	27.60	36.77	38.32	28.30	35.90	8.30

ตาราง ก.7

Time	กระจกสะท้อนความร้อน					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	29.64	29.56	31.13	29.32	28.98	-0.66
0.02	29.54	29.95	31.98	29.2	29.17	-0.37
0.04	29.41	30.39	33	29.13	29.51	0.10
0.06	29.33	30.87	33.98	29.08	29.9	0.57
0.08	29.31	31.32	34.87	28.99	30.33	1.02
0.10	29.28	31.74	35.63	28.97	30.68	1.40
0.12	29.2	32.06	36.32	28.92	31.02	1.82
0.14	29.18	32.37	36.86	28.85	31.36	2.18
0.16	29.18	32.68	37.45	28.81	31.66	2.48
0.18	29.13	32.94	37.84	28.72	31.89	2.76
0.20	29.07	33.13	38.14	28.67	32.12	3.05
0.22	29.02	33.25	38.41	28.6	32.3	3.28
0.24	28.97	33.37	38.69	28.53	32.46	3.49
0.26	29	33.51	38.86	28.49	32.57	3.57
0.28	29	33.61	39.02	28.39	32.67	3.67
0.30	28.97	33.75	39.22	28.26	32.78	3.81
0.32	28.92	33.78	39.33	28.19	32.82	3.90
0.34	28.87	33.85	39.44	28.19	32.93	4.06
0.36	28.89	33.9	39.52	28.17	32.96	4.07
0.38	28.87	33.87	39.58	28.19	32.98	4.11
0.40	28.84	33.9	39.52	28.14	33.02	4.18
0.42	28.82	33.97	39.61	28.07	33.13	4.31
0.44	28.79	34.04	39.64	28.03	33.15	4.36
0.46	28.69	34.02	39.64	27.96	33.18	4.49
0.48	28.66	33.99	39.61	27.89	33.2	4.54
0.50	28.61	34.07	39.81	27.85	33.18	4.57
0.52	28.59	34.07	39.78	27.8	33.16	4.57
0.54	28.51	34.02	39.69	27.78	33.18	4.67
0.56	28.51	34.04	39.72	27.73	33.16	4.65
0.58	28.48	34.11	39.78	27.69	33.2	4.72
1.00	28.43	34.11	39.83	27.66	33.24	4.81
1.02	28.41	34.11	39.78	27.64	33.22	4.81
1.04	28.38	34.11	39.81	27.59	33.27	4.89
1.06	28.38	34.16	39.81	27.55	33.26	4.88
1.08	28.28	34.16	39.78	27.5	33.31	5.03
1.10	28.25	34.09	39.86	27.46	33.27	5.02
1.12	28.3	34.14	39.83	27.44	33.29	4.99
1.14	28.25	34.14	39.92	27.39	33.27	5.02
1.16	28.23	34.19	39.89	27.37	33.36	5.13
1.18	28.23	34.14	39.92	27.34	33.38	5.15
1.20	28.23	34.21	39.95	27.32	33.33	5.10
1.22	28.15	34.16	39.95	27.28	33.36	5.21
1.24	28.18	34.16	39.81	27.25	33.33	5.15
1.26	28.15	34.21	39.81	27.23	33.4	5.25
1.28	28.15	34.14	39.81	27.21	33.35	5.20
1.30	28.1	34.11	39.83	27.19	33.31	5.21

ตาราง ก.8

Time	กระจกสะท้อนความร้อน ติดฟิล์ม					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	28.99	29.36	29.46	29.06	28.33	-0.66
0.02	28.49	29.74	30.25	29.04	28.38	-0.11
0.04	28.35	30.23	31.2	29.02	28.58	0.23
0.06	28.30	30.71	32.26	28.99	28.85	0.56
0.08	28.22	31.18	33.36	28.99	29.22	1.00
0.10	28.27	31.59	34.37	28.97	29.61	1.34
0.12	28.27	31.92	35.29	28.97	29.99	1.72
0.14	28.30	32.28	36.06	28.97	30.4	2.11
0.16	28.37	32.51	36.72	28.97	30.78	2.41
0.18	28.39	32.7	37.29	28.95	31.06	2.67
0.20	28.35	32.92	37.75	28.95	31.36	3.02
0.22	28.39	33.03	38.14	28.92	31.59	3.20
0.24	28.39	33.2	38.44	28.92	31.82	3.43
0.26	28.35	33.34	38.77	28.9	31.92	3.58
0.28	28.35	33.39	39.02	28.88	32.12	3.78
0.30	28.35	33.49	39.19	28.85	32.28	3.94
0.32	28.32	33.58	39.41	28.85	32.32	4.00
0.34	28.35	33.75	39.52	28.83	32.42	4.08
0.36	28.30	33.82	39.67	28.83	32.46	4.17
0.38	28.27	33.94	39.86	28.81	32.62	4.35
0.40	28.27	33.94	39.95	28.81	32.71	4.44
0.42	28.25	33.97	40	28.78	32.89	4.65
0.44	28.25	34.04	40.09	28.76	32.91	4.67
0.46	28.22	34.09	40.12	28.74	33.02	4.80
0.48	28.22	34.16	40.23	28.74	32.95	4.73
0.50	28.25	34.21	40.31	28.74	33.09	4.85
0.52	28.22	34.26	40.37	28.74	33.07	4.85
0.54	28.25	34.28	40.46	28.72	33.11	4.87
0.56	28.22	34.33	40.54	28.76	33.26	5.04
0.58	28.22	34.31	40.57	28.83	33.27	5.05
1.00	28.20	34.26	40.6	28.88	33.31	5.11
1.02	28.17	34.33	40.6	28.92	33.31	5.14
1.04	28.17	34.36	40.66	28.97	33.35	5.18
1.06	28.12	34.36	40.63	28.99	33.4	5.28
1.08	28.07	34.38	40.57	29.02	33.44	5.37
1.10	28.07	34.43	40.57	29.02	33.33	5.26
1.12	28.07	34.4	40.57	29.02	33.33	5.26
1.14	28.07	34.45	40.6	29.04	33.44	5.37
1.16	28.05	34.45	40.66	29.04	33.35	5.30
1.18	28.05	34.55	40.68	29.06	33.46	5.41
1.20	28.07	34.48	40.7	29.04	33.53	5.46
1.22	28.07	34.57	40.73	29.04	33.53	5.46
1.24	28.02	34.53	40.77	29.02	33.62	5.60
1.26	28.02	34.55	40.74	29.02	33.55	5.53
1.28	28.02	34.53	40.74	29.02	33.62	5.60
1.30	28.00	34.53	40.73	28.99	33.66	5.66

ตาราง ก.9

Time	กระจกสะท้อนความร้อน	ทาสารเคลือบกระจกกันความร้อน				
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	27.50	27.05	27.7	27.66	27.39	-0.11
0.02	27.21	27.13	27.6	27.71	27.5	0.29
0.04	27.14	27.36	28.5	27.8	27.79	0.65
0.06	27.09	27.74	29.48	27.89	28.22	1.13
0.08	27.11	28.26	30.5	27.96	28.7	1.59
0.10	27.11	28.78	31.45	28.03	29.1	1.99
0.12	27.16	29.25	32.26	28.07	29.51	2.35
0.14	27.14	29.68	32.98	28.12	29.88	2.74
0.16	27.14	30.04	33.52	28.14	30.18	3.04
0.18	27.16	30.31	34.01	28.17	30.37	3.21
0.20	27.19	30.52	34.37	28.19	30.57	3.38
0.22	27.21	30.68	34.71	28.21	30.73	3.52
0.24	27.23	30.83	34.95	28.21	30.92	3.69
0.26	27.26	31.01	35.26	28.23	31.06	3.80
0.28	27.33	31.11	35.47	28.23	31.15	3.82
0.30	27.36	31.16	35.61	28.23	31.22	3.86
0.32	27.36	31.29	35.66	28.23	31.32	3.96
0.34	27.36	31.34	35.76	28.23	31.38	4.02
0.36	27.33	31.45	35.87	28.23	31.43	4.10
0.38	27.38	31.52	35.95	28.23	31.52	4.14
0.40	27.43	31.5	36.06	28.23	31.52	4.09
0.42	27.40	31.53	36.14	28.23	31.62	4.22
0.44	27.31	31.62	36.19	28.23	31.62	4.31
0.46	27.33	31.64	36.27	28.23	31.69	4.36
0.48	27.31	31.67	36.35	28.23	31.71	4.40
0.50	27.33	31.71	36.32	28.23	31.78	4.45
0.52	27.33	31.71	36.32	28.21	31.74	4.41
0.54	27.31	31.73	36.38	28.21	31.81	4.50
0.56	27.33	31.73	36.46	28.21	31.78	4.45
0.58	27.28	31.71	36.43	28.21	31.78	4.50
1.00	27.28	31.71	36.46	28.19	31.81	4.53
1.02	27.28	31.76	36.46	28.19	31.81	4.53
1.04	27.28	31.76	36.48	28.19	31.85	4.57
1.06	27.26	31.82	36.54	28.19	31.9	4.64
1.08	27.26	31.82	36.59	28.19	31.9	4.64
1.10	27.23	31.89	36.64	28.17	31.92	4.69
1.12	27.21	31.94	36.56	28.17	31.92	4.71
1.14	27.23	31.92	36.54	28.17	31.92	4.69
1.16	27.23	31.94	36.64	28.17	31.99	4.76
1.18	27.26	31.94	36.67	28.14	31.97	4.71
1.20	27.26	31.96	36.7	28.14	31.99	4.73
1.22	27.28	31.97	36.67	28.14	32.02	4.74
1.24	27.28	31.99	36.67	28.14	32.02	4.74
1.26	27.31	32.06	36.75	28.12	32.04	4.73
1.28	27.28	32.13	36.75	28.14	32.02	4.74
1.30	27.28	32.2	36.83	28.12	32.06	4.78

ตาราง ก.10

Time	กระจกอินซูเลท					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	28.02	27.96	28.16	26.01	27.48	-0.54
0.02	27.82	28.88	30.78	26.08	28.31	0.49
0.04	27.61	30.38	35.21	26.19	29.58	1.97
0.06	27.54	31.46	38.27	26.28	30.48	2.94
0.08	27.49	32.17	40.23	26.35	31.15	3.67
0.10	27.54	32.73	41.46	26.44	31.71	4.17
0.12	27.54	33.26	42.31	26.48	32.16	4.62
0.14	27.49	33.58	42.84	26.53	32.46	4.98
0.16	27.54	33.86	43.17	26.55	32.77	5.23
0.18	27.56	34.21	43.71	26.57	33.08	5.52
0.20	27.54	34.48	44.01	26.60	33.34	5.81
0.22	27.54	34.64	44.37	26.60	33.56	6.02
0.24	27.74	34.83	44.80	26.64	33.90	6.15
0.26	27.72	35.14	45.14	26.66	34.07	6.35
0.28	27.74	35.29	45.48	26.69	34.28	6.54
0.30	27.64	35.44	45.76	26.69	34.48	6.84
0.32	27.61	35.52	45.89	26.69	34.55	6.94
0.34	27.64	35.54	46.17	26.66	34.65	7.01
0.36	27.59	35.67	46.36	26.66	34.77	7.18
0.38	27.66	35.92	46.65	26.64	34.96	7.30
0.40	27.61	36.06	46.84	26.64	35.06	7.45
0.42	27.61	36.14	46.97	26.64	35.16	7.55
0.44	27.56	36.08	47.06	26.62	35.23	7.67
0.46	27.56	36.12	47.22	26.62	35.28	7.72
0.48	27.51	36.27	47.16	26.62	35.41	7.89
0.50	27.56	36.35	47.29	26.60	35.38	7.82
0.52	27.51	36.43	47.45	26.57	35.51	7.99
0.54	27.46	36.51	47.71	26.57	35.51	8.04
0.56	27.54	36.49	47.71	26.55	35.55	8.02
0.58	27.49	36.51	47.87	26.53	35.60	8.12
1.00	27.49	36.59	47.71	26.53	35.65	8.17
1.02	27.46	36.53	47.90	26.44	35.65	8.19
1.04	27.44	36.61	47.94	26.37	35.73	8.29
1.06	27.41	36.75	48.10	26.28	35.83	8.42
1.08	27.41	36.67	48.17	26.21	35.70	8.29
1.10	27.46	36.73	48.20	26.17	35.78	8.31
1.12	27.44	36.85	48.13	26.10	35.88	8.44
1.14	27.31	36.89	48.23	26.06	35.83	8.52
1.16	27.36	36.85	48.26	26.01	35.93	8.57
1.18	27.39	36.87	48.26	25.99	35.93	8.54
1.20	27.36	36.93	48.23	25.97	35.95	8.59
1.22	27.36	36.91	48.26	25.92	35.93	8.57
1.24	27.33	36.91	48.13	25.90	35.95	8.62
1.26	27.31	37.03	48.33	25.90	36.07	8.76
1.28	27.33	36.99	48.56	25.88	36.00	8.67
1.30	27.33	36.89	48.69	25.88	35.97	8.64

ตาราง ก.11

Time	กระจกอินซูเลท ติดฟิล์ม					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	29.90	28.78	29.16	28.44	28.79	-1.11
0.02	29.62	29.29	30.93	28.39	29.36	-0.26
0.04	29.46	29.92	33.41	28.44	30.07	0.61
0.06	29.36	30.42	35.31	28.46	30.71	1.35
0.08	29.23	30.87	36.81	28.49	31.18	1.95
0.10	29.18	31.31	38.03	28.46	31.62	2.44
0.12	29.15	31.69	38.99	28.46	31.97	2.82
0.14	29.05	31.98	39.75	28.44	32.37	3.32
0.16	29.10	32.28	40.48	28.42	32.68	3.58
0.18	29.00	32.60	41.09	28.37	33.01	4.01
0.20	28.97	32.98	41.66	28.35	33.34	4.37
0.22	28.97	33.27	42.19	28.26	33.58	4.61
0.24	28.92	33.49	42.57	28.14	33.78	4.86
0.26	28.89	33.68	42.87	28.03	34.07	5.17
0.28	28.92	33.92	43.20	27.94	34.28	5.36
0.30	28.89	34.23	43.61	27.87	34.53	5.63
0.32	28.87	34.36	43.92	27.80	34.62	5.76
0.34	28.82	34.55	44.25	27.75	34.84	6.03
0.36	28.77	34.70	44.49	27.71	34.99	6.22
0.38	28.69	34.91	44.68	27.64	35.18	6.50
0.40	28.71	34.93	44.71	27.59	35.18	6.47
0.42	28.64	35.12	44.92	27.55	35.33	6.70
0.44	28.69	35.23	45.08	27.50	35.53	6.84
0.46	28.64	35.31	45.20	27.46	35.51	6.87
0.48	28.61	35.48	45.39	27.44	35.68	7.07
0.50	28.61	35.56	45.51	27.39	35.70	7.09
0.52	28.59	35.60	45.64	27.37	35.80	7.21
0.54	28.56	35.75	45.89	27.32	35.88	7.32
0.56	28.56	35.83	45.95	27.30	35.93	7.37
0.58	28.53	35.79	45.92	27.28	35.95	7.42
1.00	28.53	35.85	46.04	27.25	36.00	7.47
1.02	28.46	35.94	46.11	27.21	36.05	7.59
1.04	28.46	36.04	46.11	27.16	36.15	7.69
1.06	28.41	36.06	46.08	27.14	36.12	7.72
1.08	28.43	36.10	46.11	27.12	36.17	7.74
1.10	28.43	36.10	46.17	27.09	36.20	7.77
1.12	28.41	36.16	46.23	27.07	36.25	7.84
1.14	28.35	36.22	46.30	27.05	36.22	7.87
1.16	28.33	36.24	46.42	27.03	36.30	7.97
1.18	28.33	36.31	46.36	27.03	36.30	7.97
1.20	28.33	36.29	46.42	27.00	36.37	8.04
1.22	28.28	36.22	46.46	26.96	36.32	8.05
1.24	28.28	36.39	46.55	26.94	36.37	8.10
1.26	28.25	36.41	46.58	26.91	36.45	8.20
1.28	28.28	36.51	46.61	26.89	36.47	8.20
1.30	28.20	36.41	46.61	26.87	36.45	8.25

ตาราง ก.12

Time	กระจกอินซูเลท ทาสารเคลือบกระจกกันความร้อน					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	27.50	31.49	28.24	28.42	27.77	0.27
0.02	27.50	31.73	28.66	28.37	28.22	0.72
0.04	27.40	31.88	30.23	28.17	28.51	1.11
0.06	27.31	32.02	30.90	27.89	28.86	1.55
0.08	27.23	32.12	32.23	27.64	29.29	2.05
0.10	27.16	32.31	32.35	27.41	29.68	2.51
0.12	26.92	32.47	33.16	27.23	30.07	3.15
0.14	26.44	32.68	33.49	27.05	30.43	4.00
0.16	26.34	32.86	33.79	26.91	30.80	4.46
0.18	26.29	33.02	34.68	26.80	31.06	4.77
0.20	26.29	33.18	35.23	26.69	31.36	5.07
0.22	26.32	33.32	35.60	26.60	31.57	5.26
0.24	26.36	33.37	36.04	26.48	31.78	5.42
0.26	26.41	33.48	36.26	26.42	32.04	5.63
0.28	26.41	33.56	36.37	26.35	32.18	5.77
0.30	26.44	33.75	36.73	26.30	32.28	5.84
0.32	26.41	33.80	36.89	26.24	32.49	6.08
0.34	26.46	33.85	37.11	26.19	32.56	6.10
0.36	26.48	33.93	37.45	26.15	32.75	6.26
0.38	26.48	34.04	37.67	26.12	32.96	6.48
0.40	26.51	34.20	37.73	26.08	33.03	6.53
0.42	26.51	34.23	37.69	26.03	33.18	6.67
0.44	26.48	34.23	37.69	26.01	33.30	6.81
0.46	26.48	34.23	37.69	25.97	33.37	6.88
0.48	26.51	34.31	37.85	25.94	33.34	6.83
0.50	26.56	34.28	38.08	25.92	33.42	6.86
0.52	26.56	34.34	38.12	25.90	33.46	6.91
0.54	26.58	34.31	38.22	25.88	33.66	7.07
0.56	26.61	34.34	38.04	25.85	33.63	7.03
0.58	26.58	34.36	37.93	25.83	33.70	7.12
1.00	26.61	34.45	38.02	25.81	33.75	7.15
1.02	26.65	34.42	38.06	25.81	33.68	7.03
1.04	26.61	34.42	37.91	25.79	33.82	7.22
1.06	26.63	34.42	37.93	25.76	33.92	7.29
1.08	26.61	34.39	37.85	25.76	33.90	7.29
1.10	26.61	34.45	37.75	25.76	33.85	7.24
1.12	26.61	34.53	37.85	25.76	33.92	7.32
1.14	26.63	34.47	37.81	25.74	33.94	7.32
1.16	26.70	34.42	37.81	25.74	33.92	7.22
1.18	26.73	34.45	37.81	25.72	33.97	7.24
1.20	26.70	34.58	37.83	25.72	34.04	7.34
1.22	26.70	34.61	37.85	25.72	34.02	7.32
1.24	26.73	34.55	37.87	25.72	34.07	7.34
1.26	26.73	34.58	37.49	25.72	34.14	7.41
1.28	26.68	34.69	37.43	25.74	34.09	7.41
1.30	26.73	34.63	37.61	25.74	34.14	7.41

ตาราง ก.13

Time	กระจกอินซูเลท Low-E					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	27.80	32.68	27.65	29.15	29.83	2.03
0.02	27.75	32.81	28.82	28.64	30.01	2.26
0.04	27.70	33.02	31.08	28.12	30.20	2.49
0.06	27.63	33.08	32.64	28.00	30.31	2.68
0.08	27.58	33.18	33.72	27.92	30.47	2.89
0.10	27.53	33.29	34.50	27.89	30.56	3.03
0.12	27.53	33.34	35.03	27.87	30.72	3.19
0.14	27.44	33.40	35.47	27.84	30.86	3.42
0.16	27.46	33.53	35.87	27.82	30.97	3.51
0.18	27.41	33.50	36.24	27.82	31.09	3.68
0.20	27.41	33.64	36.56	27.82	31.20	3.79
0.22	27.44	33.69	36.86	27.79	31.30	3.86
0.24	27.51	33.88	37.10	27.77	31.48	3.97
0.26	27.56	34.07	37.37	27.82	31.57	4.01
0.28	27.53	34.26	37.73	27.79	31.66	4.13
0.30	27.48	34.23	38.03	27.84	31.80	4.32
0.32	27.44	34.23	38.27	27.84	31.92	4.48
0.34	27.44	34.31	38.55	27.84	31.97	4.53
0.36	27.39	34.36	38.83	27.82	32.04	4.65
0.38	27.36	34.42	38.97	27.82	32.15	4.79
0.40	27.39	34.55	39.08	27.77	32.13	4.74
0.42	27.32	34.55	39.27	27.79	32.25	4.93
0.44	27.36	34.61	39.52	27.77	32.32	4.95
0.46	27.36	34.69	39.86	27.82	32.29	4.93
0.48	27.29	34.72	39.92	27.82	32.41	5.12
0.50	27.22	34.69	40.09	27.82	32.45	5.23
0.52	27.22	34.61	40.31	27.82	32.45	5.23
0.54	27.27	34.66	40.48	27.84	32.52	5.26
0.56	27.24	34.72	40.68	27.89	32.55	5.30
0.58	27.22	34.77	40.80	27.87	32.67	5.45
1.00	27.17	34.69	40.83	27.84	32.67	5.49
1.02	27.12	34.66	41.00	27.89	32.69	5.56
1.04	27.15	34.72	41.03	27.95	32.74	5.59
1.06	27.15	34.61	41.17	27.92	32.71	5.56
1.08	27.17	34.61	41.32	27.89	32.76	5.59
1.10	27.12	34.72	41.37	27.87	32.78	5.66
1.12	27.20	34.82	41.49	27.92	32.85	5.66
1.14	27.15	34.72	41.66	27.89	32.88	5.73
1.16	27.15	34.77	41.78	27.89	32.90	5.75
1.18	27.15	34.80	41.87	27.97	32.92	5.78
1.20	27.15	34.74	41.87	27.95	32.92	5.78
1.22	27.10	34.91	41.87	27.95	32.92	5.82
1.24	27.00	34.69	41.87	27.95	32.99	5.99
1.26	27.08	34.80	42.01	28.00	32.95	5.87
1.28	27.10	34.85	42.07	28.05	32.97	5.87
1.30	27.05	34.82	42.13	27.97	32.95	5.90

ตาราง ก.14

Time	กระจกอินซูเลท Low-E ติดฟิล์ม					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	28.07	30.26	28.97	27.05	27.97	-0.10
0.02	27.79	30.86	30.73	27.09	28.04	0.25
0.04	27.49	31.38	31.28	27.07	28.27	0.78
0.06	27.44	31.57	31.86	27.05	28.45	1.01
0.08	27.41	31.75	32.42	27.03	28.70	1.29
0.10	27.46	31.91	33.00	26.98	29.01	1.55
0.12	27.44	32.02	33.57	26.98	29.26	1.83
0.14	27.44	32.07	34.06	26.96	29.54	2.10
0.16	27.46	32.09	34.53	26.94	29.77	2.31
0.18	27.49	32.15	34.95	26.94	30.07	2.58
0.20	27.51	32.20	35.34	26.91	30.30	2.78
0.22	27.51	32.20	35.71	26.91	30.50	2.99
0.24	27.54	32.28	36.08	26.91	30.73	3.20
0.26	27.54	32.44	36.40	26.91	30.94	3.41
0.28	27.56	32.49	36.72	26.89	31.15	3.59
0.30	27.54	32.47	37.05	26.89	31.27	3.73
0.32	27.56	32.49	37.32	26.89	31.48	3.91
0.34	27.59	32.49	37.51	26.91	31.62	4.03
0.36	27.59	32.54	37.78	26.91	31.76	4.17
0.38	27.61	32.62	38.08	26.94	31.92	4.31
0.40	27.69	32.78	38.22	26.98	31.99	4.30
0.42	27.74	32.81	38.44	27.07	32.23	4.49
0.44	27.74	32.81	38.58	27.05	32.32	4.58
0.46	27.72	32.84	38.72	27.05	32.39	4.68
0.48	27.74	32.94	38.94	27.05	32.49	4.75
0.50	27.77	32.86	39.05	27.05	32.63	4.86
0.52	27.74	32.94	39.13	27.05	32.63	4.89
0.54	27.69	32.97	39.22	27.05	32.75	5.06
0.56	27.69	33.00	39.36	27.03	32.82	5.13
0.58	27.74	33.08	39.44	27.05	32.87	5.13
1.00	27.79	33.05	39.55	27.05	32.92	5.12
1.02	27.74	33.08	39.64	27.05	33.01	5.27
1.04	27.77	33.08	39.69	27.05	33.01	5.24
1.06	27.84	33.08	39.75	27.05	33.08	5.24
1.08	27.82	33.08	39.86	27.05	33.20	5.38
1.10	27.82	33.18	39.92	27.07	33.22	5.41
1.12	27.77	33.29	39.92	27.07	33.25	5.48
1.14	27.77	33.34	40.03	27.07	33.25	5.48
1.16	27.82	33.40	40.17	27.07	33.30	5.48
1.18	27.79	33.40	40.17	27.07	33.37	5.58
1.20	27.82	33.50	40.17	27.09	33.39	5.57
1.22	27.79	33.53	40.17	27.09	33.44	5.65
1.24	27.79	33.51	40.26	27.09	33.46	5.67
1.26	27.82	33.53	40.29	27.09	33.44	5.62
1.28	27.79	33.53	40.29	27.09	33.51	5.72
1.30	27.79	33.53	40.29	27.09	33.46	5.67

ตาราง ก.15

Time	กระจกอินซูเลท Low-E ทาสารเคลือบกระจกกันความร้อน					
(min)	Inlet (°C)	Inbox (°C)	Surface (°C)	Surround (°C)	Outlet (°C)	ΔT (°C)
0.00	27.34	30.47	28.07	28.90	28.29	0.94
0.02	27.37	30.58	28.12	28.81	28.24	0.88
0.04	27.41	31.52	29.00	28.65	28.15	0.74
0.06	27.48	31.28	30.09	28.51	28.06	0.58
0.08	27.53	31.20	30.73	28.46	28.42	0.90
0.10	27.55	31.28	31.23	28.46	28.56	1.01
0.12	27.57	31.38	31.62	28.44	28.65	1.08
0.14	27.62	31.46	31.92	28.42	28.83	1.21
0.16	27.62	31.54	32.24	28.39	28.97	1.35
0.18	27.64	31.52	32.49	28.35	29.26	1.62
0.20	27.64	31.60	32.73	28.33	29.47	1.83
0.22	27.64	31.67	32.96	28.28	29.61	1.97
0.24	27.64	31.67	33.13	28.23	29.74	2.10
0.26	27.66	31.73	33.31	28.21	29.88	2.22
0.28	27.64	31.80	33.47	28.17	30.00	2.36
0.30	27.64	31.88	33.62	28.14	30.11	2.47
0.32	27.64	31.94	33.81	28.10	30.27	2.63
0.34	27.62	31.96	33.90	28.05	30.41	2.79
0.36	27.55	32.02	34.01	28.03	30.53	2.98
0.38	27.44	32.04	34.12	28.01	30.60	3.16
0.40	27.37	31.99	34.14	27.98	30.69	3.32
0.42	27.32	32.09	34.21	27.96	30.80	3.48
0.44	27.25	32.09	34.25	27.94	30.97	3.71
0.46	27.23	32.09	34.29	27.91	31.04	3.80
0.48	27.19	32.07	34.34	27.87	31.15	3.97
0.50	27.16	32.12	34.42	27.85	31.22	4.06
0.52	27.16	32.12	34.42	27.85	31.32	4.15
0.54	27.14	32.17	34.49	27.82	31.38	4.24
0.56	27.12	32.17	34.55	27.80	31.41	4.29
0.58	27.09	32.28	34.64	27.78	31.48	4.38
1.00	27.07	32.23	34.59	27.78	31.52	4.45
1.02	27.07	32.31	34.59	27.75	31.55	4.48
1.04	27.09	32.31	34.61	27.75	31.59	4.50
1.06	27.19	32.36	34.66	27.75	31.62	4.43
1.08	27.25	32.39	34.72	27.73	31.64	4.39
1.10	27.32	32.44	34.76	27.73	31.67	4.34
1.12	27.39	32.52	34.78	27.73	31.69	4.30
1.14	27.44	32.57	34.78	27.73	31.69	4.25
1.16	27.46	32.57	34.83	27.73	31.69	4.23
1.18	27.50	32.57	34.87	27.73	31.74	4.23
1.20	27.53	32.54	34.95	27.73	31.74	4.21
1.22	27.55	32.68	34.98	27.73	31.83	4.28
1.24	27.57	32.62	35.04	27.73	31.85	4.28
1.26	27.59	32.68	35.08	27.73	31.90	4.31
1.28	27.62	32.70	35.02	27.75	31.97	4.35
1.30	27.64	32.70	34.91	27.75	31.92	4.28

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ระยะเวลาคืนทุน (payback period - PB) **อัตราการตอบแทนภายใน** (Internal rate of return - IRR) **และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี** (Life-cycle cost analysis - LCC

ตาราง ข.1 บ้านพักอาศัยสองชั้น

กระจกใส 3 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)	180° (kWh/m^2.y)	225° (kWh/m^2.y)	270° (kWh/m^2.y)	315° (kWh/m^2.y)	average (kWh/m^2.y)
no coat	109.29	101.04	96.34	94.65	92.74	100.73	108.49	110.29	101.70
film	94.65	89.20	85.32	83.88	81.86	88.06	93.36	95.12	88.93
coat	92.98	87.81	84.05	82.62	80.59	86.60	91.62	93.37	87.45

กระจกเขียว 6 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)	180° (kWh/m^2.y)	225° (kWh/m^2.y)	270° (kWh/m^2.y)	315° (kWh/m^2.y)	average (kWh/m^2.y)
no coat	93.24	88.03	84.24	82.82	80.80	86.85	91.91	93.65	87.69
film	79.27	76.40	73.49	72.38	70.22	74.63	77.58	79.14	75.39
coat	89.88	85.27	81.69	80.32	78.27	83.92	88.46	90.15	84.74

กระจกสะท้อนความร้อน	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)	180° (kWh/m^2.y)	225° (kWh/m^2.y)	270° (kWh/m^2.y)	315° (kWh/m^2.y)	average (kWh/m^2.y)
no coat	71.61	69.83	67.58	66.67	64.56	68.12	70.03	71.43	68.73
film	74.01	71.88	69.40	68.47	66.41	70.28	72.49	73.90	70.85
coat	67.67	66.54	64.62	63.75	61.56	64.65	66.06	67.43	65.28

กระจกอินซูเลท	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)	180° (kWh/m^2.y)	225° (kWh/m^2.y)	270° (kWh/m^2.y)	315° (kWh/m^2.y)	average (kWh/m^2.y)
no coat	105.80	98.25	93.72	92.29	90.86	98.58	105.54	107.03	99.01
film	98.52	92.27	88.18	86.86	85.33	92.18	97.98	99.44	92.59
coat	92.20	87.07	83.35	82.15	80.52	86.62	91.44	92.88	87.03

กระจกอินซูเลท Low-E	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)	180° (kWh/m^2.y)	225° (kWh/m^2.y)	270° (kWh/m^2.y)	315° (kWh/m^2.y)	average (kWh/m^2.y)
no coat	83.61	79.90	76.76	75.77	74.21	79.33	82.83	84.10	79.57
film	81.78	78.38	75.27	74.41	72.80	77.71	80.95	82.21	77.94
coat	71.24	69.43	67.18	66.43	64.52	68.12	69.97	71.26	68.52

ตาราง ข.2 บ้านพักอาศัยสองชั้น

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	50,757	-	-	8.61	437,156	437,156	-	-
film	134,316	44,386	6,371	21.1	8.61	382,287	516,603	-79,447	4.74
coat	156,000	43,649	7,108	21.9	8.61	375,933	531,933	-94,777	4.56
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	43,768	-	-	8.61	376,961	376,961	-	-
film	134,316	37,627	6,141	21.9	8.61	324,067	458,383	-81,423	4.57
coat	156,000	42,296	1,472	106.0	8.61	364,285	520,285	-143,325	0.94
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	34,302	-	-	8.61	295,438	295,438	-	-
film	134,316	35,363	-1,061	-126.6	8.61	304,575	438,891	-143,453	-0.79
coat	156,000	32,583	1,719	90.7	8.61	280,631	436,631	-141,193	1.10
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	49,416	-	-	8.61	425,607	425,607	-	-
film	134,316	46,214	3,202	41.9	8.61	398,028	532,344	-106,737	2.38
coat	156,000	43,436	5,980	26.1	8.61	374,106	530,106	-104,498	3.83
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	39,711	-	-	8.61	342,022	342,022	-	-
film	134,316	38,898	813	165.3	8.61	335,022	469,338	-127,316	0.61
coat	156,000	34,197	5,514	28.3	8.61	294,532	450,532	-108,510	3.53

ตาราง ข.3 อาคารสำนักงาน WWR80%

กระจกใส 3 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	627.21	761.69	664.44	759.08
film	549.13	661.16	580.40	658.86
coat	539.94	649.33	570.50	647.06
กระจกเขียว 6 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	540.50	650.05	571.12	647.78
film	462.25	549.12	486.66	547.07
coat	522.08	626.36	551.29	624.14
กระจกสะท้อนความร้อน	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	398.75	467.61	418.25	465.50
film	413.09	486.07	433.69	483.88
coat	374.87	436.87	392.47	434.78
กระจกอินซูเลท	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	575.45	695.71	608.79	692.88
film	536.76	645.90	567.23	643.24
coat	502.98	602.34	530.68	599.76
กระจกอินซูเลท Low-E	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	436.13	516.43	458.76	514.26
film	426.10	503.52	447.93	501.33
coat	365.99	426.19	383.23	424.02

ตาราง ข.4 อาคารสำนักงาน WWR80% วางอาคาร 0องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	45,520,032	-	-	8.61	392,051,667	392,051,667	-	-
film	21,159,936	39,853,766	5,666,266	3.7	8.61	343,249,661	364,409,597	27,642,070	26.78
coat	24,576,000	39,186,984	6,333,048	3.9	8.61	337,506,846	362,082,846	29,968,822	25.77
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	39,227,242	-	-	8.61	337,853,573	337,853,573	-	-
film	21,159,936	33,548,100	5,679,142	3.7	8.61	288,940,670	310,100,606	27,752,967	26.84
coat	24,576,000	37,890,739	1,336,502	18.4	8.61	326,342,641	350,918,641	-13,065,068	5.44
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	28,939,709	-	-	8.61	249,249,849	249,249,849	-	-
film	21,159,936	29,980,397	-1,040,688	-20.3	8.61	258,213,012	279,372,948	-30,123,099	-4.92
coat	24,576,000	27,206,227	1,733,482	14.2	8.61	234,319,843	258,895,843	-9,645,994	7.05
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	41,763,518	-	-	8.61	359,697,836	359,697,836	-	-
film	21,159,936	38,956,171	2,807,347	7.5	8.61	335,518,918	356,678,854	3,018,983	13.27
coat	24,576,000	36,503,957	5,259,562	4.7	8.61	314,398,661	338,974,661	20,723,175	21.40
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	31,652,275	-	-	8.61	272,612,446	272,612,446	-	-
film	21,159,936	30,924,302	727,973	29.1	8.61	266,342,614	287,502,550	-14,890,104	3.44
coat	24,576,000	26,562,310	5,089,966	4.8	8.61	228,773,955	253,349,955	19,262,491	20.71

ตาราง ข.5 อาคารสำนักงาน WWR80% วางอาคาร 45องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	55,280,275	-	-	8.61	476,113,990	476,113,990	-	-
film	21,159,936	47,984,626	7,295,650	2.9	8.61	413,278,542	434,438,478	41,675,512	34.48
coat	24,576,000	47,125,507	8,154,768	3.0	8.61	405,879,189	430,455,189	45,658,801	33.18
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	47,178,240	-	-	8.61	406,333,362	406,333,362	-	-
film	21,159,936	39,852,869	7,325,371	2.9	8.61	343,241,930	364,401,866	41,931,496	34.62
coat	24,576,000	45,458,976	1,719,264	14.3	8.61	391,525,808	416,101,808	-9,768,446	7.00
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	33,936,960	-	-	8.61	292,289,815	292,289,815	-	-
film	21,159,936	35,277,288	-1,340,328	-15.8	8.61	303,833,696	324,993,632	-32,703,817	-6.33
coat	24,576,000	31,706,342	2,230,618	11.0	8.61	273,078,112	297,654,112	-5,364,297	9.08
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	50,491,574	-	-	8.61	434,870,211	434,870,211	-	-
film	21,159,936	46,876,819	3,614,755	5.9	8.61	403,737,307	424,897,243	9,972,968	17.08
coat	24,576,000	43,715,107	6,776,467	3.6	8.61	376,506,340	401,082,340	33,787,871	27.57
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	37,480,092	-	-	8.61	322,805,849	322,805,849	-	-
film	21,159,936	36,543,826	936,266	22.6	8.61	314,742,040	335,901,976	-13,096,128	4.42
coat	24,576,000	30,931,234	6,548,858	3.8	8.61	266,402,311	290,978,311	31,827,538	26.65

ตาราง ข.6 อาคารสำนักงาน WWR80% วางอาคาร 90องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	48,222,739	-	-	8.61	415,329,350	415,329,350	-	-
Film	21,159,936	42,122,918	6,099,821	3.5	8.61	362,793,251	383,953,187	31,376,163	28.83
Coat	24,576,000	41,404,579	6,818,160	3.6	8.61	356,606,390	381,182,390	34,146,959	27.74
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	41,449,728	-	-	8.61	356,995,245	356,995,245	-	-
Film	21,159,936	35,319,715	6,130,013	3.5	8.61	304,199,110	325,359,046	31,636,199	28.97
Coat	24,576,000	40,010,100	1,439,628	17.1	8.61	344,596,120	369,172,120	-12,176,875	5.86
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	30,355,130	-	-	8.61	261,440,490	261,440,490	-	-
Film	21,159,936	31,475,328	-1,120,198	-18.9	8.61	271,088,448	292,248,384	-30,807,894	-5.29
Coat	24,576,000	28,483,608	1,871,522	13.1	8.61	245,321,576	269,897,576	-8,457,086	7.62
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	44,183,707	-	-	8.61	380,542,265	380,542,265	-	-
Film	21,159,936	41,167,349	3,016,358	7.0	8.61	354,563,189	375,723,125	4,819,139	14.26
Coat	24,576,000	38,514,590	5,669,117	4.3	8.61	331,715,702	356,291,702	24,250,563	23.07
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	33,294,804	-	-	8.61	286,759,100	286,759,100	-	-
Film	21,159,936	32,509,291	785,513	26.9	8.61	279,993,692	301,153,628	-14,394,528	3.71
Coat	24,576,000	27,813,091	5,481,713	4.5	8.61	239,546,597	264,122,597	22,636,503	22.31

ตาราง ข.7 อาคารสำนักงาน WWR80% วางอาคาร 135องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	45,520,032	-	-	8.61	392,051,667	392,051,667	-	-
film	21,159,936	39,853,766	5,666,266	3.7	8.61	343,249,661	364,409,597	27,642,070	26.78
coat	24,576,000	39,186,984	6,333,048	3.9	8.61	337,506,846	362,082,846	29,968,822	25.77
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	39,227,242	-	-	8.61	337,853,573	337,853,573	-	-
film	21,159,936	33,548,100	5,679,142	3.7	8.61	288,940,670	310,100,606	27,752,967	26.84
coat	24,576,000	37,890,739	1,336,502	18.4	8.61	326,342,641	350,918,641	-13,065,068	5.44
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	28,939,709	-	-	8.61	249,249,849	249,249,849	-	-
film	21,159,936	29,980,397	-1,040,688	-20.3	8.61	258,213,012	279,372,948	-30,123,099	-4.92
coat	24,576,000	27,206,227	1,733,482	14.2	8.61	234,319,843	258,895,843	-9,645,994	7.05
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	41,763,518	-	-	8.61	359,697,836	359,697,836	-	-
film	21,159,936	38,956,171	2,807,347	7.5	8.61	335,518,918	356,678,854	3,018,983	13.27
coat	24,576,000	36,503,957	5,259,562	4.7	8.61	314,398,661	338,974,661	20,723,175	21.40
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	31,652,275	-	-	8.61	272,612,446	272,612,446	-	-
film	21,159,936	30,924,302	727,973	29.1	8.61	266,342,614	287,502,550	-14,890,104	3.44
coat	24,576,000	26,562,310	5,089,966	4.8	8.61	228,773,955	253,349,955	19,262,491	20.71

ตาราง ข.8 อาคารสำนักงาน WWR60%

กระจกใส 3 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	514.61	613.76	542.50	611.35
film	455.69	538.08	479.03	535.91
coat	448.76	529.15	471.53	527.07
กระจกเขียว 6 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	449.01	529.52	471.83	527.38
film	389.90	453.92	408.03	451.92
coat	435.12	511.67	456.84	509.62
กระจกสะท้อนความร้อน	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	339.87	390.46	354.34	388.24
film	350.59	404.16	365.89	401.99
coat	321.95	367.82	335.05	366.16
กระจกอินซูเลท	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	471.80	559.43	496.40	557.09
film	442.79	522.16	465.55	520.29
coat	417.43	489.67	438.16	487.70
กระจกอินซูเลท Low-E	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	365.76	424.21	382.86	421.99
film	358.27	414.62	374.76	412.36
coat	313.43	357.55	326.30	355.88

ตาราง ข.9 อาคารสำนักงาน WWR60% วางอาคาร 0องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	37,348,337	-	-	8.61	321,671,077	321,671,077	-	-
film	15,845,844	33,071,854	4,276,483	3.7	8.61	284,838,889	300,684,733	20,986,344	26.99
coat	18,404,000	32,569,267	4,779,070	3.9	8.61	280,510,249	298,914,249	22,756,828	25.97
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	32,587,579	-	-	8.61	280,667,965	280,667,965	-	-
film	15,845,844	28,297,030	4,290,550	3.7	8.61	243,714,627	259,560,471	21,107,494	27.08
coat	18,404,000	31,579,442	1,008,137	18.3	8.61	271,985,157	290,389,157	-9,721,192	5.48
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	24,666,389	-		8.61	212,444,905	212,444,905	-	-
film	15,845,844	25,444,418	-778,030	-20.4	8.61	219,145,862	234,991,706	-22,546,802	-4.91
coat	18,404,000	23,365,867	1,300,522	14.2	8.61	201,243,865	219,647,865	-7,202,961	7.07
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	34,241,491	-	-	8.61	294,912,660	294,912,660	-	-
film	15,845,844	32,135,890	2,105,602	7.5	8.61	276,777,685	292,623,529	2,289,130	13.29
coat	18,404,000	30,295,138	3,946,354	4.7	8.61	260,923,789	279,327,789	15,584,871	21.44
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	26,545,330	-	-	8.61	228,627,711	228,627,711	-	-
film	15,845,844	26,001,732	543,598	29.1	8.61	223,945,853	239,791,697	-11,163,986	3.43
coat	18,404,000	22,747,685	3,797,645	4.8	8.61	195,919,628	214,323,628	14,304,083	20.63

ตาราง ข.10 อาคารสำนักงาน WWR60% วางอาคาร 45องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	44,544,029	-	-	8.61	383,645,617	383,645,617	-	-
film	15,845,844	39,051,581	5,492,448	2.9	8.61	336,340,655	352,186,499	31,459,118	34.66
coat	18,404,000	38,403,778	6,140,251	3.0	8.61	330,761,302	349,165,302	34,480,315	33.36
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	38,430,542	-	-	8.61	330,991,820	330,991,820	-	-
film	15,845,844	32,943,792	5,486,750	2.9	8.61	283,735,929	299,581,773	31,410,046	34.63
coat	18,404,000	37,135,142	1,295,400	14.2	8.61	319,834,891	338,238,891	-7,247,072	7.04
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	28,337,731	-	-	8.61	244,065,179	244,065,179	-	-
film	15,845,844	29,332,454	-994,723	-15.9	8.61	252,632,460	268,478,304	-24,413,125	-6.28
coat	18,404,000	26,694,874	1,642,858	11.2	8.61	229,915,693	248,319,693	-4,254,514	8.93
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	40,601,501	-	-	8.61	349,689,694	349,689,694	-	-
film	15,845,844	37,896,425	2,705,076	5.9	8.61	326,391,610	342,237,454	7,452,241	17.07
coat	18,404,000	35,538,307	5,063,194	3.6	8.61	306,081,784	324,485,784	25,203,911	27.51
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	30,787,457	-	-	8.61	265,164,000	265,164,000	-	-
film	15,845,844	30,091,435	696,022	22.8	8.61	259,169,355	275,015,199	-9,851,199	4.39
coat	18,404,000	25,949,467	4,837,990	3.8	8.61	223,495,710	241,899,710	23,264,290	26.29

ตาราง ข.11 อาคารสำนักงาน WWR60% วางอาคาร 90องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	39,372,614	-	-	8.61	339,105,630	339,105,630	-	-
film	15,845,844	34,765,896	4,606,718	3.4	8.61	299,429,216	315,275,060	23,830,570	29.07
coat	18,404,000	34,221,732	5,150,882	3.6	8.61	294,742,479	313,146,479	25,959,151	27.99
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	34,243,481	-	-	8.61	294,929,796	294,929,796	-	-
film	15,845,844	29,613,389	4,630,092	3.4	8.61	255,052,071	270,897,915	24,031,880	29.22
coat	18,404,000	33,155,736	1,087,745	16.9	8.61	285,561,345	303,965,345	-9,035,550	5.91
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	25,716,334	-	-	8.61	221,487,794	221,487,794	-	-
film	15,845,844	26,554,752	-838,418	-18.9	8.61	228,708,864	244,554,708	-23,066,914	-5.29
coat	18,404,000	24,316,658	1,399,675	13.1	8.61	209,432,772	227,836,772	-6,348,978	7.61
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	36,026,995	-	-	8.61	310,290,721	310,290,721	-	-
film	15,845,844	33,787,706	2,239,289	7.1	8.61	291,004,335	306,850,179	3,440,542	14.13
coat	18,404,000	31,799,813	4,227,182	4.4	8.61	273,883,147	292,287,147	18,003,573	22.97
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	27,786,797	-	-	8.61	239,320,131	239,320,131	-	-
film	15,845,844	27,198,401	588,396	26.9	8.61	234,252,436	250,098,280	-10,778,149	3.71
coat	18,404,000	23,681,611	4,105,186	4.5	8.61	203,963,283	222,367,283	16,952,848	22.31

ตาราง ข.12 อาคารสำนักงาน WWR60% วางอาคาร 135องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	44,369,280	-	-	8.61	382,140,553	382,140,553	-	-
film	15,845,844	38,894,410	5,474,870	2.9	8.61	334,986,982	350,832,826	31,307,727	34.55
coat	18,404,000	38,252,357	6,116,923	3.0	8.61	329,457,155	347,861,155	34,279,397	33.24
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	38,275,488	-	-	8.61	329,656,378	329,656,378	-	-
film	15,845,844	32,798,856	5,476,632	2.9	8.61	282,487,635	298,333,479	31,322,899	34.56
coat	18,404,000	36,986,424	1,289,064	14.3	8.61	318,554,020	336,958,020	-7,301,642	7.00
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	28,177,152	-	-	8.61	242,682,154	242,682,154	-	-
film	15,845,844	29,174,582	-997,430	-15.9	8.61	251,272,751	267,118,595	-24,436,441	-6.29
coat	18,404,000	26,574,286	1,602,866	11.5	8.61	228,877,101	247,281,101	-4,598,947	8.71
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	40,431,360	-	-	8.61	348,224,318	348,224,318	-	-
film	15,845,844	37,760,736	2,670,624	5.9	8.61	325,222,959	341,068,803	7,155,515	16.85
coat	18,404,000	35,395,262	5,036,098	3.7	8.61	304,849,778	323,253,778	24,970,540	27.36
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	30,626,174	-	-	8.61	263,774,919	263,774,919	-	-
film	15,845,844	29,927,261	698,914	22.7	8.61	257,755,366	273,601,210	-9,826,291	4.41
coat	18,404,000	25,828,596	4,797,578	3.8	8.61	222,454,679	240,858,679	22,916,239	26.07

ตาราง ข.13 อาคารสำนักงาน WWR40%

กระจกใส 3 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	403.73	469.51	422.30	467.44
film	363.35	418.29	378.84	416.06
coat	358.60	412.26	373.73	410.01
กระจกเขียว 6 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	358.69	412.37	373.84	410.13
film	318.06	361.28	330.27	359.71
coat	349.16	400.28	363.61	398.01
กระจกสะท้อนความร้อน	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	282.49	317.55	292.25	316.11
film	289.87	326.61	300.18	325.43
coat	270.18	302.40	278.99	301.05
กระจกอินซูเลท	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	371.37	428.64	387.67	426.39
film	351.61	403.64	366.47	401.30
coat	334.36	381.82	347.99	379.76
กระจกอินซูเลท Low-E	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	298.34	336.83	309.19	335.29
film	293.30	330.64	303.81	329.13
coat	262.91	293.53	271.43	292.14

ตาราง ข.14 อาคารสำนักงาน WWR40% วางอาคาร 0องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	29,300,765	-	-	8.61	252,359,526	252,359,526	-	-
film	10,579,968	26,370,564	2,930,201	3.6	8.61	227,122,502	237,702,470	14,657,055	27.70
coat	12,288,000	26,025,511	3,275,254	3.8	8.61	224,150,656	236,438,656	15,920,869	26.65
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	26,032,068	-	-	8.61	224,207,128	224,207,128	-	-
film	10,579,968	23,083,205	2,948,863	3.6	8.61	198,809,371	209,389,339	14,817,789	27.87
coat	12,288,000	25,340,983	691,085	17.8	8.61	218,255,003	230,543,003	-6,335,874	5.62
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	20,501,683	-	-	8.61	176,575,427	176,575,427	-	-
film	10,579,968	21,037,303	-535,620	-19.8	8.61	181,188,576	191,768,544	-15,193,118	-5.06
coat	12,288,000	19,608,554	893,129	13.8	8.61	168,883,151	181,171,151	-4,595,724	7.27
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	26,952,509	-	-	8.61	232,134,635	232,134,635	-	-
film	10,579,968	25,518,197	1,434,312	7.4	8.61	219,781,295	230,361,263	1,773,372	13.56
coat	12,288,000	24,266,290	2,686,219	4.6	8.61	208,998,959	221,286,959	10,847,676	21.86
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	21,652,411	-	-	8.61	186,486,334	186,486,334	-	-
film	10,579,968	21,286,666	365,746	28.9	8.61	183,336,267	193,916,235	-7,429,901	3.46
coat	12,288,000	19,081,015	2,571,396	4.8	8.61	164,339,599	176,627,599	9,858,735	20.93

ตาราง ข.15 อาคารสำนักงาน WWR40% วางอาคาร 135องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	34,074,922	-	-	8.61	293,478,041	293,478,041	-	-
film	10,579,968	30,358,176	3,716,746	2.8	8.61	261,466,721	272,046,689	21,431,352	35.13
coat	12,288,000	29,919,960	4,154,962	3.0	8.61	257,692,486	269,980,486	23,497,555	33.81
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	29,928,379	-	-	8.61	257,764,998	257,764,998	-	-
film	10,579,968	26,219,957	3,708,422	2.9	8.61	225,825,364	236,405,332	21,359,666	35.05
coat	12,288,000	29,050,584	877,795	14.0	8.61	250,204,787	262,492,787	-4,727,788	7.14
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	23,046,317	-	-	8.61	198,491,665	198,491,665	-	-
film	10,579,968	23,704,027	-657,710	-16.1	8.61	204,156,346	214,736,314	-16,244,649	-6.22
coat	12,288,000	21,946,985	1,099,332	11.2	8.61	189,023,417	201,311,417	-2,819,752	8.95
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	31,109,309	-	-	8.61	267,936,024	267,936,024	-	-
film	10,579,968	29,294,381	1,814,928	5.8	8.61	252,304,542	262,884,510	5,051,514	17.15
coat	12,288,000	27,711,295	3,398,014	3.6	8.61	238,669,856	250,957,856	16,978,168	27.65
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	24,445,843	-	-	8.61	210,545,405	210,545,405	-	-
film	10,579,968	23,996,695	449,148	23.6	8.61	206,677,016	217,256,984	-6,711,578	4.25
coat	12,288,000	21,303,072	3,142,771	3.9	8.61	183,477,571	195,765,571	14,779,834	25.58

ตาราง ข.16 อาคารสำนักงาน WWR40% วางอาคาร 90องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	30,648,557	-	-	8.61	263,967,692	263,967,692	-	-
film	10,579,968	27,494,714	3,153,842	3.4	8.61	236,804,504	247,384,472	16,583,220	29.81
coat	12,288,000	27,124,094	3,524,462	3.5	8.61	233,612,455	245,900,455	18,067,237	28.68
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	27,131,770	-	-	8.61	233,678,559	233,678,559	-	-
film	10,579,968	23,970,024	3,161,746	3.3	8.61	206,447,304	217,027,272	16,651,288	29.88
coat	12,288,000	26,389,306	742,464	16.6	8.61	227,283,919	239,571,919	-5,893,359	6.04
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	21,210,542	-	-	8.61	182,680,638	182,680,638	-	-
film	10,579,968	21,785,707	-575,165	-18.4	8.61	187,634,377	198,214,345	-15,533,706	-5.44
coat	12,288,000	20,247,658	962,885	12.8	8.61	174,387,573	186,675,573	-3,994,935	7.84
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	28,135,306	-	-	8.61	242,321,742	242,321,742	-	-
film	10,579,968	26,597,179	1,538,126	6.9	8.61	229,074,278	239,654,246	2,667,497	14.54
coat	12,288,000	25,255,488	2,879,818	4.3	8.61	217,518,656	229,806,656	12,515,087	23.44
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	22,439,830	-	-	8.61	193,268,155	193,268,155	-	-
film	10,579,968	22,049,364	390,466	27.1	8.61	189,905,181	200,485,149	-7,216,994	3.69
coat	12,288,000	19,699,654	2,740,176	4.5	8.61	169,667,764	181,955,764	11,312,391	22.30

ตาราง ข.17 อาคารสำนักงาน WWR40% วางอาคาร 135องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	33,924,994	-	-	8.61	292,186,752	292,186,752	-	-
film	10,579,968	30,195,703	3,729,290	2.8	8.61	260,067,387	270,647,355	21,539,397	35.25
coat	12,288,000	29,756,880	4,168,114	2.9	8.61	256,287,922	268,575,922	23,610,830	33.92
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	29,765,246	-	-	8.61	256,359,980	256,359,980	-	-
film	10,579,968	26,106,540	3,658,706	2.9	8.61	224,848,535	235,428,503	20,931,476	34.58
coat	12,288,000	28,885,675	879,571	14.0	8.61	248,784,472	261,072,472	-4,712,492	7.16
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	22,942,128	-	-	8.61	197,594,315	197,594,315	-	-
film	10,579,968	23,618,666	-676,538	-15.6	8.61	203,421,156	214,001,124	-16,406,809	-6.39
coat	12,288,000	21,849,115	1,093,013	11.2	8.61	188,180,492	200,468,492	-2,874,178	8.89
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	30,945,427	-	-	8.61	266,524,556	266,524,556	-	-
film	10,579,968	29,124,550	1,820,878	5.8	8.61	250,841,832	261,421,800	5,102,756	17.21
coat	12,288,000	27,561,739	3,383,688	3.6	8.61	237,381,771	249,669,771	16,854,785	27.54
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	IRR (%)
no coat	0	24,334,171	-	-	8.61	209,583,605	209,583,605	-	-
film	10,579,968	23,886,751	447,420	23.6	8.61	205,730,098	216,310,066	-6,726,461	4.23
coat	12,288,000	21,202,382	3,131,789	3.9	8.61	182,610,359	194,898,359	14,685,246	25.49

ตาราง ข.18 อาคารสำนักงาน WWR20%

กระจกใส 3 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	287.00	321.57	296.71	320.05
film	265.66	295.66	274.02	294.32
coat	263.12	292.60	271.33	291.29
กระจกเขียว 6 มม.	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	263.11	292.60	271.33	291.28
film	242.99	266.46	248.67	266.03
coat	258.08	286.47	265.91	285.18
กระจกสะท้อนความร้อน	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	225.22	243.12	229.53	242.68
film	228.48	247.68	233.31	247.27
coat	219.76	235.47	223.46	234.99
กระจกอินซูเลท	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	268.14	298.34	276.57	296.96
film	257.89	285.96	265.67	284.70
coat	249.26	275.15	256.06	273.94
กระจกอินซูเลท Low-E	0° (kWh/m^2.y)	45° (kWh/m^2.y)	90° (kWh/m^2.y)	135° (kWh/m^2.y)
no coat	230.81	251.56	236.20	251.21
film	228.56	248.54	233.60	248.12
coat	215.38	229.99	218.86	229.54

ตาราง ข.19 อาคารสำนักงาน WWR20% วางอาคาร 0องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	20,829,466	-	-	8.61	179,398,528	179,398,528	-	-
film	5,272,764	19,280,371	1,549,094	3.4	8.61	166,056,598	171,329,362	8,069,165	29.38
coat	6,124,000	19,096,178	1,733,287	3.5	8.61	164,470,196	170,594,196	8,804,332	28.30
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	19,095,830	-	-	8.61	164,467,199	164,467,199	-	-
film	5,272,764	17,635,082	1,460,748	3.6	8.61	151,886,173	157,158,937	7,308,262	27.70
coat	6,124,000	18,730,466	365,364	16.8	8.61	161,320,418	167,444,418	-2,977,219	5.97
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	16,345,510	-	-	8.61	140,779,433	140,779,433	-	-
film	5,272,764	16,582,478	-236,969	-22.3	8.61	142,820,381	148,093,145	-7,313,712	-4.49
coat	6,124,000	15,949,085	396,425	15.4	8.61	137,365,134	143,489,134	-2,709,701	6.47
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	19,460,266	-	-	8.61	167,605,980	167,605,980	-	-
film	5,272,764	18,716,770	743,496	7.1	8.61	161,202,451	166,475,215	1,130,765	14.10
coat	6,124,000	18,090,502	1,369,764	4.5	8.61	155,808,575	161,932,575	5,673,405	22.37
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	16,751,126	-	-	8.61	144,272,900	144,272,900	-	-
film	5,272,764	16,587,715	163,411	32.3	8.61	142,865,484	148,138,248	-3,865,348	3.10
coat	6,124,000	15,631,706	1,119,420	5.5	8.61	134,631,640	140,755,640	3,517,260	18.28

ตาราง ข.20 อาคารสำนักงาน WWR20% วางอาคาร 45องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	23,338,596	-	-	8.61	201,008,986	201,008,986	-	-
film	5,272,764	21,458,076	1,880,520	2.8	8.61	184,812,578	190,085,342	10,923,644	35.66
coat	6,124,000	21,235,858	2,102,738	2.9	8.61	182,898,671	189,022,671	11,986,314	34.34
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	21,235,723	-	-	8.61	182,897,514	182,897,514	-	-
film	5,272,764	19,338,336	1,897,387	2.8	8.61	166,555,833	171,828,597	11,068,916	35.98
coat	6,124,000	20,790,547	445,176	13.8	8.61	179,063,334	185,187,334	-2,289,820	7.27
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	17,644,788	-	-	8.61	151,969,765	151,969,765	-	-
film	5,272,764	17,975,698	-330,910	-15.9	8.61	154,819,799	160,092,563	-8,122,798	-6.28
coat	6,124,000	17,089,594	555,194	11.0	8.61	147,188,026	153,312,026	-1,342,261	9.07
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	21,652,301	-	-	8.61	186,485,384	186,485,384	-	-
film	5,272,764	20,754,170	898,130	5.9	8.61	178,750,030	184,022,794	2,462,589	17.03
coat	6,124,000	19,969,159	1,683,142	3.6	8.61	171,988,942	178,112,942	8,372,441	27.48
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	18,256,896	-	-	8.61	157,241,685	157,241,685	-	-
film	5,272,764	18,038,100	218,796	24.1	8.61	155,357,254	160,630,018	-3,388,334	4.15
coat	6,124,000	16,691,616	1,565,280	3.9	8.61	143,760,353	149,884,353	7,357,331	25.56

ตาราง ข.21 อาคารสำนักงาน WWR20% วางอาคาร 90องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	21,533,674	-	-	8.61	185,463,680	185,463,680	-	-
film	5,272,764	19,887,235	1,646,438	3.2	8.61	171,283,353	176,556,117	8,907,563	31.23
coat	6,124,000	19,691,729	1,841,945	3.3	8.61	169,599,510	175,723,510	9,740,170	30.08
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat		19,691,726			8.61	169,599,489	169,599,489	-	-
film	5,272,764	18,047,150	1,644,576	3.2	8.61	155,435,203	160,707,967	8,891,522	31.19
coat	6,124,000	19,298,390	393,336	15.6	8.61	166,211,793	172,335,793	-2,736,304	6.42
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat		16,658,117			8.61	143,471,834	143,471,834	-	-
film	5,272,764	16,932,754	-274,637	-19.2	8.61	145,837,206	151,109,970	-7,638,136	-5.21
coat	6,124,000	16,217,866	440,251	13.9	8.61	139,680,070	145,804,070	-2,332,236	7.19
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat		20,072,551			8.61	172,879,429	172,879,429	-	-
film	5,272,764	19,281,211	791,340	6.7	8.61	166,063,833	171,336,597	1,542,832	15.01
coat	6,124,000	18,583,538	1,489,013	4.1	8.61	160,054,967	166,178,967	6,700,463	24.31
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat		17,142,216			8.61	147,641,249	147,641,249	-	-
film	5,272,764	16,953,689	188,527	28.0	8.61	146,017,515	151,290,279	-3,649,030	3.58
coat	6,124,000	15,884,069	1,258,147	4.9	8.61	136,805,169	142,929,169	4,712,080	20.54

ตาราง ข.20 อาคารสำนักงาน WWR20% วางอาคาร 135องศา

กระจกใส 3 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	23,227,841	-	-	8.61	200,055,081	200,055,081	-	-
film	5,272,764	21,360,742	1,867,099	2.8	8.61	183,974,263	189,247,027	10,808,054	35.41
coat	6,124,000	21,140,734	2,087,107	2.9	8.61	182,079,394	188,203,394	11,851,687	34.08
กระจกเขียว 6 มม.	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	21,140,160	-	-	8.61	182,074,454	182,074,454	-	-
film	5,272,764	19,307,654	1,832,506	2.9	8.61	166,291,581	171,564,345	10,510,109	34.75
coat	6,124,000	20,697,226	442,934	13.8	8.61	178,259,580	184,383,580	-2,309,126	7.23
กระจกสะท้อนความร้อน	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	17,612,971	-	-	8.61	151,695,735	151,695,735	-	-
film	5,272,764	17,945,976	-333,005	-15.8	8.61	154,563,815	159,836,579	-8,140,844	-6.32
coat	6,124,000	17,054,561	558,410	11.0	8.61	146,886,298	153,010,298	-1,314,563	9.12
กระจกอินซูเลท	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	21,552,154	--	-	8.61	185,622,843	185,622,843	-	-
film	5,272,764	20,662,368	889,786	5.9	8.61	177,959,361	183,232,125	2,390,718	16.88
coat	6,124,000	19,881,151	1,671,002	3.7	8.61	171,230,953	177,354,953	8,267,890	27.29
กระจกอินซูเลท Low-E	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าปีละ (บาท)	ประหยัดค่าไฟได้ปีละ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	PWIF (Y=10, R=4.56%, I=7.5%)	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth - LCC (บาท)	ลดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	IRR (%)
no coat	0	18,231,922	-	-	8.61	157,026,587	157,026,587	-	-
film	5,272,764	18,007,272	224,650	23.5	8.61	155,091,741	160,364,505	-3,337,918	4.26
coat	6,124,000	16,659,312	1,572,610	3.9	8.61	143,482,128	149,606,128	7,420,459	25.68

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล เกิดเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิตคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในสาขาวิชานวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตย์ ในภาคต้นการศึกษา 2555