แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

นางสาวสวิชญา ดาวประกายมงคล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GLASS SELECTION GUIDE FOR CURTAIN WALLS OF AIR-CONDITIONED OFFICE BUILDINGS IN ACCORDANCE WITH BUILDING ENERGY CODE B.E. 2552

Miss Savitchaya Daoprakaimongkol

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงาน ปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552
โดย	นางสาวสวิชญา ดาวประกายมงคล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สวิชญา ดาวประกายมงคล : แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 (GLASS SELECTION GUIDE FOR CURTAIN WALLS OF AIR-CONDITIONED OFFICE BUILDINGS IN ACCORDANCE WITH BUILDING ENERGY CODE B.E. 2552) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร, 272 หน้า.

จากการที่ประเทศไทยได้มีการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับใหม่ในปี พ.ศ. 2552 เพื่อให้สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2550) นั้น ทำให้มีอาคารที่เข้าข่ายเป็นอาคารควบคุมการใช้พลังงานมากขึ้น โดยเริ่มควบคุมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ และมีการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารใหม่ ทั้งนี้ อาคารสำนักงานขนาดใหญ่นั้นถือว่าเป็นอาคารควบคุมที่ต้องมีการดำเนินการให้สอดคล้องกับกฎหมายดังกล่าว ส่งผลให้ผู้ออกแบบและเจ้าของอาคารต้องปฏิบัติตาม

การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านผนังกระจกด้านข้าง และเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของกระจกประเภทต่าง ๆ สำหรับเป็นแนวทางในการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานที่สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าและมีค่า OTTV ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดตามกฎกระทรวงฉบับใหม่ในปี พ.ศ. 2552 การศึกษานี้จะใช้แนวทางการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์จริง (Simulation Research) โดยจะเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่จำนวน 30 คน เพื่อนำข้อมูลการสำรวจมาสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จากนั้นจึงมาสร้างแบบจำลองอาคารทางเลือกที่ใช้กระจกประเภทต่าง ๆ ในอัตราส่วนพื้นที่ของช่องแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคชี้ให้เห็นว่า การใช้พื้นที่ของกระจกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารเพิ่มขึ้น หากอาคารที่ออกแบบนั้นไม่มีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่กระจกมาก เช่น มี WWR ไม่เกินร้อยละ 20 ผู้ออกแบบอาจเลือกใช้กระจกธรรมดาซึ่งสามารถทำให้ผ่านค่า OTTV ตามที่กฎหมายกำหนดได้ จากการเปรียบเทียบค่า OTTV ของอาคารกรณีศึกษาพบว่ามีเพียง 1 อาคารต้นแบบและ 9 อาคารทางเลือกที่มีค่า OTTV ผ่านตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด โดยพบว่า กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low – E (ทางเลือก D) มีความเหมาะสมทางเทคนิคมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระจกประเภทอื่น ๆ ในทุกกรณีศึกษา

อย่างไรก็ตาม การลงทุนใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low – E (ทางเลือก D) นั้นไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า กระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง (ทางเลือก B) มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดเมื่ออาคารมีอัตราส่วน WWR น้อย ๆ เช่น ไม่เกินร้อยละ 40 ส่วนการออกแบบอาคารที่มีอัตราส่วน WWR มากกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป สามารถเลือกใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low – E ใส่ก๊าซอาร์กอน (ทางเลือก C) แทนเพื่อให้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติจริงมากขึ้น เพราะมีความเหมาะสมทั้งทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2552

##5174297825 : MAJOR: ARCHITECTURE

KEYWORDS : GLASS, ENERGY SAVING GLASS, CURTAIN WALL, OFFICE BUILDING, OTTV, HEAT TRANSFER, BUILDING ENERGY CODE

SAVITCHAYA DAOPRAKAIMONGKOL : GLASS SELECTION GUIDE FOR CURTAIN WALLS OF AIR-CONDITIONED OFFICE BUILDINGS IN ACCORDANCE WITH BUILDING ENERGY CODE B.E. 2552. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 272 pp.

Thailand has introduced the Building Energy Code B.E. 2552 in order to comply with the Energy Conservation Promotion Act B.E. 2552. According to this new code, more buildings are classified as designated buildings for which some design criteria and standards building have been changed. Architects and building owners of large office buildings defined as designated buildings are required to comply with the new code.

The objectives of this study are to examine variables affecting heat transfer through the curtain wall of a building; and to analyze the energy saving performance of various types of glass against heat transfer in order to provide alternatives of using appropriate glass which will enhance energy conservation and yield an OTTV value complying with the new code introduced in B.E. 2552. Simulation Research was employed for this study. Firstly, important survey data were gathered from 30 well-experienced architects, who have experience in designing typical large office buildings in Bangkok. Then, the data gathered were used to create base case buildings. Next, the simulations of alternative buildings were established in accordance with different WWR.

The technical analysis indicates that the greater the proportion of the curtain wall glass, the higher the OTTV value and the electrical end use. If the building requires WWR lower than 20%, the architect might choose normal glass which yields the OTTV value required by the law instead. According to the comparison of all alternative buildings in this study, there is only one base case, and nine alternative buildings that have OTTV values complying with the law. The study also found that Bluegreen Laminated Insulating Glass with Very Low-E Coating (Option D) is the most appropriate energy saving glass according to technical analysis.

However, investment in Bluegreen Laminated Insulating Glass with Very Low-E Coating (Option D) is not very economical. According to the economic analysis, Green Laminated Glass with Reflective Coating (Option B) has a proper result in terms of the economic aspect when the proportion of WWR is lower than 40%. In addition, Green Laminated Insulating Glass with Low-E Coating and Argon Gas Filling (Option C) is the most suitable glass for the building with WWR higher than 40% because it yields practical results in both technical and economic efficiency.

Department : Architecture
Field of Study : Architecture
Academic Year : 2009

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ พร้อมให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์จนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และอาจารย์ ดร. โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์ ตลอดจนคณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้บริหารและพนักงานบริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล ตลอดจนให้คำแนะนำเกี่ยวกับกระจกที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษานี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป ตลอดจนผู้บริหารของบริษัท เอเซีย อลูมินั่ม แอนด์กลาส จำกัด บริษัท โอเรกอน อลูมิเนียม จำกัด บริษัท คิงสตาร์ เมทอล จำกัด และห้างหุ้นส่วนจำกัด นวกิจอลูมินั่ม ที่สนับสนุนข้อมูลค่าติดตั้งกระจกอลูมิเนียมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เปิดโอกาสให้ได้เรียนรู้ประสบการณ์ที่สำคัญยิ่งในการศึกษา ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ร่วมแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในด้านต่าง ๆ และเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการศึกษาจนกระทั่งการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูป..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

ขอบเขตของการวิจัย..... 3

ข้อตกลงเบื้องต้น..... 3

ข้อจำกัดของการวิจัย..... 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย..... 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระจกอนุรักษ์พลังงาน

1. พฤติกรรมของแสงผ่านกระจก..... 7
2. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ผ่านกระจก..... 13
3. คุณสมบัติของกระจกอนุรักษ์พลังงาน..... 17

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

1. ทิศทางการวางอาคาร..... 29
2. รูปทรงอาคาร..... 30
3. การระบายอากาศ..... 31
4. การใช้แสงสว่างธรรมชาติ..... 32
5. ตำแหน่งแกนบริการ..... 32
6. เปลือกอาคาร..... 33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

1. กฎกระทรวงฉบับที่ 48 (พ.ศ. 2540) ออกตามความใพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522..... 35
2. พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535..... 35
3. พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538..... 36
4. พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550..... 36
5. กฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552..... 37
6. กฎกระทรวงเรื่อง กำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552. 37
7. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552... 38
8. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552.... 38

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินโครงการลงทุน

1. แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับต้นทุนเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average Cost of Capital หรือ WACC)..... 38
2. แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow)..... 41
3. การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity / Scenario Analysis)..... 44

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร..... 45

กลุ่มตัวอย่าง..... 45

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 46

การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

การวิเคราะห์ข้อมูล..... 46
รายละเอียดของตัวแปร..... 46
ขั้นตอนการวิจัย..... 47
แผนการวิจัย..... 51

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจ

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง..... 52
2. ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป (Typical Large Office Building)... 54
3. การเปรียบเทียบข้อมูลการสำรวจกับข้อกฎหมายก่อนสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ..... 56
4. สรุปรายละเอียดของอาคารสำนักงานต้นแบบ..... 57

สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิค

1. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV).... 69
2. การคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use)..... 72
3. สรุปผลการวิเคราะห์ค่า OTTV และประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร..... 74

สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์..... 80

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย..... 92

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้..... 93
2. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย..... 94
3. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป..... 94

รายการอ้างอิง..... 96

หน้า

ภาคผนวก..... 99

ภาคผนวก ก นิยามศัพท์..... 100

ภาคผนวก ข ค่าคุณสมบัติของกระจกประเภทต่าง ๆ..... 105

ภาคผนวก ค รายชื่อบริษัทที่ทำการสำรวจ..... 154

ภาคผนวก ง แบบสอบถาม..... 156

ภาคผนวก จ คุณสมบัติของกระจกอาคารต้นแบบและกระจกอาคารทางเลือก.. 164

ภาคผนวก ฉ ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV)..... 170

ภาคผนวก ช ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use).. 211

ภาคผนวก ซ ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์..... 215

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 272

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่า SHGC ค่า U และค่า OTTV.....	19
3.1	แผนการวิจัย.....	51
4.1	ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง.....	52
4.2	ข้อสมมติฐานของแบบจำลองอาคารต้นแบบ.....	58
4.3	สมมติฐานของผนังทึบและผนังกระจก.....	69
4.4	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น และค่าความร้อนจำเพาะ.....	70
4.5	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอก.....	71
4.6	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า.....	71
4.7	สมมติฐานในการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร.....	73
4.8	สรุปผลการวิเคราะห์ค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	75
4.9	สมมติฐานการคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็นอัตราลดค่า (Discount Rate).....	80
4.10	สมมติฐานการคำนวณหา NPV (Net Present Value).....	81
4.11	กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario).....	84
4.12	กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario).....	85
4.13	กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario).....	86
4.14	สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์.....	87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สเปกตรัมรังสีอาทิตย์	7
2.2	การสะท้อนแสงแบบกระจกเงา	9
2.3	การสะท้อนแสงแบบกระจัดกระจาย	9
2.4	การสะท้อนแสงแบบผสม	9
2.5	การส่องผ่านแสงแบบหักเห	11
2.6	การส่องผ่านของแสงแบบฟุ้งกระจาย	11
2.7	องค์ประกอบของพลังงานจากสเปกตรัมรังสีอาทิตย์	13
2.8	การถ่ายเทความร้อนของกระจก	14
2.9	สมการ RAT	16
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SC และค่า SHGC	17
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ค่า U และค่า OTTV	18
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า U และค่า SHGC ของกระจกประเภทต่าง ๆ	20
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกประเภทต่าง ๆ ที่มีสารเคลือบแตกต่างกัน	23
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกลามิเนตที่มีสีและสารเคลือบต่าง ๆ	24
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกอินซูเลตที่มีสีและสารเคลือบต่าง ๆ	25
2.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกลามิเนตเมื่อความหนาฟิล์ม PVB เปลี่ยนไป	26
2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกอินซูเลตเมื่อความหนาของช่องอากาศเปลี่ยนไป	27
2.18	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงาน	31
2.19	รูปแบบการจัดพื้นที่ส่วนแกนบริการ	33
3.1	ขั้นตอนการวิจัย	50
4.1	ความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป (Typical Large Office Building)	54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่		หน้า
4.2	อาคารต้นแบบ 1: WWR = 80%.....	60
4.3	อาคารต้นแบบ 2: WWR = 60%.....	61
4.4	อาคารต้นแบบ 3: WWR = 40%.....	62
4.5	อาคารต้นแบบ 4: WWR = 20%.....	63
4.6	ผนังอาคารต้นแบบ 1: WWR = 80%.....	65
4.7	ผนังอาคารต้นแบบ 2: WWR = 60%.....	66
4.8	ผนังอาคารต้นแบบ 3: WWR = 40%.....	67
4.9	ผนังอาคารต้นแบบ 4: WWR = 20%.....	68
4.10	การเปรียบเทียบค่า OTTV ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก.....	78
4.11	การเปรียบเทียบค่า Electric End Use ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก.....	79
4.12	การเปรียบเทียบค่า IRR ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก.....	88
4.13	การเปรียบเทียบค่า NPV ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก.....	89
4.14	การเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก.....	90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุมและกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 โดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ พ.ศ. 2539 เป็นต้นมา และในปี พ.ศ. 2550 ได้มีการออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2550) มีผลให้เริ่มบังคับใช้ในวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2551 ต่อมากรมพัฒนา-และส่งเสริมพลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน จึงได้ออกกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ซึ่งมีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2552 เพื่อรองรับพระราชบัญญัติและพระราชกฤษฎีกาดังกล่าว ซึ่งในกฎกระทรวงฉบับใหม่นี้ได้มีการปรับปรุงแก้ไขข้อกำหนดของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร และมีการกำหนดมาตรฐานของอาคารที่สร้างใหม่ หรืออาคารดัดแปลงใหม่ ที่มีขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ให้มีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งนี้ มีการกำหนดประเภทอาคารควบคุมที่ต้องปฏิบัติตามกฎกระทรวงนี้ 9 ประเภท คือ อาคารสำนักงาน สถานพยาบาล สถานศึกษา อาคารชุด อาคารชุมนุมคน โรงแรม โรงมหรสพ สถานบริการ และห้างสรรพสินค้า

การประกาศใช้พระราชบัญญัติ พระราชกฎษฎีกา และกฎกระทรวงดังกล่าว ส่งผลให้ผู้ออกแบบและเจ้าของอาคารต้องปฏิบัติตามในส่วนที่เกี่ยวข้อง และอาคารสำนักงานถือว่าเป็นอาคารควบคุมที่ต้องมีการดำเนินการให้สอดคล้องกับกฎหมายดังกล่าวเช่นกัน ซึ่งอาคารสำนักงาน ตามความหมายที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง ฉบับที่ 7 พ.ศ. 2517 ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2479 หมายถึง อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นที่ทำการ (กระทรวงพลังงาน, 2517) โดยอาคารสำนักงานที่ใช้เป็นที่ทำการอย่างเดียว จะต้องมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร นอกจากการพิจารณาถึงค่า OTTV แล้วยังจะต้องพิจารณาถึงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ และประสิทธิภาพของเครื่องอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน หากอาคารมีคุณสมบัติตามที่กำหนด จึงจะถือได้ว่าผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย อย่างไรก็ตาม หากอาคารมีคุณสมบัติหลักค่าใดค่าหนึ่งไม่เป็นไป

ตามที่กำหนด ผู้ออกแบบจะต้องปรับปรุงแบบอาคารใหม่ หรือสามารถใช้เกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและเกณฑ์การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคารทดแทนได้ (ประกาศกระทรวงพลังงาน, 2552)

ปัจจุบันกระจกได้กลายมาเป็นส่วนประกอบหลักของผนังอาคาร โดยเฉพาะในอาคารขนาดใหญ่และอาคารสูงต่าง ๆ ซึ่งมีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่รวมของผนังอาคารค่อนข้างสูง (พิพัฒน์ ชัยวิวัฒนวรกุล และ พัฒนะ รักความสุข, 2552) การใช้กระจกเป็นผนังอาคารสามารถเพิ่มความหลากหลายสวยงามในการออกแบบ สร้างภาพลักษณ์เฉพาะตัวให้อาคารดูโดดเด่นและทันสมัย สามารถติดตั้งได้รวดเร็ว น้ำหนักเบากว่าโครงสร้างแบบทั่วไป และดูแลบำรุงรักษาง่าย อย่างไรก็ตาม การใช้กระจกเป็นผนังอาคาร มักก่อให้เกิดปัญหาแสงจ้าและปัญหาความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า จึงจำเป็น ต้องเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีคุณสมบัติในการลดความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร ในขณะที่ให้แสงสว่างธรรมชาติผ่านเข้ามาในอาคารได้มาก และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552)

อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้กระจกที่สามารถประหยัดพลังงานตามคุณสมบัติข้างต้นนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตกระจกมีความก้าวหน้าไปมาก ทำให้กระจกมีประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานสูงขึ้นและมีความหลากหลาย กระจกจึงไม่ใช่สินค้ามาตรฐานอีกต่อไป สามารถสั่งผลิตได้ตรงตามวัตถุประสงค์และการใช้งานที่หลากหลาย ทั้งนี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบหรือผู้ที่จะเลือกใช้กระจกจะต้องมีความรู้และความเข้าใจถึงคุณสมบัติของกระจกอนุรักษ์พลังงาน

ผลการศึกษาและแบบจำลองอาคารต้นแบบที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นการอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ออกแบบและให้ความรู้แก่เจ้าของอาคารและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารสำนักงาน ตลอดจนสามารถนำผลการศึกษาไปทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อเลือกใช้ประเภทของกระจกที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า การศึกษาในประเด็นนี้ ผู้วิจัยนิยมสำรวจข้อมูลอาคารสำนักงานโดยการพิจารณาจากแบบแปลนที่มีอยู่แล้ว แต่ยังไม่มีงานวิจัยฉบับใดที่ใช้แนวทางหรือวิธีการศึกษาโดยการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของสถาปนิกที่มีประสบการณ์และมี

ความเชี่ยวชาญในด้านการออกแบบอาคารสำนักงาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาสร้างเป็นแบบจำลองอาคารต้นแบบเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานครแต่อย่างใด อีกทั้งยังไม่พบวรรณกรรมใดที่มีการวิเคราะห์เชิงลึกทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนใช้กระจกเป็นผนังอาคาร ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านสถาปัตยกรรม โดยผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำแนวทางการศึกษาดังกล่าวไปศึกษาในประเด็นอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านผนังกระจกด้านข้าง
2. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของกระจกประเภทต่าง ๆ สำหรับเป็นแนวทางในการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานที่สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (OTTV) ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดตามกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยการศึกษานี้จะวิเคราะห์และประเมินผลทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะอาคารสำนักงานปรับอากาศขนาดใหญ่ที่มีความสูงเกิน 23 เมตร และมีพื้นที่มากกว่า 10,000 ตารางเมตรขึ้นไปในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยศึกษาเฉพาะอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูด 14 องศาเหนือ

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. อาคารสำนักงานที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ คืออาคารที่ใช้เป็นสำนักงานอย่างเดียว ไม่ได้ใช้เป็นอาคารที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ หรือศูนย์การค้า
2. ช่องเปิดของผนังกระจกในงานวิจัยนี้จะไม่มีอุปกรณ์บังแดดภายในและภายนอก ดังนั้น ค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด (Effective Shading Coefficient หรือ SC_{Eff})

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SC_1) เพราะค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2) จะเท่ากับ 1

3. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผนังกระจกด้านข้างเท่านั้น และใช้หลังคาทึบไม่โปร่งแสง จึงพิจารณาเฉพาะค่า OTTV โดยไม่พิจารณาถึงค่า RTTV

4. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารสำนักงานเท่านั้น ไม่รวมพื้นที่ส่วนกลาง เช่น ห้องเครื่อง โถงลิฟต์ และชั้นโพเดียม

5. งานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาครอบคลุมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ทำน้ำร้อน อีกทั้งยังไม่ได้ศึกษาครอบคลุมถึงการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร

6. กำหนดให้ค่าการนำความร้อนของผนังทึบเป็นตัวแปรคงที่

7. กำหนดให้ค่าก่อสร้างและวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ให้เป็นตัวแปรคงที่

8. ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวม (Electric End Use) ของอาคารในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลด้านสภาพอากาศโดยเฉลี่ย 30 ปี ของกรุงเทพมหานคร (สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, 2544)

9. ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use) ของอาคารในแต่ละครั้งจะสมมติให้ทุกทิศใช้ผนังกระจกประเภทเดียวกัน และมีอัตราส่วนพื้นที่ของช่องแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR) เท่ากันทุกทิศ

ข้อจำกัดของการวิจัย

การสำรวจข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการสำรวจข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน จาก 22 บริษัทในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีประสบการณ์ด้านการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นจากกลุ่มตัวอย่างจำนวนดังกล่าวอาจยังมีจำนวนไม่มากพอ ซึ่งอาจส่งผลให้การศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบในบางประเด็นไม่สามารถสรุปได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้ค่อนข้างมีความแตกต่างกันมาก อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้แก้ปัญหาดังกล่าวโดยมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลบางส่วนให้เหมาะสม โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดและทฤษฎีทางด้านสถาปัตยกรรมที่เกี่ยวข้อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ด้านการพัฒนาเชิงความรู้ เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาความรู้พื้นฐานด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจกประเภทต่างๆ เพื่อให้เข้าใจคุณสมบัติของกระจกชนิดต่างๆ ในการนำไปใช้เป็นวัสดุประหยัดพลังงานในอาคาร

2. ด้านการพัฒนาเชิงสาธารณะประโยชน์ เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ออกแบบมีทางเลือกในการใช้กระจกประเภทต่างๆอย่างเหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงในการตรวจประเมินอาคารไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนด อีกทั้งยังทำให้เจ้าของโครงการสามารถประเมินจุดคุ้มค่าทางการลงทุนในการใช้กระจกและสามารถจัดสรรงบประมาณที่ต้องใช้ได้ล่วงหน้า รวมถึงการประชาสัมพันธ์ให้แก่บุคคลทั่วไปได้มีโอกาสรู้จักและเข้าใจกระจกอนุรักษ์พลังงานมากยิ่งขึ้น ทำให้สามารถเลือกใช้กระจกที่มีคุณภาพสูง เกิดประโยชน์ทั้งแก่วงการออกแบบและก่อสร้างและสังคมโดยรวม

3. ด้านการพัฒนาเชิงพาณิชย์ ถึงแม้ว่าการออกแบบอาคารที่มีการใช้พื้นที่กระจกมากๆ อาจทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน เพราะการส่งผ่านความร้อนในบริเวณใกล้กระจกจะเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับเครื่องปรับอากาศ อย่างไรก็ตาม ปัญหาต่างๆเหล่านี้จะลดลงถ้าเลือกใช้กระจกที่เหมาะสม ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตกระจกได้พัฒนาไปอย่างต่อเนื่องจนทำให้เกิดกระจกที่สามารถอนุรักษ์พลังงานได้ดียิ่งขึ้น ในขณะที่สามารถสร้างเอกลักษณ์โดดเด่นในการออกแบบอาคารได้หลากหลายมากขึ้น ผู้ออกแบบจึงไม่จำเป็นที่จะต้องลดพื้นที่ผนังกระจก จนทำให้อาคารดูทึบตันไม่สวยงามและดูล้าสมัย การส่งเสริมการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานอย่างแพร่หลายช่วยเปิดโอกาสให้ผู้ออกแบบสร้างสรรค์สถาปัตยกรรมไทยจากกระจกได้หลากหลายมากขึ้น

4. ด้านการพัฒนาเชิงนโยบาย จากสถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดวิกฤตการณ์โลกร้อน การออกแบบอาคารและการเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานเป็นผนังอาคารคืออีกทางเลือกหนึ่งในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก และลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ จึงทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับนโยบายการบริหารจัดการพลังงานของประเทศในปัจจุบัน

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552” แบ่งการนำเสนอออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการนำเสนอถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ข้อจำกัดของการวิจัย คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระจกอนุรักษ์พลังงาน แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร และแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินโครงการลงทุน

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย เป็นการนำเสนอถึง ประชากร กลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล รายละเอียดของตัวแปร ขั้นตอนการวิจัย และแผนการวิจัย ตามลำดับ

บทที่ 4 นำเสนอผลการวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจ สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิค และสรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

บทที่ 5 นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับ สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

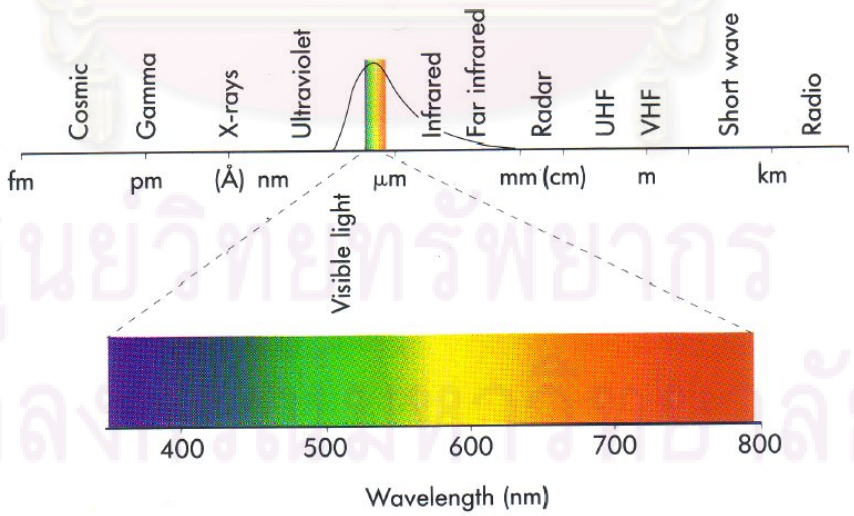
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในบทนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระจกอนุรักษ์พลังงาน แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร และแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินโครงการลงทุน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระจกอนุรักษ์พลังงาน

1. **<u>พฤติกรรมของแสงผ่านกระจก</u>**

การที่คนเราสามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ได้นั้น เนื่องจากคลื่นแสงที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ โดยคลื่นแสงดังกล่าวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ที่มีความถี่ของคลื่นสั้นมาก มีหน่วยวัดเป็นนาโนเมตร (Nanometre) ซึ่งคลื่นแสงต่าง ๆ จะมีความยาวของคลื่นเรียงจากน้อยไปหามากคือ รังสีคอสมิค รังสีแกมม่า รังสีเอ็กซ์ รังสีอุลตราไวโอเล็ต แสงที่คนเราสามารถมองเห็น รังสีอินฟราเรด ไมโครเวฟ คลื่นเรดาร์ คลื่นวิทยุโทรทัศน์ จนถึงคลื่นโทรศัพท์ที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์

ที่มา. http://www.pilkington.com

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นการลำดับรังสีต่าง ๆ ซึ่งแสงที่ตามองเห็นจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380-780 นาโนเมตร แต่โดยทั่วไปแล้วมนุษย์สามารถตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 555 นาโนเมตรได้มากที่สุด ส่วนปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการมองเห็นประกอบด้วย ปริมาณแสง (Luminous Flux) ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminour Intensity) ความส่องสว่าง (Illuminous) และความสว่าง (Luminance) (วรวุฒิ ศิริรัชฎาภะ, 2550: 38-40) แสงที่เรามองเห็นนั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แสงขาว (White Light) ที่ประกอบด้วยสีต่าง ๆ รวมกันอยู่ภายในแสงขาว โดยเราสามารถมองเห็นสีแท้ที่รวมตัวกันอยู่ในแสงขาวได้หลายลักษณะ ดังนี้ (ปิยานันต์ ประสารราชกิจ, 2521: 2-3)

1. คลื่นแสงถูกรบกวน (Interference) สีจะเกิดขึ้นเมื่อแสงส่องผ่านแผ่นโปร่งใสบาง ๆ เช่น น้ำมันหรือฟองสบู่ คลื่นแสงจะผ่านวัตถุนี้ไปไม่ได้ทั้งหมด จึงเกิดสีรุ้งขึ้น ซึ่งจะแตกต่างไปตามความหนาบางของวัตถุ เช่น รุ้งบนเปลือกหอยมุข เป็นต้น

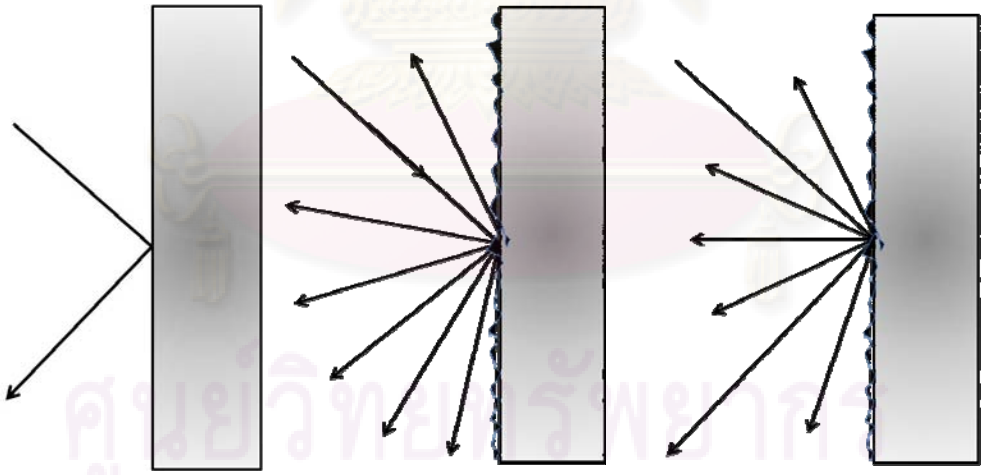
2. การหักเหของแสง (Refraction) เกิดจากการที่แสงส่องผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า เช่น กระจกหรือน้ำ แต่ละความยาวคลื่นของแสงจะหักเหแตกต่างกันไป ทำให้แสงขาวแตกออกเป็นสีต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การเกิดรุ้งกินน้ำ เป็นต้น

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

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

เมื่อแสงตกกระทบกระจก จะส่งผลให้พฤติกรรมของแสงหรือแนวทางเดินของแสงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถแบ่งพฤติกรรมของแสงออกเป็น 3 ประเภท (กิรณา ธรรมสุข, 2551: 16-17) ดังนี้

1. การสะท้อนของแสง (Light Reflection) หมายถึง การที่แสงตกกระทบผิวของกระจกแล้วสะท้อนแสงออกมาโดยที่ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการสะท้อนแสงแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะได้แก่ (1) การสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา (Specular Reflection) เป็นการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวของกระจกที่เรียบและแบน โดยแสงที่ตกกระทบจะมีการสะท้อนในลักษณะที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนแสงเช่น กระจกเงาทึบแสง (2) การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) การสะท้อนแสงแบบนี้เกิดขึ้นในกรณีที่แสงตกกระทบบนกระจกที่มีพื้นผิวไม่ราบเรียบ หรือผิวด้าน ทำให้แสงที่สะท้อนออกมากระจายไปทุกทิศทาง มุมสะท้อนแสงและมุมตกกระทบจะไม่เท่ากัน โดยหากกระจกมีผิวไม่ราบเรียบเสมอกันทั่วแผ่น จะทำให้แสงที่สะท้อนออกมาจะมีการกระจายแสงอย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) ในทางกลับกัน หากผิวกระจกนั้นไม่ราบเรียบอย่างสม่ำเสมอ แสงจะสะท้อนออกมาอย่างกระจัดกระจายไม่เสมอกัน ซึ่งเรียกว่า (3) การสะท้อนแบบผสม (Spread Reflection) เป็นลักษณะการสะท้อนแสงที่ผสมผสานกันระหว่างแบบกระจกเงาและการสะท้อนแสงแบบกระจาย โดยเป็นการสะท้อนแสงที่พบมากที่สุด (Button & Pye, 1993: 45-46) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-2.4



รูปที่ 2.2 การสะท้อนแสงแบบกระจกเงา

รูปที่ 2.3 การสะท้อนแสงแบบกระจัดกระจาย

รูปที่ 2.4 การสะท้อนแสงแบบผสม

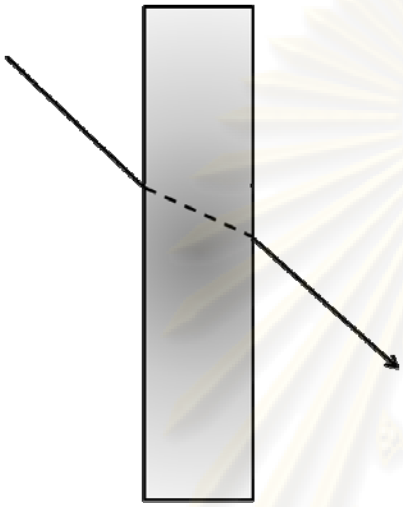
ที่มา. Button and Pye (1993: 45-46)

ในการพิจารณาค่าคุณสมบัติกระจกจะพบว่ามีทั้งค่าสะท้อนแสงภายนอก (Visible Light Reflection Out) และค่าสะท้อนแสงภายใน (Visible Light Reflection In) กระจกที่มีค่าการสะท้อนแสงภายนอกมากจะทำให้ปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาในอาคารลดลง ทำให้อาคารต้องใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์เพิ่มขึ้น อีกทั้งถ้าค่าสะท้อนแสงนั้นมากเกินไปจะรบกวนบุคคลภายนอกอาคารได้ ซึ่งตามกฎหมายกำหนดค่าสะท้อนแสงภายนอกไม่ให้เกินร้อยละ 30 นอกจากนี้ หากมีค่าการสะท้อนแสงภายในมากจะทำให้ผู้ใช้อาคารในตอนกลางคืนมองเห็นเงาของตัวเองสะท้อนในกระจก และไม่สามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอกได้ชัดเจน เช่น กระจกสะท้อนแสงที่มีสีทึบ

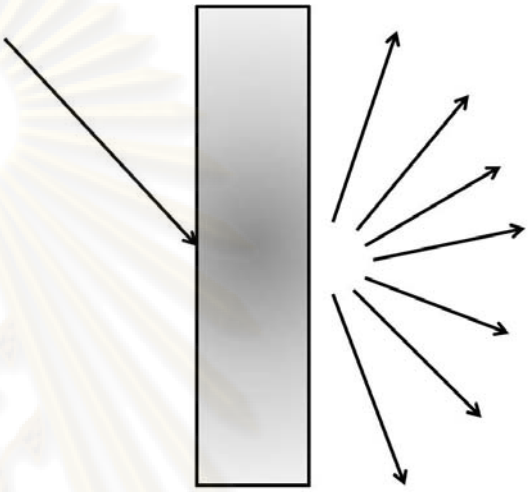
2. การดูดกลืนของแสง (Light Absorption) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนเข้าไปในเนื้อกระจกที่แสงตกกระทบ โดยปริมาณการถูกดูดกลืนของแสงขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดกลืนของกระจกที่เป็นตัวกลางซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสีและประเภทของกระจก เช่น กระจกสีชาดำจะมีการดูดกลืนแสงมากทำให้แสงธรรมชาติส่องผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อย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

3. การส่องผ่านของแสง (Light Transmission) หมายถึง การที่แสงตกกระทบกระจกแล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของกระจกได้ โดยเมื่อแสงตกกระทบกระจก แสงส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกระจก ในขณะที่แสงอีกส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านออกมา ดังนั้น ปริมาณแสงทั้งหมด จึงหมายถึงผลรวมของปริมาณแสงสะท้อน ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน และปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่านนั่นเอง การส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ (1) กรณีตัวกลางโปร่งใส (Transparent Medium) เช่น กระจกใสและกระจกสีต่าง ๆ เมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเหและการเปลี่ยนทิศทางของแสง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสีและคุณสมบัติของกระจกนั้น ๆ และแสงจะทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 2.5 และ (2) กรณีตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium) เช่น กระจกฝ้า กระจกพ่นทราย กระจกเคลือบสีเซรามิคโปร่งแสง เป็นต้น การส่องผ่านของแสงที่ผ่านตัวกลางประเภทนี้จะมีลักษณะกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแสงแหล่งกำเนิดที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน (บุรพล แจ้งสว่าง, 2548: 19-20) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ จะพบว่ามีค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmission) ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการควบคุมแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานอาคาร เช่น ห้องสมุดที่

ต้องการใช้แสงสว่างธรรมชาติมาก ๆ จะเลือกใช้กระจกที่มีค่าแสงส่องผ่านสูง ในขณะที่อาคารสำนักงานที่ใช้งานตอนกลางวันและต้องการความเป็นส่วนตัวโดยมิให้บุคคลภายนอกมองเข้ามาในอาคารได้ชัดอาจเลือกใช้กระจกสะท้อนแสงที่มีค่าแสงส่องผ่านต่ำกว่า



รูปที่ 2.5
การส่องผ่านแสงแบบหักเห



รูปที่ 2.6
การส่องผ่านของแสงแบบฟุ้งกระจาย

ที่มา. Button and Pye (1993: 46)

แนวคิดในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้นนอกจากจะคำนึงถึงพฤติกรรมของแสงที่กระทำต่อกระจกแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบช่องแสงเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ลง เมื่อกล่าวถึงแสงสว่างธรรมชาติจะหมายถึงแสงสว่างในเวลากลางวัน ซึ่งมีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติจึงขึ้นอยู่กับการโคจรขึ้นลงของดวงอาทิตย์ และการโคจรนี้ก็มีผลกระทบกับการเห็นสีต่าง ๆ ของเรา แสงธรรมชาติจะแปรเปลี่ยนตามเวลาและฤดูกาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโลกที่โคจรไปรอบ ๆ ดวงอาทิตย์ ในแต่ละวันก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นจะมีแสงเรือง ๆ บนท้องฟ้า สีที่เห็นจะไม่ชัดเจนเนื่องจากมีปริมาณแสงน้อยมาก จะปรากฏเป็นเพียงโทนสีเย็นทึม ๆ คล้ายสีเทา เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นสีจะค่อย ๆ อุ่นขึ้นและปรากฏเป็นแสงขาว (White Light) แสงขาวนี้เป็นแสงที่จะเห็นสีได้ชัดเจนที่สุดในตอนเที่ยงวัน ในช่วงบ่ายแสงจะยังคงอุ่นขึ้นเรื่อย ๆ และจะออกเป็นสีแดงเรื่อเมื่อเวลาดวงอาทิตย์ใกล้ตกดิน นอกจากนี้ สภาพที่เปลี่ยนแปลงของ

อากาศจะเป็นตัวแปรทำให้สีของแสงธรรมชาติเปลี่ยนไปได้ เช่น ปริมาณเมฆบนท้องฟ้าจะกรองคลื่นแสงสีแดง แสด และเหลือง ทำให้สีต่าง ๆ ปรากฏหม่นลง ในการวางมาตรฐานสีจะใช้สีที่ปรากฏภายใต้สภาพแสงที่แรงที่สุดขณะเที่ยงวัน สาเหตุที่ยึดสีภายใต้แสงนี้เป็นมาตรฐานก็เพราะถือเป็นสภาพแสงที่แจ่มชัด การพิจารณาความถูกต้องของสี (Color Rendering) วัตถุต่าง ๆ ด้วยวิธีง่าย ๆ เทียบได้จากแสงเที่ยงวัน แม้ว่าการเทียบสี 2 สีให้เท่ากันอย่างถูกต้องจะทำได้ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) ก็ตาม เช่นเดียวกับวิธีการเทียบสีกระจกที่จะต้องมองสีกระจกผ่านแสงธรรมชาติ จึงจะเห็นสีกระจกอันใกล้เคียงกับกระจกผนังที่จะใช้งานจริงมากที่สุด

แสงธรรมชาติมีผลกระทบต่อสีภายในเช่นเดียวกับภายนอกอาคาร องค์ประกอบต่าง ๆ ในงานตกแต่งภายใน ไม่ว่าจะเป็นพื้น ผนัง เครื่องเรือน ล้วนได้รับอิทธิพลจากแสงในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ห้องที่มีหน้าต่างหรือช่องแสงหันไปทางทิศตะวันออกจะได้รับแสงแดดในช่วงเช้า ห้องที่หันไปทางทิศตะวันตกจะได้แสงที่ร้อนแรงของแดดบ่ายไปจนถึงเย็น แสงเหนือเป็นแสงสว่างที่ไม่ได้รับแดดเข้าภายในอาคารโดยตรง จึงเป็นแสงที่รวมคลื่นแสงทุกสีไว้ ห้องที่ได้รับแสงทางทิศเหนือจึงสามารถเห็นสีได้ถูกต้องชัดเจน อีกทั้งการเปิดช่องให้แสงเข้าทางด้านบน (Skylights) แสงจะกระจายไปทั่วห้องช่วยสร้างสมดุลแสงจากทุกทิศทางได้ดี

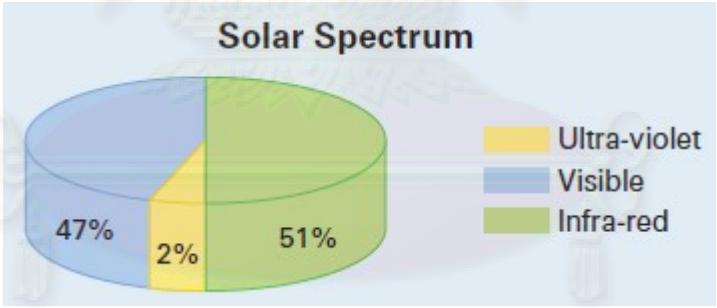
อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาใช้แสงธรรมชาติในอาคาร จะต้องให้ความสำคัญกับสภาวะน่าสบายด้วย โดยภาวะสบายเนื่องจากการมองเห็นและแสงสว่าง (Visual and Lighting Comfort) หมายถึง การที่ภายในอาคารมีแสงสว่างเพียงพอ และแสงไม่บาดตาเกินไป ความบาดตา (Glare) ของแสงเกิดจากความแตกต่างระหว่างแสงภายนอกกับแสงภายในมีมากจนเกินไป หรืออาจเกิดจากแสงที่มากจนเกินไป ถึงแม้ว่าคนเราจะสามารถปรับสายตาให้เหมาะสมกับความสว่างที่มากเกินไปในที่แจ้งได้ แต่หากความสว่างบริเวณที่สว่างที่สุดกับบริเวณที่มืดที่สุดมีความแตกต่างกันมากเกินไป บริเวณที่มีแสงสว่างมากเกินไปอาจก่อให้เกิดสภาวะไม่น่าสบาย ในขณะที่บริเวณที่มืดที่สุดอาจทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้เลย ซึ่งหากมีความแตกต่างกันมากกว่า 10:1 อาจก่อให้เกิดแสงบาดตาได้ (Button & Pye, 1993: 98)

หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระจกและสภาวะน่าสบาย พบว่า กระจกมีอิทธิพลต่อภาวะน่าสบาย เนื่องจากการได้รับความร้อน (Heat Gain) และการสูญเสียความร้อน (Heat Loss) ผ่านกระจกสามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิภายในห้องได้ นอกจากนั้นยังมีการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีระหว่างกระจกและผู้ที่อาศัยภายในอาคาร ยกตัวอย่างเช่น คนที่ทำงานติดกับหน้าต่างกระจก อุณหภูมิของผิวกระจกด้านที่อยู่ภายในอาคารจะมีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายอันเป็นผลมาจากการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างคนกับหน้าต่าง ดังนั้น

สภาวะน่าสบายนี้จะขึ้นอยู่กับความใกล้หน้าต่าง ตลอดจนขนาดของหน้าต่าง และอุณหภูมิผิวของกระจก (Button & Pye, 1993: 123)

2. **<u>การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก</u>**

แสงอาทิตย์หรือแสงแดด คือ แสงที่มีแหล่งกำเนิดจากดวงอาทิตย์และเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมายังผิวโลก พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ คือ (1) รังสีอุลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet หรือ UV) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 280 – 380 นาโนเมตร โดยทั่วไปแล้วจะมีปริมาณร้อยละ 2 ของรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังโลก (2) แสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 380-780 นาโนเมตร ประกอบด้วยสีที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้แก่ สีแดง ส้ม เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม และม่วง โดยความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้หรือแสงธรรมชาติมีปริมาณร้อยละ 47 ของพลังงานของรังสีอาทิตย์และ (3) รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 780-2,500 นาโนเมตร มีอัตราส่วนร้อยละ 51 ของรังสีอาทิตย์ (http://www.gjames.com.au, 2010:18) ดังรายละเอียดในรูปที่ 2.7



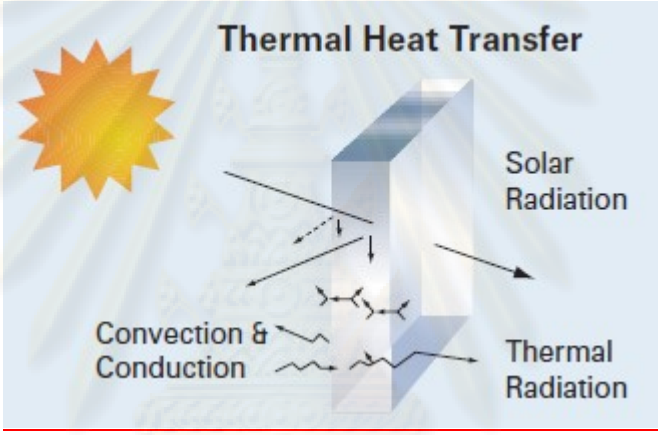
รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของพลังงานจากสเปกตรัมรังสีอาทิตย์

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

จึงกล่าวได้ว่าแสงธรรมชาติและรังสีอินฟราเรดนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพลังงานแสงอาทิตย์และเป็นปัจจัยที่ควรพิจารณาเมื่อจะเลือกกระจกที่ใช้เป็นผนังอาคาร และถึงแม้ว่ารังสี UV จะมีปริมาณน้อยกว่าแสงธรรมชาติและรังสีอินฟราเรด แต่ก็สามารถทำให้วัสดุตกแต่งภายในอาคารที่ทำจากผ้าและพลาสติกซีดจางและเสื่อมคุณภาพในระยะยาวได้ การเคลือบสารสะท้อนแสง (Solar Reflective Coating) และสารแผ่รังสีต่ำ (Low-Emisitivity Coating) บนผิวกระจกเป็นอีก

ทางเลือกหนึ่งที่ควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ผ่านกระจกได้ อีกทั้งการใช้ฟิล์ม PVB กั้นระหว่างกระจกลามิเนตนั้นจะช่วยลดรังสี UV ที่ผ่านเข้ามาในอาคารเช่นกัน

เมื่อผนังกระจกได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ จะเกิดการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นตัวผลักดัน และความร้อนนั้นจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งอุณหภูมิทั้ง 2 ที่เท่ากัน กระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารที่เป็นกระจกอาศัยการเดินทางของความร้อนผ่านกระจกในลักษณะต่าง ๆ กันได้ 3 รูปแบบ ดังรายละเอียดในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การถ่ายเทความร้อนของกระจก

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

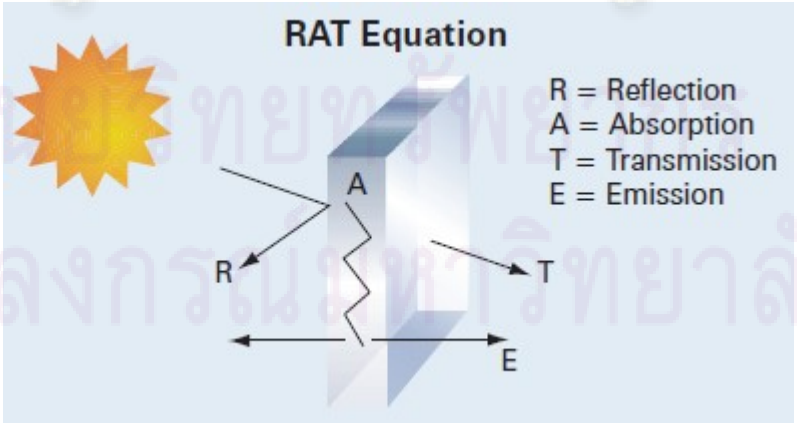
1) การนำความร้อน (Thermal Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลของสาร 2 ชนิดที่อยู่ติดกัน มีการชนกัน และแลกเปลี่ยนพลังงานซึ่งกันและกัน การนำความร้อนเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่ร้อนกว่าหรือมีพลังงานมากกว่าเกิดการสั่นสะเทือนแล้วถ่ายเทพลังงานของมันไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่าหรือมีพลังงานน้อยกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่าโมเลกุลที่มีพลังงานมากกว่าจะสูญเสียพลังงานให้แก่โมเลกุลที่มีพลังงานน้อยกว่าโดยที่ตัวกลางของมันไม่มีการเคลื่อนที่ (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2552: 5) Moore (1993) กล่าวไว้ว่า ความสามารถในการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้คือ (1) ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววัตถุที่มีความหนาแน่นสูงและมีโพรงอากาศน้อย จะนำความร้อนได้มาก (2) ความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยหากอุณหภูมิของวัตถุแต่ละด้านแตกต่างกันมาก จะเกิดการนำความร้อนได้มาก

(3) ความหนาของวัตถุ ซึ่งวัตถุที่มีความหนาน้อย จะเกิดการนำความร้อนได้มาก (4) พื้นที่เปิด การที่อาคารมีพื้นที่เปิดต่อความแตกต่างของอุณหภูมิมาก ย่อมทำให้เกิดการนำความร้อนมาก และ (5) ระยะเวลาในการสัมผัสความร้อน โดยหากวัตถุมีการสัมผัสความร้อนเป็นระยะเวลานาน ก็จะเกิดการนำความร้อนได้มาก ดังนั้น โลหะจึงเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาคือ คอนกรีต และอิฐตามลำดับ (พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาธร, 2550: 15) อาจกล่าวได้ว่าการที่เราใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อน (R Value) สูง หรือวัสดุที่มีค่าการส่งผ่านความร้อน (U Value) ต่ำ จะช่วยลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้ โดยหากอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารแตกต่างกันมาก จะมีการนำความร้อนเข้าไปภายในอาคารได้มาก ในทางกลับกัน หากอุณหภูมิดังกล่าวมีความแตกต่างกันน้อย ก็จะสามารถนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อย (พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาธร, 2550: 17) ในการพิจารณาค่าการนำความร้อนของผนังกระจกนั้นจะต้องพิจารณาค่า U ของกระจกเป็นสำคัญ ซึ่งค่า U นี้สามารถขอได้ที่ผู้ผลิตกระจก ค่า U นี้อาจเกิดจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมจำลอง (Simulation Software) หรือเกิดจากการสแกนค่ากระจกจริงจากผู้ผลิต ในการคำนวณหาค่าการนำความร้อนผ่านผนังกระจกจะต้องพิจารณาพื้นที่ของกระจกและความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารร่วมกับค่า U ของกระจก

2) การพาความร้อน (Thermal Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวกลางที่เป็นของไหล ซึ่งได้แก่ ก๊าซ หรือ ของเหลว ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปจากผิวของวัสดุ ซึ่งถ้าวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่าของไหลที่พัดผ่าน ความร้อนจากวัตถุก็จะถูกพาไป แต่ถ้าของไหลมีอุณหภูมิสูงกว่าวัตถุ จะเกิดการพาความร้อนจากของไหลไปสู่ผิวของวัตถุ การพาความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ (1) การพาความร้อนแบบอิสระโดยธรรมชาติ (Free or Natural Convection) ซึ่งอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของไหลจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและ (2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) โดยใช้แรงภายนอกมาบังคับการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่างกัน สำหรับกรณีที่ลมมีความเร็วมากกว่า 4-5 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะถือว่าเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2552) การเจาะช่องเปิดในอาคารแสดงถึงมีการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ดังนั้นหากต้องการให้มีการระบายอากาศภายในอาคารเพื่อป้องกันการนำความร้อนที่เกินความต้องการเข้าสู่อาคาร จำเป็นต้องปรับสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคารให้มีอุณหภูมิต่ำลงก่อน ในทางกลับกัน อาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศจะต้องลดพื้นที่ผิวที่มีความแตกต่างของความกดอากาศสูงให้มีค่าน้อยลง เพื่อลดโอกาสการรั่วซึมของอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอากาศชื้นเข้าสู่อาคาร (พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาธร, 2550: 14)

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

เช่นเดียวกัน การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีของกระจกนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อแสงอาทิตย์มากระทบที่ผิวกระจกและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) นี้จะถูกสะท้อนออกมานอกอาคาร (Solar Reflectance) บางส่วนถูกดูดกลืนในเนื้อกระจก (Solar Absorption) บางส่วนถูกดูดกลืนในเนื้อกระจกก่อนแล้วค่อยแผ่รังสีความร้อนออกมาสู่ทั้งภายนอกและภายในอาคาร (Solar Emissivity) และสุดท้ายคือส่วนที่พลังงานแสงอาทิตย์สามารถทะลุผ่านกระจกเข้ามาในอาคาร (Solar Transmittance) เมื่อรวมพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดจะได้สมการ RAT ดังแสดงในรูปที่ 2.9



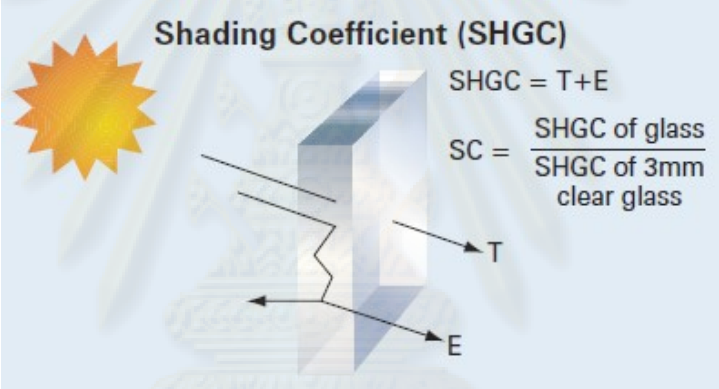
รูปที่ 2.9 สมการ RAT

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

3. **<u>คุณสมบัติของกระจกอนุรักษ์พลังงาน</u>**

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

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient หรือ SHGC) หมายถึง อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนที่โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.10



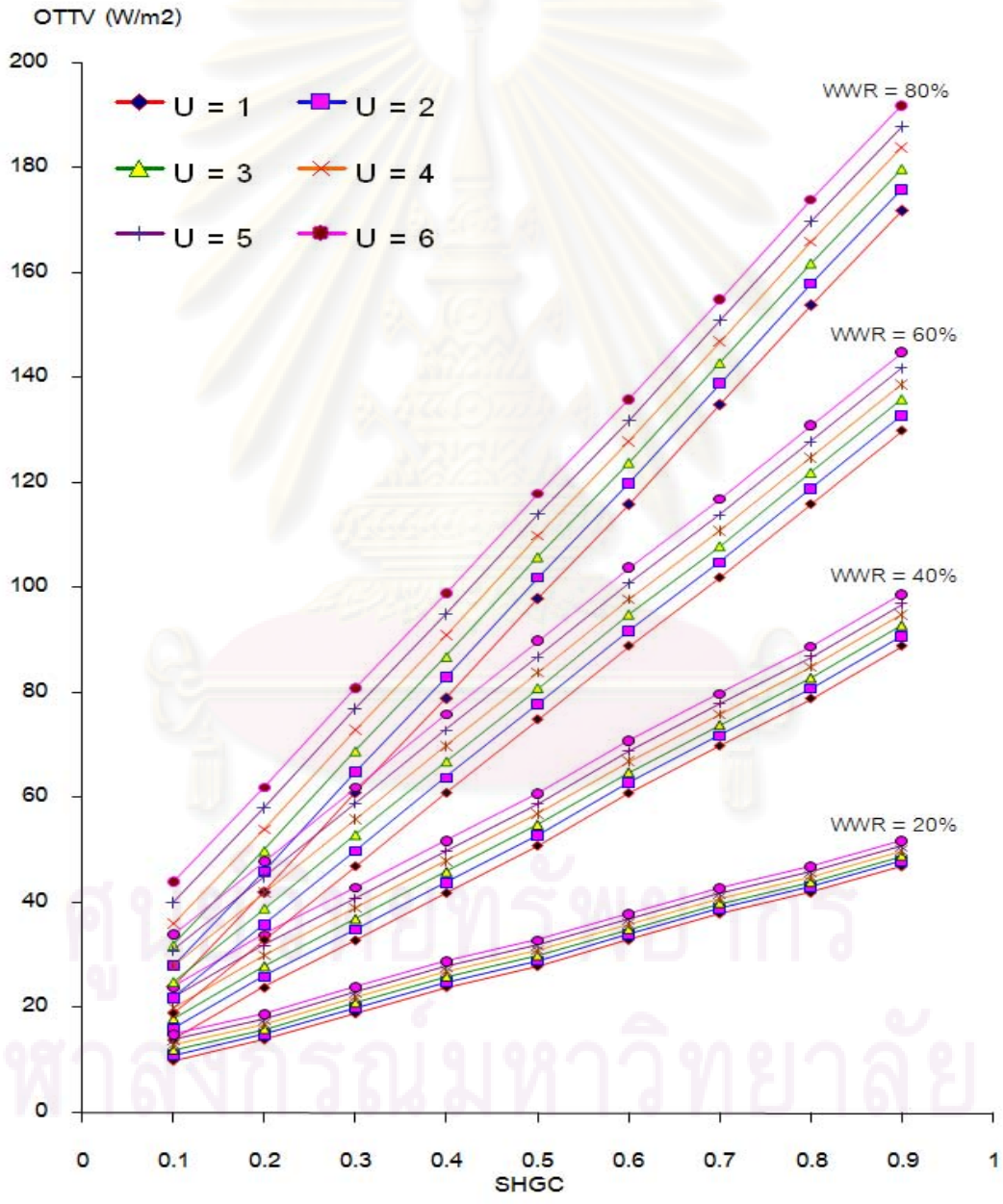
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SC และค่า SHGC

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

2) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (Overall Coefficient of Heat Transmission หรือ U Value) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดของวัสดุ และฟิล์มอากาศ ค่า U เป็นส่วนกลับของค่าความต้านทางความร้อนรวม (Total Thermal Resistance) มีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์ (m^2. °C)/W)

จากรูปที่ 2.11 และตารางที่ 2.1 ผู้วิจัยได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC และ OTTV โดยใช้ข้อมูลของอาคารต้นแบบในกรณีศึกษามาคำนวณ ทั้งนี้ มีการกำหนดให้ค่า U มีค่าคงที่ ซึ่งจะพบว่าเมื่อค่า SHGC สูงขึ้น จะทำให้ค่า OTTV สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีความชัดเจนมากขึ้นเมื่อค่า WWR สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า การลดลงของค่า SHGC เพียงเล็กน้อยสามารถลดค่า OTTV ลงได้มากหากอาคารนั้นมีการใช้พื้นที่กระจกมาก (WWR สูง)

เช่นเดียวกัน เมื่อค่า U เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้ค่า OTTV เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของค่า U และค่า SHGC จะพบว่าค่า SHGC มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า OTTV มากกว่าค่า U สอดคล้องกับผลการศึกษาของการุณย์ ศุภมิตรโยธิน (2548: 66) ที่พบว่า ค่า SC ของกระจกเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงกว่าค่า U ประมาณ 2.5 เท่า ดังนั้น การพิจารณาคุณสมบัติกระจกเพื่อการประหยัดพลังงานควรพิจารณาค่า SC หรือ SHGC ก่อนเป็นอันดับแรก

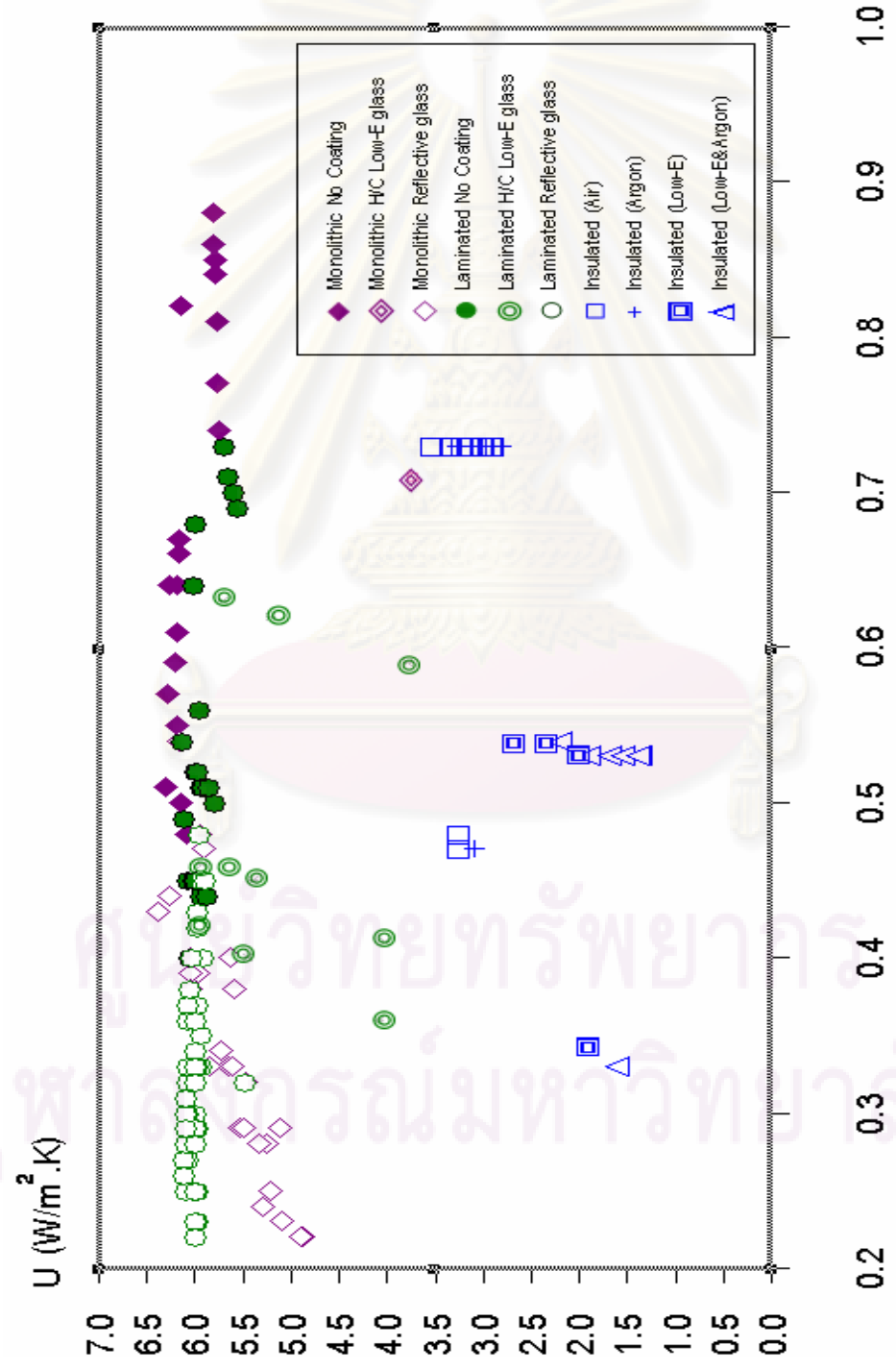


รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SHGC ค่า U และค่า OTTV

ตารางที่ 2.1 ค่า SHGC ค่า U และค่า OTTV

WWR = 80%											
U = 1		U = 2		U = 3		U = 4		U = 5		U = 6	
SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV
0.1	24	0.1	28	0.1	32	0.1	36	0.1	40	0.1	44
0.2	42	0.2	46	0.2	50	0.2	54	0.2	58	0.2	62
0.3	61	0.3	65	0.3	69	0.3	73	0.3	77	0.3	81
0.4	79	0.4	83	0.4	87	0.4	91	0.4	95	0.4	99
0.5	98	0.5	102	0.5	106	0.5	110	0.5	114	0.5	118
0.6	116	0.6	120	0.6	124	0.6	128	0.6	132	0.6	136
0.7	135	0.7	139	0.7	143	0.7	147	0.7	151	0.7	155
0.8	154	0.8	158	0.8	162	0.8	166	0.8	170	0.8	174
0.9	172	0.9	176	0.9	180	0.9	184	0.9	188	0.9	192
WWR = 60%											
U = 1		U = 2		U = 3		U = 4		U = 5		U = 6	
SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV
0.1	19	0.1	22	0.1	25	0.1	28	0.1	31	0.1	34
0.2	33	0.2	36	0.2	39	0.2	42	0.2	45	0.2	48
0.3	47	0.3	50	0.3	53	0.3	56	0.3	59	0.3	62
0.4	61	0.4	64	0.4	67	0.4	70	0.4	73	0.4	76
0.5	75	0.5	78	0.5	81	0.5	84	0.5	87	0.5	90
0.6	89	0.6	92	0.6	95	0.6	98	0.6	101	0.6	104
0.7	102	0.7	105	0.7	108	0.7	111	0.7	114	0.7	117
0.8	116	0.8	119	0.8	122	0.8	125	0.8	128	0.8	131
0.9	130	0.9	133	0.9	136	0.9	139	0.9	142	0.9	145
WWR = 40%											
U = 1		U = 2		U = 3		U = 4		U = 5		U = 6	
SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV
0.1	14	0.1	16	0.1	18	0.1	20	0.1	22	0.1	24
0.2	24	0.2	26	0.2	28	0.2	30	0.2	32	0.2	34
0.3	33	0.3	35	0.3	37	0.3	39	0.3	41	0.3	43
0.4	42	0.4	44	0.4	46	0.4	48	0.4	50	0.4	52
0.5	51	0.5	53	0.5	55	0.5	57	0.5	59	0.5	61
0.6	61	0.6	63	0.6	65	0.6	67	0.6	69	0.6	71
0.7	70	0.7	72	0.7	74	0.7	76	0.7	78	0.7	80
0.8	79	0.8	81	0.8	83	0.8	85	0.8	87	0.8	89
0.9	89	0.9	91	0.9	93	0.9	95	0.9	97	0.9	99
WWR = 20%											
U = 1		U = 2		U = 3		U = 4		U = 5		U = 6	
SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV	SHGC	OTTV
0.1	10	0.1	11	0.1	12	0.1	13	0.1	14	0.1	15
0.2	14	0.2	15	0.2	16	0.2	17	0.2	18	0.2	19
0.3	19	0.3	20	0.3	21	0.3	22	0.3	23	0.3	24
0.4	24	0.4	25	0.4	26	0.4	27	0.4	28	0.4	29
0.5	28	0.5	29	0.5	30	0.5	31	0.5	32	0.5	33
0.6	33	0.6	34	0.6	35	0.6	36	0.6	37	0.6	38
0.7	38	0.7	39	0.7	40	0.7	41	0.7	42	0.7	43
0.8	42	0.8	43	0.8	44	0.8	45	0.8	46	0.8	47
0.9	47	0.9	48	0.9	49	0.9	50	0.9	51	0.9	52

จากข้อสรุปข้างต้นทำให้มั่นใจว่าทั้งค่า SHGC และค่า U เป็นค่าที่มีผลกระทบต่อค่า OTTV จริง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ ที่มีค่า U และค่า SHGC ที่แตกต่างกันเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และภาคผนวก ข



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า U และค่า SHGC ของกระจกประเภทต่าง ๆ

ที่มา. บริษัท กระจกรีเฟลคเตชั่นทอรัส จำกัด (2553)

จากรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่ากระจกแต่ละประเภทมีค่า SHGC และค่า U ที่หลากหลาย โดยกระจกที่มีค่า U สูงมักจะเป็นกระจกแผ่นเดี่ยวหรือกระจกลามิเนต หากต้องการให้ค่า U ต่ำ จะต้องเปลี่ยนมาใช้กระจกอินซูเลต ในขณะที่กระจกที่มีค่า SHGC สูงมักเป็นกระจกธรรมดาที่ไม่มีการเคลือบสารใด ๆ หากต้องการให้ค่า SHGC ลดลง จะต้องเปลี่ยนมาเป็นกระจกที่เคลือบสาร Low-E หรือเป็นกระจกสะท้อนแสง เป็นต้น และการที่จะทำให้ค่า OTTV ลดลงได้นั้น จะต้องเลือกกระจกที่มีค่า U และค่า SHGC ต่ำ นอกจากนี้ ควรพิจารณาถึงคุณสมบัติของกระจกในการยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้าไปภายในอาคาร (VT) ในบางกรณีอาจพิจารณาถึงความต้องการแสงสว่างธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยไม่นำความร้อนเข้าสู่อาคาร (LSG) ด้วย ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจเลือกใช้กระจกของผู้ออกแบบและผู้อยู่อาศัย โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่า U ค่า SHGC ค่า VT และค่า LSG ได้แก่ ชนิดของกระจก สีและความหนา และสารเคลือบผิวกระจก (พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาธร, 2550: 19)

1. ชนิดของกระจก หากแบ่งประเภทกระจกตามลักษณะภายนอก จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ กระจกแผ่นเดี่ยว (Monolithic Glass) กระจกแผ่นคู่ (Laminated Glass) และกระจกฉนวนที่มีช่องว่างอากาศอยู่ตรงกลาง หรือกระจกอินซูเลต (Insulated Glass) จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของค่า U และค่า SHGC ในรูปที่ 2.12 จะพบว่ากระจกแผ่นเดี่ยวและกระจกแผ่นคู่มีค่า U สูงในระดับใกล้เคียงกัน ส่วนกระจกอินซูเลตจะมีค่า U ต่ำกว่ามาก และในกรณีที่ไม่มีการเคลือบสารใด ๆ บนผิวกระจก จะพบว่าลักษณะภายนอกของกระจกไม่ได้มีผลต่อการลดค่า SHGC มากนัก ดังนั้น หากต้องการลดค่า U ของกระจกลงควรเปลี่ยนชนิดของกระจกให้เป็นฉนวนมากขึ้น เพราะกระจกเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง การเปลี่ยนแปลงกระจกแผ่นเดี่ยวหรือกระจกแผ่นคู่ให้เป็นกระจกอินซูเลต จะช่วยลดการนำความร้อนจากกระจกแผ่นนอกไปสู่กระจกแผ่นในอาคาร นอกจากนี้ ภายในช่องว่างอากาศของกระจกอินซูเลตจะบรรจุอากาศแห้ง (Air) หรือก๊าซเฉื่อย (Argon Gas) เพื่อช่วยลดการนำความร้อนและการพาความร้อนผ่านผนังกระจก จึงทำให้กระจกมีค่า U ต่ำลง (การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548: 34) นอกจากนี้ หากพิจารณาถึงค่าแสงส่องผ่าน (VT) ของกระจกทั้ง 3 ชนิดจะพบว่ามีค่าความแตกต่างของค่า VT ในช่วงค่อนข้างกว้าง (ดูรายละเอียดในรูปที่ 2.13) ดังนั้น การเปลี่ยนรูปแบบของกระจกไม่ได้มีผลกระทบต่อค่า VT มากนัก แต่ค่า VT จะเปลี่ยนไปตามสีกระจกและสารเคลือบกระจกมากกว่า

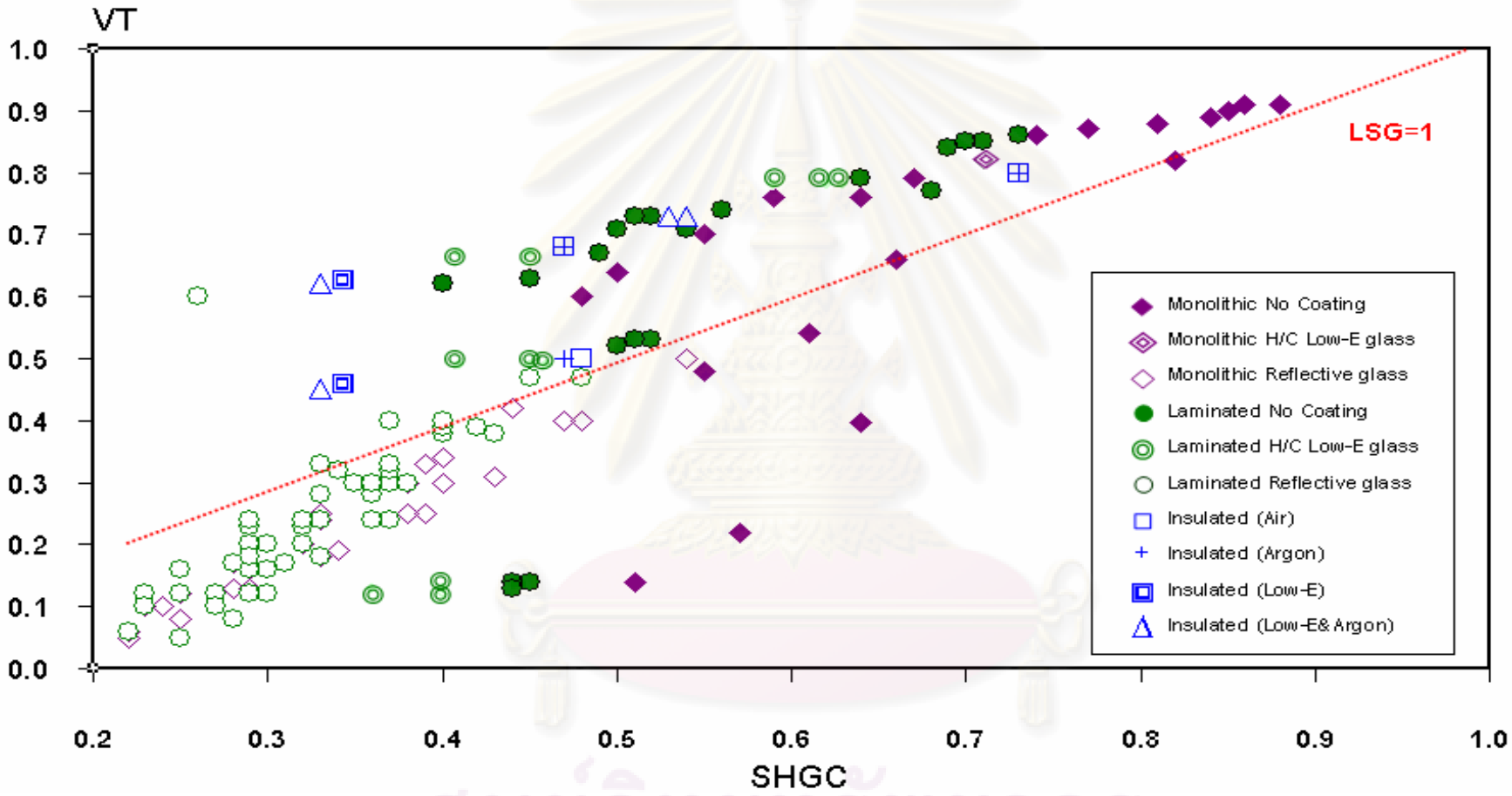
2. สีและความหนาของกระจก กระจกพื้นฐานที่นิยมนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมกระจกมีทั้งกระจกใสและกระจกสี กระจกใสจะให้ค่าแสงส่องผ่าน (VT) ที่สูงกว่ากระจกสี แต่ในขณะเดียวกัน ก็นำความร้อนผ่านเข้าสู่ผนังอาคารได้มากกว่ากระจกสี หากมีแสงส่องผ่าน

เข้ามาในอาคารมากเกินไป จะทำให้เกิดสภาวะไม่น่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร จึงมีการใช้กระจกสีแทนเพื่อช่วยลดทอนแสงบาดตาภายในอาคาร ทั้งนี้ สีของกระจกจะเข้มขึ้นหากกระจกมีความหนามากขึ้น เมื่อกระจกมีความเข้มของสีเพิ่มมากขึ้น จะมีโอกาสแตกมากกว่ากระจกใส เนื่องจากกระจกสีมีการผสมออกไซด์ของโลหะภายในเนื้อของกระจก จึงทำให้เกิดการสะสมความร้อนจนอาจทำให้กระจกแตกได้ง่าย เมื่อพิจารณาถึงค่า VT พบว่ากระจกใสมีค่า VT มากกว่ากระจกสี ดังนั้น หากต้องการนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในอาคารมากขึ้น ควรจะใช้กระจกใสหรือกระจกสีอ่อน แต่ก็มีข้อเสียคือ มีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจกสูง หากต้องการลดทอนแสงบาดตาภายในอาคารควรใช้กระจกสีเข้มขึ้นเพื่อตัดแสงและลดความร้อน (ลด SHGC) แต่ควรพิจารณาถึงความร้อนที่ถูกดูดกลืนและสะสมอยู่ในเนื้อกระจกดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การเทียบสีของกระจกมักจะเทียบระหว่างกระจกที่มีความหนาเท่ากันและเป็นกระจกชนิดเดียวกัน ดังตัวอย่างของกระจกลามิเนตและกระจกอินซูเลตในรูปที่ 2.14 และ 2.15 ซึ่งจะพบว่า กระจกสีใสจะมีค่า VT และ SHGC สูงกว่ากระจกสีเขียวและกระจกสีฟ้า อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่ากระจกสีเขียวและกระจกสีฟ้าจะมีค่า VT ต่ำกว่ากระจกใส แต่สามารถช่วยลดความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคารได้ดีกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระจกสีเขียวและกระจกสีฟ้า พบว่า กระจกสีเขียวมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานดีกว่ากระจกสีฟ้า เพราะสามารถยอมให้แสงธรรมชาติส่องผ่านเข้ามาในอาคารมากกว่าในขณะที่มีค่า SHGC ใกล้เคียงกัน กระจกสีเขียวจึงให้ค่า LSG สูงกว่ากระจกสีฟ้า

ดังที่กล่าวในตอนต้น การเพิ่มความหนาของกระจกส่งผลต่อสีและค่าคุณสมบัติของกระจก แต่ในกรณีของกระจกลามิเนตสามารถเพิ่มความหนาได้โดยการเพิ่มชั้นฟิล์ม PVB ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ที่พบว่าการเพิ่มชั้นฟิล์ม PVB ในกระจกลามิเนตไม่ได้ทำให้ค่า SHGC และค่า VT เปลี่ยนแปลงนัก จึงไม่มีผลในแง่ของการประหยัดพลังงานในอาคาร แต่การเพิ่มชั้นฟิล์มนั้นมีประโยชน์ในด้านการเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานกระจกและช่วยลดรังสีอุลตราไวโอเล็ตที่ผ่านเข้ามาในอาคารได้

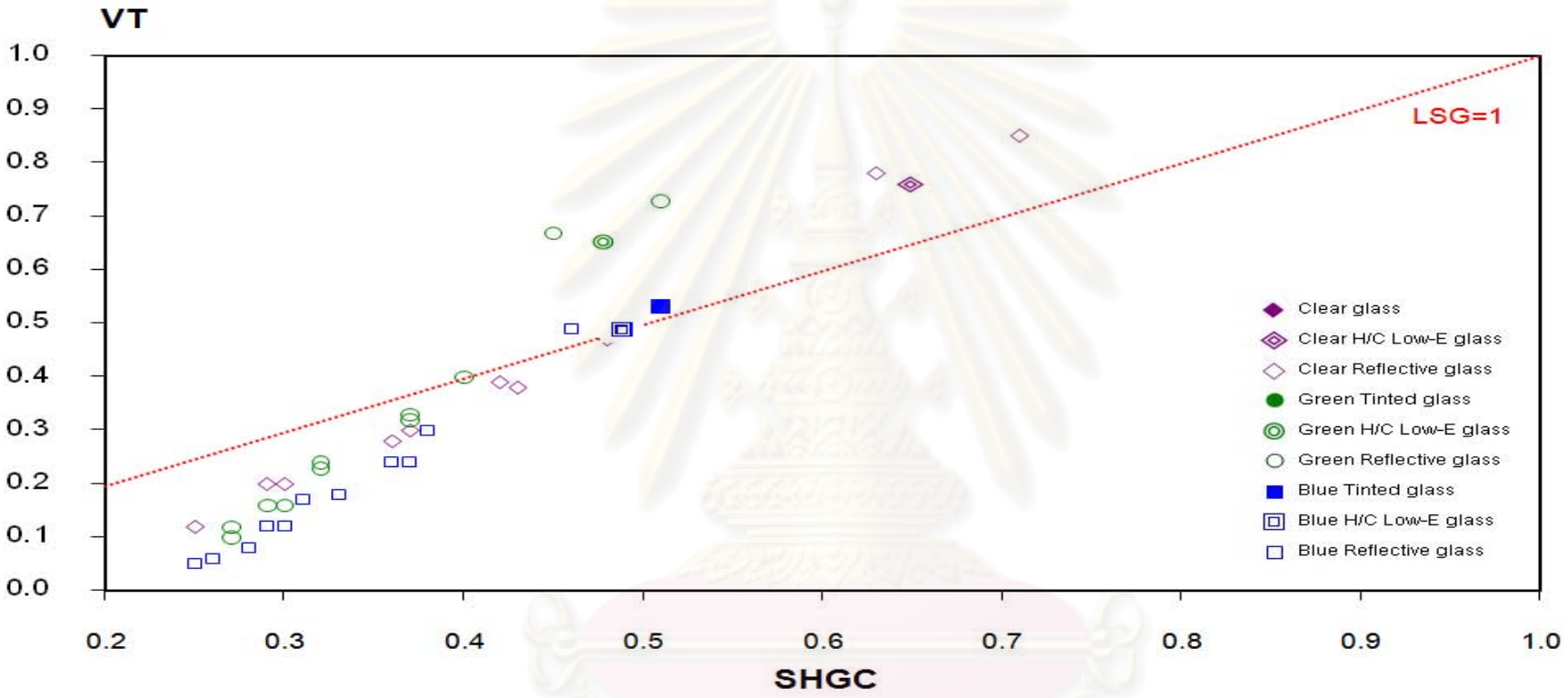
ในกรณีของกระจกอินซูเลตนั้น นอกจากจะสามารถเพิ่มความหนาของกระจกแล้ว ยังสามารถเพิ่มความหนาของช่องอากาศได้ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งพบว่าการเพิ่มความหนาของช่องว่างอากาศช่วยลดค่า U ให้ต่ำลง จึงทำให้สามารถประหยัดพลังงานภายในอาคารได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกประเภทต่าง ๆ ที่มีสารเคลือบแตกต่างกัน

ที่มา. บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด (2553)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

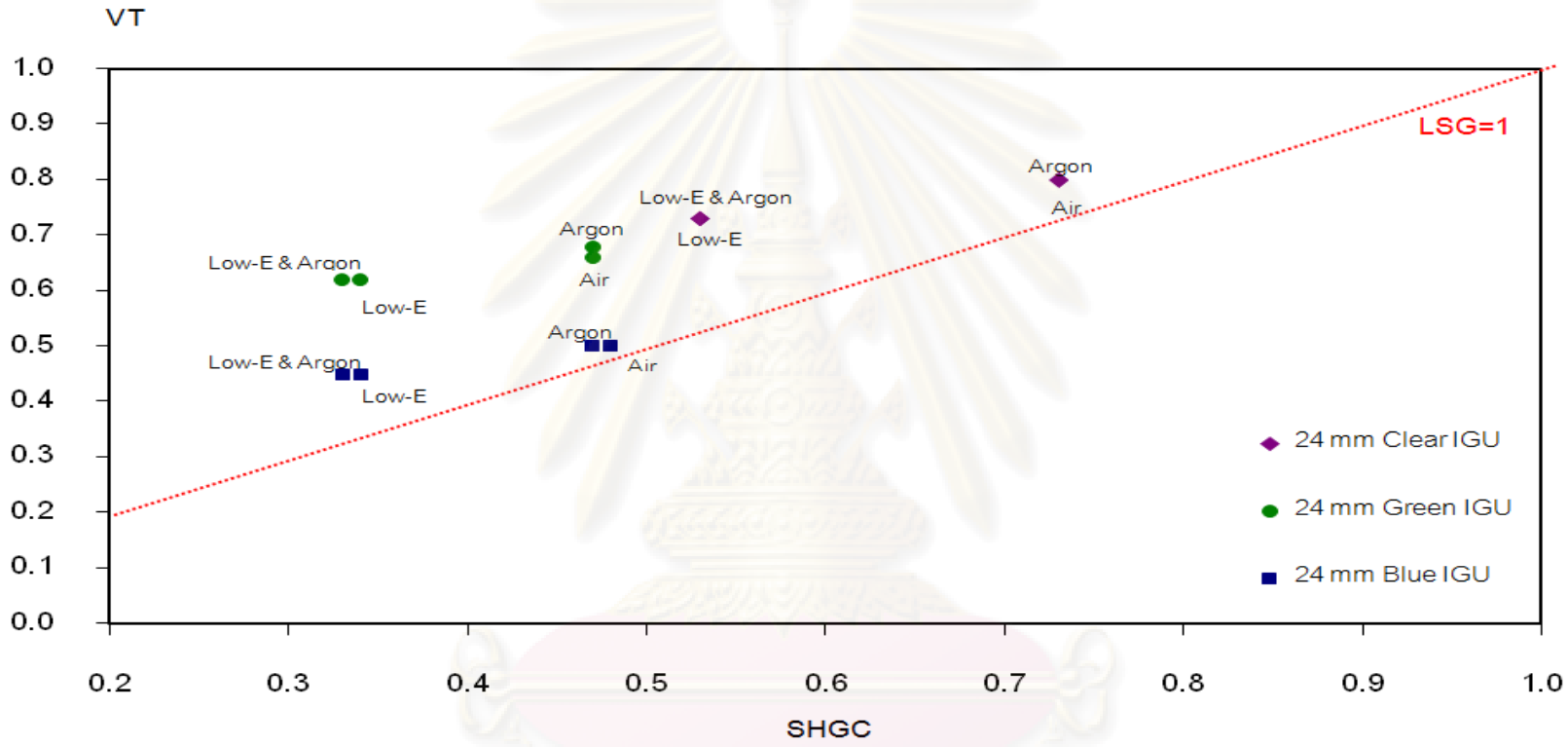


Glass	6 mm Clear Glass + 0.76 mm Clear PVB + 6 mm Clear Glass										6 mm Green Glass + 0.76 mm Clear PVB + 6 mm Clear Glass										6 mm Blue Glass + 0.76 mm Clear PVB + 6 mm Clear Glass									
Coating	None	HC Low-E	Reflective								None	HC Low-E	Reflective								None	HC Low-E	Reflective							
			SS20	SS30	SS40	TS20	TS30	TS40	TS50	TE10			SS14	SS20	SS30	SS40	TS20	TS30	TS40	TS50	TE10			SS08	SS14	SS20	SS30	SS40	TS20	TS30	TS40	TS50	TE10
VT	0.85	0.78	0.20	0.30	0.38	0.20	0.28	0.39	0.47	0.12	0.73	0.67	0.12	0.16	0.23	0.32	0.16	0.24	0.33	0.40	0.10	0.53	0.49	0.05	0.08	0.12	0.18	0.24	0.12	0.17	0.24	0.30	0.06
SHGC	0.71	0.63	0.30	0.37	0.43	0.29	0.36	0.42	0.48	0.25	0.51	0.45	0.27	0.30	0.32	0.37	0.29	0.32	0.37	0.40	0.27	0.51	0.46	0.25	0.28	0.30	0.33	0.37	0.29	0.31	0.36	0.38	0.26
LSG	1.20	1.24	0.67	0.81	0.88	0.69	0.78	0.93	0.98	0.48	1.43	1.49	0.44	0.53	0.72	0.86	0.55	0.75	0.89	1.00	0.37	1.04	1.07	0.20	0.29	0.40	0.55	0.65	0.41	0.55	0.67	0.79	0.23

รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกลามิเนตที่มีสีและสารเคลือบต่าง ๆ

ที่มา. บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด (2553)

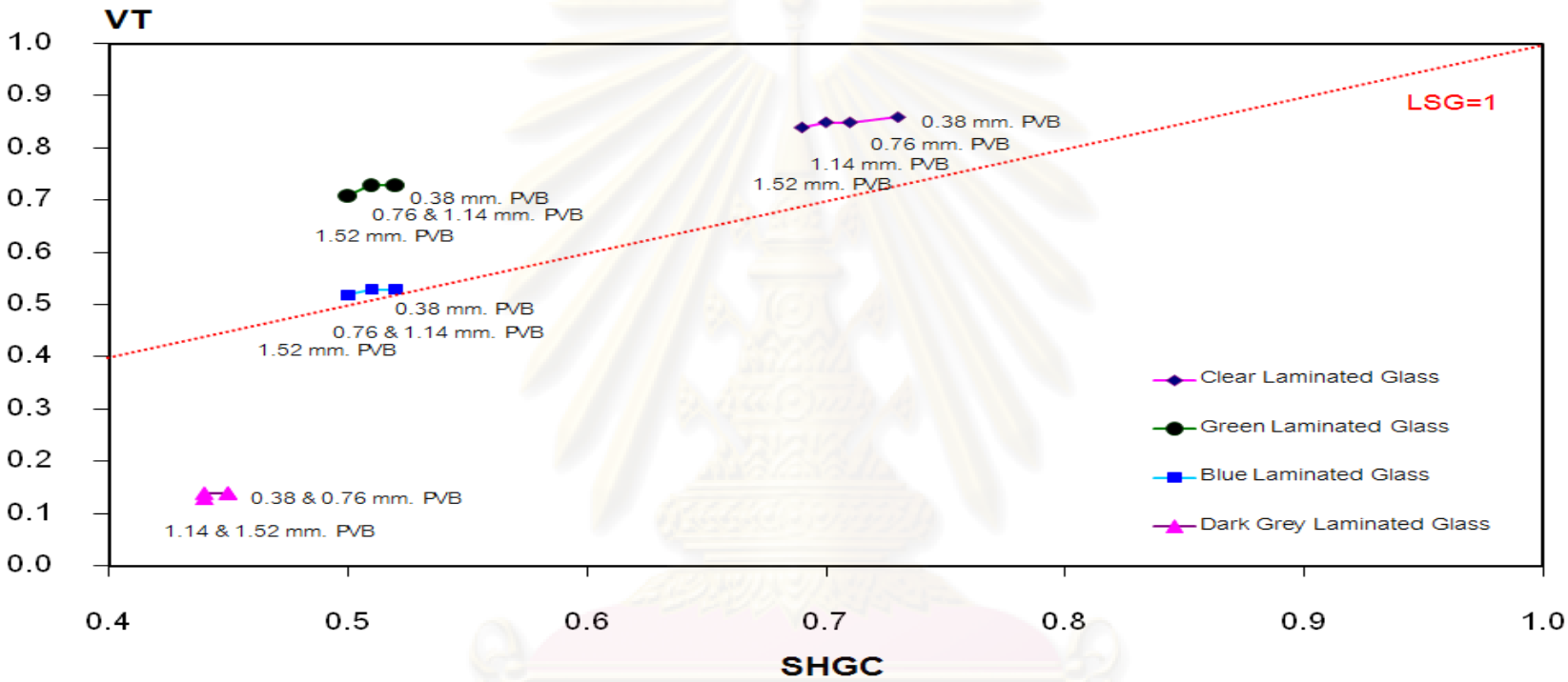
24



IGU	6 mm Clear Glass + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass				6 mm Green Glass + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass				6 mm Blue Glass + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass			
AS	Air	Low-E	Argon	Low-E & Argon	Air	Low-E	Argon	Low-E & Argon	Air	Low-E	Argon	Low-E & Argon
VT	0.80	0.73	0.80	0.73	0.66	0.62	0.68	0.62	0.50	0.45	0.50	0.45
SHGC	0.73	0.53	0.73	0.53	0.47	0.34	0.47	0.33	0.48	0.34	0.47	0.33
LSG	0.72	1.38	1.10	1.38	1.40	1.82	1.45	2.00	1.04	1.32	1.06	1.36

รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกอินซูเลตที่มีสีและสารเคลือบต่าง ๆ

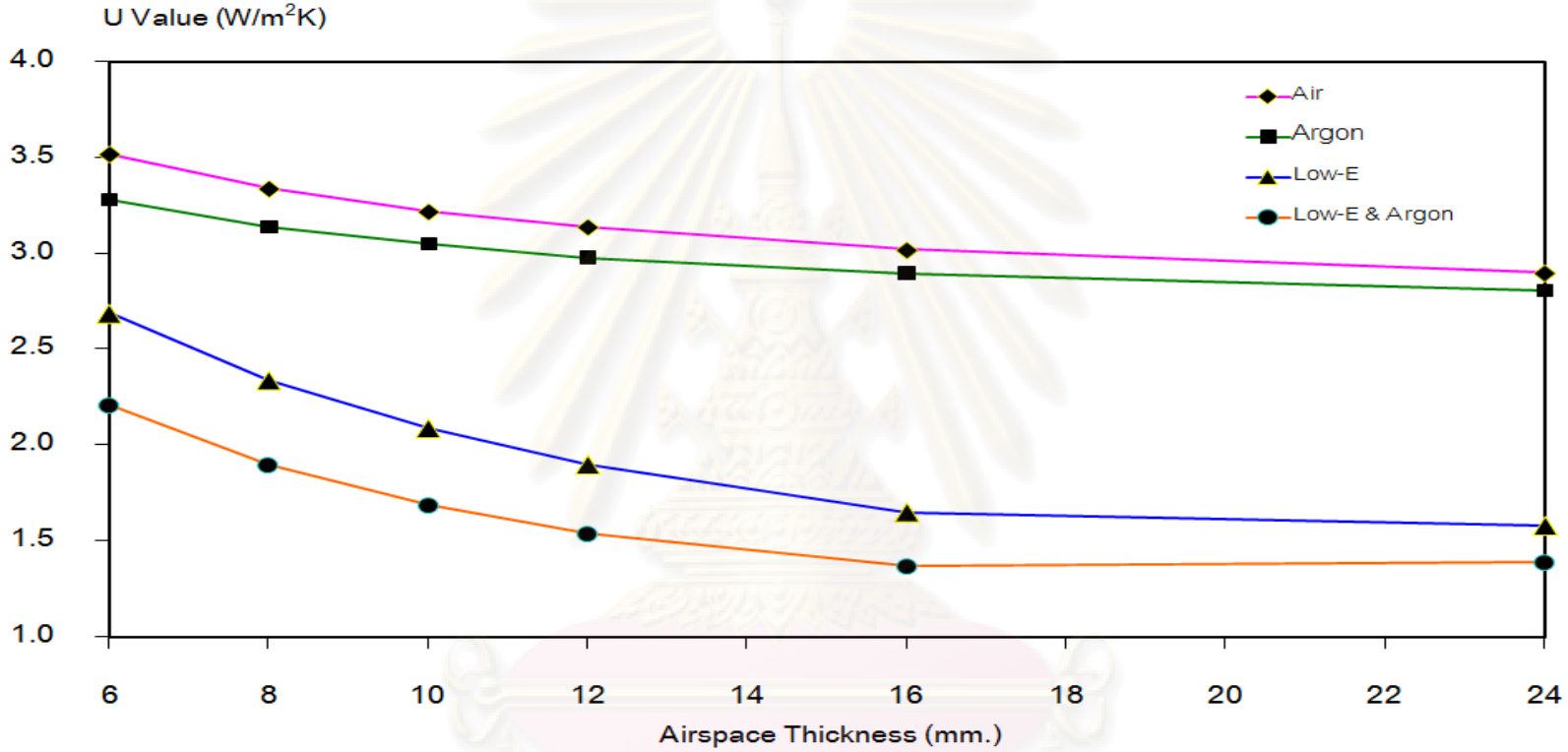
ที่มา. บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด (2553)



Laminated Glass	Clear Glass + Clear PVB + Clear Glass				Green Glass + Clear PVB + Clear Glass				Blue Glass + Clear PVB + Clear Glass				Dark Grey Glass + Clear PVB + Clear Glass			
Thickness (mm.)	6+0.38+6	6+0.76+6	6+1.14+6	6+1.52+6	6+0.38+6	6+0.76+6	6+1.14+6	6+1.52+6	6+0.38+6	6+0.76+6	6+1.14+6	6+1.52+6	6+0.38+6	6+0.76+6	6+1.14+6	6+1.52+6
VT	0.86	0.85	0.85	0.84	0.73	0.73	0.73	0.71	0.53	0.53	0.53	0.52	0.14	0.14	0.14	0.13
SHGC	0.73	0.71	0.70	0.69	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.51	0.51	0.50	0.45	0.45	0.44	0.44
LSG	1.18	1.20	1.21	1.22	1.40	1.43	1.43	1.42	1.02	1.04	1.04	1.04	0.31	0.31	0.32	0.30

รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกลามิเนตเมื่อความหนาฟิล์ม PVB เปลี่ยนไป

ที่มา. บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด (2553)



IGU Glass	6 mm Clear Glass + AS + 6 mm Clear Glass						6 mm Clear Glass + AS + 6 mm Clear Glass						6 mm Clear Glass + AS + 6 mm Clear Glass						6 mm Clear Glass + AS + 6 mm Clear Glass					
AS	Air (No Argon, No Low-E)						Argon (With Argon, No Low-E)						Low-E (No Argon, With Low-E)						Low-E & Argon (With Argon, With Low-E)					
AS Thickness (mm.)	6	8	10	12	16	24	6	8	10	12	16	24	6	8	10	12	16	24	6	8	10	12	16	24
U Value (W/m2K)	3.52	3.34	3.22	3.14	3.02	2.90	3.28	3.14	3.05	2.98	2.90	2.81	2.69	2.34	2.09	1.90	1.65	1.58	2.21	1.90	1.69	1.54	1.37	1.39

รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VT และค่า SHGC ของกระจกอินซูเลตเมื่อความหนาของช่องอากาศเปลี่ยนไป

ที่มา. บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด (2553)

27

3. สารเคลือบกระจก การเคลือบสารบนผิวกระจกมีวัตถุประสงค์เพื่อให้กระจกสามารถสะท้อนแสงและคลื่นความร้อนบางส่วนของแสงแดดได้ดี ในขณะที่สีและความใสของกระจกจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคลือบนั้น ๆ เราสามารถแยกประเภทของกระจกที่มีสารเคลือบออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ (1) กระจกสะท้อนแสงหรือกระจกสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Reflective Glass) คือ การนำเอากระจกธรรมดามาเคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ที่มีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ส่งผลให้มีค่าแสงส่องผ่าน (VT) ค่อนข้างน้อย ทำให้คนภายนอกอาคารมองเข้ามาในอาคารได้ลำบาก ในขณะที่คนที่อยู่ภายในอาคารสามารถมองออกไปภายนอกอาคารได้ดีกว่า จึงสร้างความเป็นส่วนตัวให้กับผู้ใช้งานในอาคารโดยเฉพาะในเวลากลางวัน กระจกสะท้อนแสงยังช่วยลดแสงจ้าที่เข้ามาสู่อาคารให้นุ่มนวลลงและยังสามารถลดความร้อนจากแสงแดดได้มาก จึงทำให้เป็นกระจกที่สามารถประหยัดพลังงานในอาคารได้ดี อย่างไรก็ตาม การใช้กระจกสะท้อนแสงอาจไม่เหมาะกับอาคารที่ต้องการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร และไม่ควรใช้กระจกประเภทนี้ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิภายนอกและภายในแตกต่างกันมากจนเกินไป เพราะจะทำให้กระจกแตกร้าวได้ง่าย (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2547: 2-28) (2) กระจกแผ่รังสีต่ำ (Low-E Glass) จะใช้สารเคลือบที่แตกต่างจากกระจกสะท้อนแสงโดยมีส่วนผสมของโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาในอาคารมากกว่ากระจกสะท้อนแสงโดยทั่วไป กระจก Low-E จะลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้น้อยกว่ากระจกสะท้อนแสง (มีค่า SHGC สูงกว่า) จึงประหยัดพลังงานได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม กระจก Low-E มีความทนทานต่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารได้ดีกว่า จึงมีคุณสมบัติในการเก็บรักษาอุณหภูมิภายในอาคารได้ดี จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในอาคารที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้คงที่ กระจก Low-E นั้นยอมให้แสงธรรมชาติส่องผ่านเข้ามาภายในอาคารได้มาก ในขณะที่ช่วยลดความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้ดี ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าการแผ่รังสีของกระจกที่ไม่ได้เคลือบสาร Low-E จะพบว่า กระจกเคลือบสาร Low-E สามารถลดการแผ่รังสีอาทิตย์ได้ถึงร้อยละ 75 ดังนั้น จึงส่งผลให้ค่า U ลดลงด้วย (Button & Pye, 1993: 132-133) ทั้งนี้ กระจก Low-E มีทั้งประเภท Hard Coat Low-E ซึ่งเป็นการเคลือบโลหะลงบนผิวของกระจกในขณะที่กระจกกำลังอ่อนตัว เพื่อทำให้สารเคลือบหลอมเป็นเนื้อเดียวกับผิวของกระจก และแบบ Soft Coat Low-E ที่เกิดจากการนำกระจกธรรมดาไปเคลือบสารโลหะทับบนผิวกระจกที่แข็งตัวแล้ว

จากรูปที่ 2.12 และ 2.13 พบว่า กระจกสะท้อนแสงส่วนมากสามารถกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้ดีที่สุด (SHGC ต่ำที่สุด) แต่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อย (VT ต่ำ) ส่วนกระจก Hard Coat Low-E ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาในอาคารได้มากกว่า แต่นำ

ความร้อนเข้ามาในอาคารมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนกระจก Soft Coat Low-E นั้น สามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่ากระจก Hard Coat Low-E (ค่า SHGC ต่ำกว่า) ในขณะที่มีค่าแสงธรรมชาติส่องผ่านใกล้เคียงกัน ข้อแตกต่างที่สำคัญของกระจกทั้งสองประเภทจะเห็นได้ชัดจากค่า U เนื่องจากกระจก Hard Coat Low-E มักถูกนำมาแปรรูปเป็นกระจกลามิเนต ในขณะที่กระจก Soft Coat Low-E จะต้องถูกนำมาแปรรูปให้เป็นกระจกอินซูเลตเท่านั้น จึงทำให้กระจก Soft Coat Low-E มีค่า U ที่ต่ำกว่า ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่า

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การออกแบบอาคารสำนักงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในประเทศไทยมีปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณา ได้แก่ ทิศทางการวางอาคาร รูปทรงอาคาร การระบายอากาศ การใช้แสงสว่างธรรมชาติ และตำแหน่งแกนบริการ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. **<u>ทิศทางการวางอาคาร</u>**

เนื่องจากสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมของประเทศไทยมีลักษณะแตกต่างจากของประเทศในแถบยุโรป หรือสหรัฐอเมริกา ดังนั้น การใช้แนวคิดและทฤษฎีการออกแบบของนักวิชาการตะวันตก จึงอาจไม่สอดคล้องกับการออกแบบอาคารในประเทศไทยซึ่งมีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี ฉะนั้น การจัดวางทิศทางของอาคารจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการลดประมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านเข้ามาภายในตัวอาคาร ตลอดจนความร้อนหรือความชื้น และลมที่จะรั่วซึมเข้ามาภายในตัวอาคาร ดังนั้น แนวทางการออกแบบอาคาร จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงประเด็นต่าง ๆ ในการจัดวางทิศทางของอาคาร ดังนี้

1) การหลบแดด แนวทางการออกแบบอาคารที่ต้องการหลบแดด ผู้ออกแบบต้องพิจารณาโดยหลีกเลี่ยงการเปิดช่องผนังด้านทิศตะวันตก หรือหากจำเป็นต้องเจาะช่องผนังด้านทิศตะวันตกก็ให้มีการเจาะผนังในปริมาณที่น้อยที่สุด ทั้งนี้ เพื่อลดการนำแสงอาทิตย์เข้าสู่ภายในตัวอาคารโดยตรง นอกจากนั้น อาจมีการสร้างส่วนกั้น (Buffer Zone) เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังอาคารโดนแสงแดด หรืออาจทำแผงกันแดดก็ได้ ซึ่งพุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาธร (2550:14) เสนอว่าการจัดวางอาคารควรหลีกเลี่ยงการรับแดดโดยตรงโดยเฉพาะอาคารด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกในช่วงเช้าและเย็น ในขณะที่ช่วงเวลากลางวันดวงอาทิตย์จะตั้งฉากกับพื้นโลก ดังนั้น

แสงจากดวงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อช่องเปิดในแนวทิศเหนือและทิศใต้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของสุมาวลี จินดาพล (2551: 61) ที่พบว่า ทิศตะวันตกเป็นทิศที่มีการประหยัดพลังงานต่ำที่สุด เนื่องจากได้รับปริมาณรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์มาก ด้วยเหตุนี้ การออกแบบช่องเปิดจำเป็นต้องคำนึงถึงความสอดคล้องกับทิศทางของแสงในแต่ละช่วงเวลาด้วย

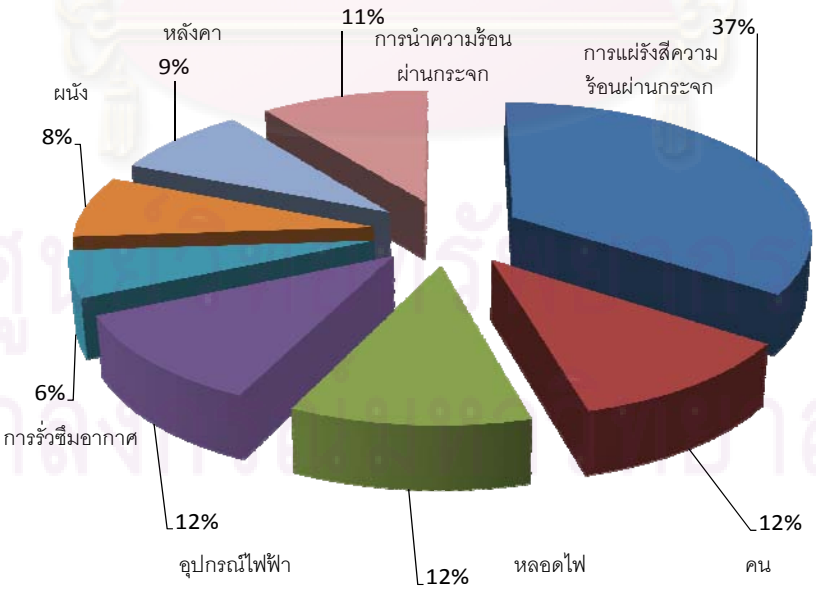
2) การใช้ประโยชน์ของกระแสลมธรรมชาติ การนำลมเข้าสู่อาคารโดยเจาะช่องเปิดด้านที่มีความกดอากาศสูง (Positive Pressure) และช่องเปิดด้านที่มีความกดอากาศต่ำ (Negative Pressure) จะทำให้ลมสามารถพัดผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม การนำอากาศธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน ดังนั้น หากต้องการให้มีลมเย็นพัดเข้ามาสู่ภายในตัวอาคาร เพื่อลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ จะต้องปรับสภาพแวดล้อมภายนอกให้มีอุณหภูมิต่ำลงเสียก่อน อย่างไรก็ตาม หากต้องการใช้ระบบปรับอากาศเพื่อทำความเย็นภายในตัวอาคาร จำเป็นต้องลดพื้นที่ผิวที่มีความแตกต่างกันของความกดอากาศสูงให้เหลือน้อยลง เพื่อเป็นการป้องกันการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคาร (พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาธร, 2550: 14) อีกทั้งยังต้องควบคุมการรั่วซึมของความชื้นที่เข้ามาสู่ภายในอาคาร ซึ่งจะทำให้มีการใช้พลังงานในอาคารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะประเทศไทยมีระดับความชื้นสูงมาก ดังนั้นพลังงานส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปเพื่อการปรับลดความชื้นในอาคารเป็นหลัก ในขณะที่การรั่วซึมของอากาศเข้าไปภายในอาคารสามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ เช่น เกิดจากความเร็วของลมภายนอกที่พัดมาปะทะเปลือกอาคาร และเกิดจากเครื่องกล เช่น ความแตกต่างระหว่างความดันอากาศภายในและภายนอกอาคาร เช่น ความเร็วลม ความเร็วลมยิ่งแรงยิ่งทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศมากขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้นวัสดุที่ใช้ทำผนังต้องมีลักษณะเป็นเซลล์ปิดเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศ (การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548: 19) ดังนั้น การจัดวางหรือกำหนดทิศทางของอาคารจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงตัวแปรเรื่องความชื้นและการรั่วซึมด้วย เนื่องจากการรั่วซึมทำให้เครื่องปรับอากาศต้องทำงานหนักขึ้น

2. **<u>รูปทรงอาคาร</u>**

การุณย์ ศุภมิตรโยธิน (2548: 16) กล่าวว่า รูปทรงของอาคารที่มีความเหมาะสมในการเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานนั้นควรเป็นรูปทรงที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดและมีพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มีพื้นที่ผิวภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารน้อยที่สุด ในขณะที่ รวิช ควรประเสริฐ (2550: 38) เสนอมุมมองเกี่ยวกับรูปทรงอาคารและการรั่วซึมของอากาศว่ารูปทรงของอาคารที่จะเกิดการรั่วซึมของอากาศสูงที่สุดคือ อาคารที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวปะทะลม รองลงมาคืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัส รูปทรงกระบอก และรูปทรงกลม ตามลำดับ

3. **<u>การระบายอากาศ</u>**

การระบายอากาศสามารถลดอุณภูมิภายในอาคารได้ เนื่องจากอากาศมีการไหลเวียน นอกจากนั้น การระบายอากาศยังช่วยนำพาก๊าซออกซิเจนเข้ามาภายในอาคาร เพราะหากอากาศภายในอาคารมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินร้อยละ 0.5 ก็สามารถส่งผลร้ายต่อคนภายในอาคารได้ (รวิช ควรประเสริฐ, 2550: 45) ดังนั้น การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานจึงควรมีช่องเปิดและระบบระบายอากาศที่เหมาะสม เนื่องจาก ผลการศึกษาของสำนักการโยธากรุงเทพมหานคร พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงานส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ร้อยละ 52 28 และ 20 ตามลำดับ (การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548: 3) แสดงให้เห็นว่าระบบปรับอากาศหรือการระบายอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานจำนวนมหาศาลเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนอื่น ๆ จึงเป็นประเด็นที่จะต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายปัจจัยด้วยกัน เช่น อุณหภูมิอากาศบริเวณที่ตั้งของอาคาร คุณสมบัติของเปลือกอาคาร ลักษณะรูปทรงของอาคาร การรั่วซึมของอากาศ จำนวนผู้ใช้งานภายในอาคาร ความร้อนที่เกิดจากแสงไฟส่องสว่างภายในอาคาร ซึ่งจากการศึกษาของการุณย์ ศุภมิตรโยธิน (2548: 5) พบว่า เปลือกอาคารเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศมากที่สุด ในกรณีที่ผนังอาคารเป็นกระจก ดังรายละเอียดในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงาน

ที่มา. การุณย์ ศุภมิตรโยธิน (2548: 5)

4. **<u>การใช้แสงสว่างธรรมชาติ</u>**

แสงสว่างธรรมชาติสามารถเข้ามาสู่ภายในของตัวอาคารได้หลายช่องทาง เช่น แสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง รังสีดวงอาทิตย์ที่กระจายมาจากท้องฟ้า แสงสะท้อนจากพื้นดินหรืออาคารข้างเคียง และแสงสะท้อนภายในอาคาร โดยที่แสงสว่างจากภายนอกที่เข้ามาในอาคารและถูกสะท้อนโดยผนัง ฝ้าเพดานหรือพื้นผิวอื่น ๆ (กิรณา ธรรมสุข, 2551: 18) แต่ปริมาณและคุณภาพของแสงสว่างธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงไปตามสถานที่ ช่วงเวลาของแต่ละวัน ช่วงเวลาของแต่ละปี และสภาพของอากาศ (Button & Pye, 1993: 75) แสงสว่างธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานความร้อนจำนวนมหาศาล อย่างไรก็ตาม แสงสว่างธรรมชาติจะให้พลังงานความร้อนต่อลูเมนน้อยกว่าแสงสว่างจากไฟฟ้า (Moore, 1993: 296) ดังนั้น แนวทางการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานจำเป็นต้องพิจารณาให้แสงสว่างธรรมชาติเข้าสู่ภายในตัวอาคารในปริมาณที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้ การพิจารณาถึงตำแหน่งของช่องแสงและคุณสมบัติของกระจกที่เลือกใช้จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระจกที่เลือกใช้ ควรเป็นกระจกที่ยอมให้แสงธรรมชาติส่องผ่านเข้ามาและเกิดประโยชน์มากที่สุด เช่น การช่วยลดการติดตั้งจำนวนโคมไฟ ประหยัดงบประมาณในการติดตั้งโคมไฟ และช่วยประหยัดพลังงานจากการใช้งานหลอดไฟ เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อให้อาคารสามารถประหยัดพลังงานสูงสุดนั่นเอง ผลการศึกษาของ เศรษฐวัฒก์ ศรีวิโรจน์ (อ้างถึงใน สุมาวลี จินดาพล, 2551: 20) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณพื้นที่ของช่องเปิดก็มีความสัมพันธ์ต่อการใช้แสงสว่างธรรมชาติ ซึ่งผลการศึกษา พบว่า พื้นที่ช่องเปิดโปร่งแสงควรมีประมาณร้อยละ 20-30 ของพื้นที่ผนังในแต่ละด้าน อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการเลือกใช้แสงสว่างธรรมชาติในอาคาร ซึ่งบุรพล แจ้งสว่าง (2548: 21) สรุปไว้จำนวน 4 ปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ (1) สภาพแวดล้อม ซึ่งหมายถึง สิ่งกีดขวางโดยรอบอาคาร (2) ช่องเปิด เช่น ชนิดของกระจก พื้นที่ของช่องเปิด ความสูงของช่องเปิด (3) การวางผังอาคาร เช่น รูปแบบการวางผัง ความลึกของอาคาร ความสูงภายในอาคาร และพื้นที่ของอาคาร เป็นต้น และ (4) วัสดุภายในอาคาร เช่น การสะท้อนแสง และลักษณะทางกายภาพของวัสดุภายในอาคาร

5. **<u>ตำแหน่งแกนบริการ</u>**

ตำแหน่งแกนบริการ คือ บริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ที่เป็นเส้นทางสัญจรทางตั้ง เช่น ลิฟต์ รวมถึงห้องทำงานของระบบอาคาร ห้องน้ำ และห้องครัว เป็นต้น จากการสำรวจรูปแบบการออกแบบตำแหน่งพื้นที่แกนบริการที่พบบ่อยในอาคารสำนักงานทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ (1) แกนบริการอยู่ตรงกลาง (2) แกนบริการอยู่มุมอาคาร และ (3) แกนบริการอยู่ด้านข้างอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.19

รูปที่ 2.19 รูปแบบการจัดพื้นที่ส่วนแกนบริการ

ที่มา. ดารณี จารีมิตร (2548: 24)

การออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน ควรจัดพื้นที่ส่วนแกนบริการให้เหมาะสมกับการทำกิจกรรมของคนที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร ตลอดจนการพิจารณาถึงการกระจายของลมหรือการระบายอากาศในบริเวณดังกล่าวด้วย ทั้งนี้ เพื่อที่ระบบปรับอากาศจะได้ไม่ทำงานหนักเกินไป ซึ่งหาพิจารณาจากภาพดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การวางพื้นที่แกนบริการไว้บริเวณกลางอาคาร จะทำให้มีพื้นที่ช่องเปิดมากที่สุด (บุรพล แจ้งสว่าง, 2548: 24) ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมากที่สุดด้วย นอกจากพื้นที่แกนบริการยังมีการศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่สำนักงานจากการสำรวจของ ดารณี จารีมิตร (2548: 23-24) พบว่า มีการออกแบบพื้นที่สำนักงานทั้งสองแบบคือ แบบกั้นห้องและแบบเปิดโล่ง โดยแบบกั้นห้องจะออกแบบให้มีหัวจ่ายลมและหัวลมกลับภายในห้อง ในขณะที่แบบเปิดโล่งมีการใช้หัวจ่ายลมและหัวกลับลมแบบรวม ซึ่งอาจมีปัญหาเรื่องการกระจายลมที่ไม่ทั่วถึง

6. **<u>เปลือกอาคาร</u>**

เปลือกอาคารเป็นส่วนประสานระหว่างอากาศภายนอกและภายในอาคาร รวมถึงช่วยลดความรุนแรงของสภาพแวดล้อมภายนอกให้อาคาร โดยที่ความร้อนและความชื้นจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเป็นอย่างมาก (พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาธร, 2550: 15) เปลือกอาคารมีหน้าที่หลักสำคัญ 3 ประการคือ การปกป้องอาคารจากสภาพแวดล้อม (Environment) การรับแรงต่าง ๆ (Structure) และทำหน้าที่เป็นหน้าตาหรือภาพลักษณ์ของอาคาร (Architecture) (ปวีณา แซ่ตั้ง, 2549: 6) ในขณะที่ผนังของเปลือกอาคารสามารถจำแนกได้หลายประเภท ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่

ใช้ เช่น (1) Precast Concrete Cladding (2) Curtain Wall (3) Glass Fiber Reinforced Cement Cladding (4) Glass Reinforced Polyester Cladding (5) Profile Metal Cladding และ (6) Sheet Metal Cladding Panel โดยในประเทศไทยนิยมใช้ผนังระบบ Curtain Wall และ Precast Concrete Cladding (ปวีณา แซ่ตั้ง, 2549: 9) ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาอาคารที่ใช้ผนังระบบ Curtain Wall ที่จำแนกออกเป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับว่าจะมีการจำแนกประเภทตามการผลิต ตามลักษณะที่ปรากฏภายนอก ตามการพัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีในการป้องกันน้ำ การแบ่งตามระบบการยึดเกาะขององค์ประกอบผนัง หรือแบ่งตามการติดตั้ง แต่ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการจำแนกประเภทของผนัง Curtain Wall ตามประเภทของการติดตั้งและควบคุมคุณภาพของชิ้นงาน ประกอบด้วย 3 ระบบคือ (1) ระบบเส้น (Grid) หรือระบบแยกกรอบ (Stick System) (2) ระบบชุดผนังสำเร็จรูป (Unitized System/Panel System) และ (3) ระบบชุดผนังสำเร็จรูปและโครงตัวตั้ง (Unitized and Mullion System) หรือระบบชุดผนังกึ่งสำเร็จรูป (Semi-Unitized System) (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2547: 1-19 – 1-23)

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความร้อนและความชื้นสูง วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง ไม่เก็บสะสมความร้อนหรือมีค่าความจุความร้อนไม่สูง ทั้งนี้ เนื่องจากวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง ทำให้ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในผนังโดยการนำความร้อน (Conduction) มีปริมาณต่ำ ทำให้เครื่องปรับอากาศมีภาระทำความเย็นต่อความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางผนังต่ำลง ในทางตรงกันข้ามหากวัสดุที่ใช้มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ ปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังจะมีปริมาณมากทำให้เครื่องปรับอากาศต้องทำงานหนักขึ้น และก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้นตามไปด้วย หากพิจารณาถึงการสะสมความร้อนของวัสดุ พบว่า วัสดุที่มีค่าการสะสมความร้อนสูงจะส่งผลให้ความร้อนที่สะสมในตัววัสดุแผ่รังสีความร้อนเข้าไปสู่ภายในตัวอาคาร ทำให้เครื่องปรับอากาศทำการลดความร้อนที่สะสมในผนังและความร้อนภายในห้องพร้อม ๆ กัน จึงทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักขึ้น และใช้พลังงานมากขึ้น นอกจากนั้น ควรพิจารณาถึงสีของเปลือกอาคารด้วย เนื่องจากสีของเปลือกอาคารมีผลกระทบอย่างมากต่ออุณหภูมิภายในของอาคารโดยผนังอาคารที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์มาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น (Givoni, 1994: 30)

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

1. **<u>กฎกระทรวงฉบับที่ 48 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522</u>**

กฎกระทรวงฉบับนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระจกในข้อ 27 และข้อ 28 ซึ่งมีประเด็นที่สำคัญ 2 ประการคือ (1) การป้องกันอันตรายจากกระจกแตก ร้าวหรือราน ที่ระบุว่ากระจกที่ใช้ทำผนังภายนอกอาคารที่เป็นอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารขนาดใหญ่ต้องเป็นกระจกตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไปประกบกัน โดยมีวัสดุคั่นกลางระหว่างชั้นและยึดกระจกแต่ละชั้นให้ติดแน่นเป็นแผ่นเดียวกัน และกระจกแต่ละชั้นต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันหรือลดอันตรายจากการบาดของเศษกระจกเมื่อกระจกแตก และวัสดุคั่นกลางต้องยึดเศษหรือชิ้นกระจกไม่ให้หลุดออกมาเมื่อกระจกแตก ร้าวหรือราน นอกจากนี้ กระจกที่ติดกับราวกันตกและกระจกที่ใช้เป็นฝาของห้องโถงหรือทางเดินร่วมภายในอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารขนาดใหญ่ต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันหรือลดอันตรายจากการบาดของกระจกเมื่อกระจกแตก และ (2) การป้องกันมิให้แสงสะท้อนของกระจกไปรบกวนบุคคลอื่น ซึ่งมีการกำหนดว่าวัสดุที่เป็นผิวของผนังภายนอกอาคาร หรือที่ใช้ตกแต่งผิวภายนอกอาคาร จะต้องมีปริมาณการสะท้อนแสงได้ไม่เกินร้อยละสามสิบ

2. **<u>พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535</u>**

พระราชบัญญัติฉบับนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระจกและการอนุรักษ์พลังงานในหมวด 2 และหมวด 3 คือ (1) หมวดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร และ (2) หมวดการอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ และส่งเสริมการใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ในหมวด 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร มาตรา 17 จะระบุถึง 7 แนวทางในการดำเนินการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีแนวทางที่เกี่ยวข้องกับการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ (1) การลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคาร (2) การใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่จะช่วยอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการแสดงคุณภาพของวัสดุก่อสร้างนั้นๆ (3) การใช้แสงสว่างในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ และ (4) การใช้และการติดตั้งเครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

ในหมวด 3 การอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ และส่งเสริมการใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มาตรา 17 จะระบุถึงอำนาจหน้าที่ของรัฐมนตรีในการออกกฎกระทรวง

ในเรื่องต่าง ๆ ได้แก่ (1) การกำหนดมาตรฐานด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (2) การกำหนดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ตามประเภท ขนาด ปริมาณการใช้พลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างใด เป็นเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (3) การกำหนดวัสดุตามประเภท คุณภาพและมาตรฐานอย่างใด เป็นวัสดุเพื่อใช้ในการอนุรักษ์พลังงาน และ (4) การกำหนดให้ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง หรือวัสดุเพื่อใช้ในการอนุรักษ์พลังงานสามารถขอรับการส่งเสริมและช่วยเหลือได้

3. **<u>พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538</u>**

พระราชกฤษฎีกาฉบับนี้ได้กำหนดอาคารบางประเภทให้เป็นอาคารควบคุมเพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้เกณฑ์การควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าตามเลขที่บ้าน ซึ่งต่อมาทำให้เกิดปัญหาในทางปฏิบัติ เช่น อาคารชุดหรือคอนโดมิเนียมซึ่งเป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่เนื่องจากมีเลขที่บ้านแยกกันนั้น จึงไม่เข้าข่ายเป็นอาคารควบคุม ในขณะที่ค่ายทหารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า แต่มีเลขที่บ้านรวมกัน กลับเข้าข่ายเป็นอาคารควบคุม นอกจากนี้ ตามกฎหมายเดิมฉบับนี้จะควบคุมได้เฉพาะอาคารที่สร้างเสร็จแล้วเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงหรือปรับให้เป็นไปตามแผนการอนุรักษ์พลังงานจึงกระทำได้ยาก ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อเวลาผ่านเลยไปพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี ทำให้รายละเอียดการกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV & RTTV) ค่ากำลังส่องสว่าง และมาตรฐานการปรับอากาศของอาคารควบคุมในกฎหมายเดิมฉบับนี้ล้าสมัย เช่น ไม่มีการแยกประเภทอาคารตามช่วงเวลาการใช้งาน การคำนวณค่าพลังงานโดยแยกคิดแต่ละทิศทาง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ จึงกลายเป็นประเด็นในการแก้ไขพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ในปี พ.ศ. 2550

4. **<u>พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550</u>**

เนื่องจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มีบทบัญญัติบางประการไม่เหมาะสมกับสภาวการณ์ในปัจจุบันดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงมีการแก้ไขเพิ่มเติมใหม่ เพื่อให้สามารถกำกับและส่งเสริมการใช้พลังงาน การอนุรักษ์พลังงานให้มีประสิทธิภาพ และสามารถปรับเปลี่ยนแนวทางการอนุรักษ์พลังงานให้ทันต่อเทคโนโลยี โดยการกำหนดมาตรฐานด้านประสิทธิภาพของการผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ การเก็บรักษาเงินและทรัพย์สินของกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการมอบหมายให้บุคคลหรือนิติบุคคลตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน การใช้พลังงานในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ และ

คุณภาพวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานแทนพนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคม

5. <u>กฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552</u>

กฎกระทรวงฉบับใหม่นี้มีรายละเอียดและสาระสำคัญสอดคล้องกับพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 อันได้แก่ การกำหนดประเภทและขนาดของอาคารควบคุมใหม่ 9 ประเภท ซึ่งใช้เกณฑ์พิจารณาจากช่วงเวลาการใช้งานอาคารและขนาดของพื้นที่อาคารเป็นหลักแทนการใช้เลขที่บ้านเหมือนแต่ก่อน โดยอาคารควบคุมแต่ละประเภทจะต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และมีการกำหนดมาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร 4 ส่วน คือ ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน โดยจะต้องมีค่าการใช้พลังงานตามที่กำหนด อย่างไรก็ตาม หากอาคารมีคุณสมบัติหลักค่าใดค่าหนึ่งไม่เป็นไปตามที่กำหนด กฎกระทรวงฉบับใหม่นี้เปิดโอกาสให้ผู้ออกแบบใช้เกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและเกณฑ์การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคารทดแทนได้ เป็นที่น่าสังเกตว่า กฎกระทรวงฉบับใหม่นี้พยายามควบคุมการใช้พลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ก่อนที่จะยื่นแบบเพื่อขออนุญาตก่อสร้าง ซึ่งต่างจากกฎหมายเดิมที่จะควบคุมได้เฉพาะอาคารที่สร้างเสร็จแล้วเท่านั้น ดังนั้นกฎกระทรวงฉบับใหม่นี้จึงส่งผลกระทบโดยตรงกับผู้ออกแบบและเจ้าของอาคาร

6. <u>กฎกระทรวงเรื่อง กำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552</u>

กฎกระทรวงฉบับนี้ออกตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ฉบับที่ 2 พ.ศ.2550 ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญ 4 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นการให้คำนิยามของคำสำคัญต่าง ๆ เช่น กระจก ค่ามาตรฐานพลังงาน ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ส่วนที่ 2 เป็นการกำหนดค่ามาตรฐานพลังงาน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ซึ่งจะต้องมีค่า 0.55-0.30 และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ซึ่งจะต้องมีค่า 1.20-1.60 ส่วนที่ 3 จะระบุถึงการทดสอบเพื่อหาค่ามาตรฐานว่าจะต้องดำเนินการโดยหน่วยงานที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด และสุดท้ายในส่วนที่ 4 นั้นระบุว่าการคำนวณ มาตรฐาน และวิธีการทดสอบค่ามาตรฐานพลังงานของกระจก ให้ใช้ตามมาตรฐาน ISO 9050 และ ISO 10292

7. **<u>ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552</u>**

สาระสำคัญของประกาศฉบับนี้ ได้แก่ การกำหนดวิธีในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ เช่น ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value-OTTV) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (Wall Conduction) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference-TDEQ) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (Glass Conduction) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ΔT) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient-SHGC) และค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation-ESR) เป็นต้น

8. **<u>ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552</u>**

ตามประกาศฉบับนี้ กำหนดไว้ว่าระบบปรับอากาศประเภทและขนาดต่าง ๆ ที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นในรูปของอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน และค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นตามค่ามาตรฐานที่กำหนด

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินโครงการลงทุน

1. **<u>แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับต้นทุนเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average Cost of Capital หรือ WACC)</u>**

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

การคำนวณหาต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุน (Weighted Average Cost of Capital-WACC) ที่ไม่ใช่ต้นทุนเฉพาะในส่วนของเจ้าของ (Cost of Equity) เพียงอย่างเดียว

หากบริษัทระดมเงินทุนเพื่อการลงทุนในสินทรัพย์ และต้องการรักษาโครงสร้างเงินทุน (Capital Structure) เหมือนเดิม นั่นคือ การรักษาอัตรส่วนของหนี้สิน และส่วนของเจ้าของให้คงเดิม บริษัทจะต้องระดมทุนเพิ่มด้วยส่วนผสมของหนี้สิน และส่วนของเจ้าของ ซึ่งส่วนที่เป็นของเจ้าของอาจมาจากกำไรสะสมหรือการจำหน่ายหุ้นสามัญก็ได้

ในการคำนวณต้นทุนของเงินทุนทุกประเภท จะใช้ต้นทุนหลังภาษีเสมอโดยต้นทุนของหนี้ระยะยาว (หลังภาษี) จะเท่ากับอัตราดอกเบี้ยหักด้วยภาษีที่ประหยัดได้ ตามสูตรการคำนวณดังนี้

ต้นทุนของหนี้ระยะยาว (หลังภาษี) = อัตราดอกเบี้ย - ภาษีที่ประหยัดได้

$= k_d - k_d T$

$= k_d (1-T)$

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

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

โดยที่

W_d = สัดส่วนของหนี้สิน

W_p = สัดส่วนของหุ้นบุริมสิทธิ์

W_c = สัดส่วนของส่วนของเจ้าของ

k_d = ต้นทุนของหนี้สินก่อนภาษี

k_p = ต้นทุนของหุ้นบุริมสิทธิ์

k_s = ต้นทุนในส่วนของเจ้าของ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในบางครั้งจะเรียกหุ้นบุริมสิทธิ์และส่วนของเจ้าของรวมกันว่า เงินทุนของเจ้าของ (Cost of Equity หรือ k_e) และมีสัดส่วนของเงินทุนของเจ้าของ (W_e)

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

อย่างไรก็ตาม ต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุนได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ มากมาย บางปัจจัยบริษัทไม่สามารถควบคุมได้ ในขณะที่บางปัจจัยได้รับผลกระทบจากนโยบายในการจัดหาเงินทุนและนโยบายในการลงทุนของบริษัทเอง

1) ปัจจัยที่บริษัทไม่สามารถควบคุมได้ ประกอบด้วย

1.1) อัตราดอกเบี้ย (Interest Rates) หากอัตราดอกเบี้ยสูงขึ้น ต้นทุน (อัตราดอกเบี้ย) จากหนี้สินจะสูงขึ้น เพราะบริษัทต้องจ่ายดอกเบี้ยให้สถาบันการเงินหรือผู้ถือพันธบัตรสูงขึ้น นอกจากนั้น หากอัตราดอกเบี้ยสูงขึ้น ต้นทุนในส่วนของเจ้าของสูงขึ้นด้วย เนื่องจากอัตราผลตอบแทนที่ไม่มีความเสี่ยง (k_{RF}) จะสูงขึ้น

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

2) ปัจจัยที่บริษัทสามารถควบคุมได้ ประกอบด้วย

2.1) นโยบายของโครงสร้างเงินทุน (Capital Structure Policy) โดยปกติบริษัทสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเงินทุนได้ ซึ่งจะกระทบต้นทุนของเงินทุน ต้นทุนหลังภาษีของหนี้สินมักจะต่ำกว่าต้นทุนในส่วนของเจ้าของ ดังนั้น ถ้าบริษัท ตัดสินใจใช้แหล่งเงินทุนจากหนี้สินเพิ่มขึ้นและลดสัดส่วนในส่วนของเจ้าของลง จะมีผลทำให้ WACC ต่ำลง อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการใช้หนี้สินเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความเสี่ยงทั้งในส่วนของเจ้าหนี้และเจ้าของเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และในที่สุดจะส่งผลให้ต้นทุนของทั้งของหนี้สินและส่วนของเจ้าของเพิ่มขึ้น และก็จะกระทบกับ WACC เช่นเดียวกัน

2.2) นโยบายการลงทุน (Invesment Policy) จากในตอนต้นที่กล่าวมา เราสมมติว่าในการที่บริษัทจะระดมทุนเพิ่ม เพื่อจะนำเงินลงทุนที่ได้มานั้นไปลงทุนในธุรกิจเดิม ความเสี่ยงทาง

ธุรกิจไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม ถ้าบริษัทมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของธุรกิจ เช่น เปลี่ยนจากธุรกิจการเกษตรเป็นธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ ก็จะมีผลต่อต้นทุนของเงินทุนเป็นอย่างมาก เนื่องจากความเสี่ยงทางธุรกิจเปลี่ยนแปลงไป

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีข้อจำกัดบางประการ กระบวนการในการประเมินหาต้นทุนเฉลี่ยของเงินทุน (Cost of Capital) นั้นมีประโยชน์ในการใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินว่า โครงการใดควรจะลงทุนหรือไม่ โดยเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนจากโครงการกับต้นทุนของเงินทุนที่จะนำมาลงทุนในโครงการนั้น ๆ

2. **<u>แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการคิดลดกระแสเงินสด</u>** <u>(Discounted Cash Flow)</u>

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

2.1 <u>มูลค่าผลตอบแทนการลงทุนปัจจุบัน (Net Present Value: NPV)</u>

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

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

ในที่นี้

n	=	อายุของโครงการ (ปี)
ESt	=	ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Cost Savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n
I_o	=	เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)
i	=	อัตราลดค่า (Discount Rate)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าของทุนที่ใช้เป็นอัตราลดค่า (Discount Rate) จะมีค่าเดียวกันตลอดอายุโครงการ และขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาดที่ผู้ลงทุนเผชิญอยู่ ซึ่งอย่างน้อยควรมีค่าของทุนเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำที่ผู้ลงทุนได้รับ

ในการเลือกโครงการ ค่า NPV จะแสดงให้เห็นว่าโครงการที่กำลังพิจารณามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไหร่เมื่อสิ้นสุดโครงการ ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นบวก แสดงว่าผลประโยชน์ในอนาคตเมื่อนำมาคิดมูลค่าปัจจุบันแล้วมีค่ามากกว่าเงินลงทุน นั่นคือการลงทุนในโครงการนั้นได้รับผลตอบแทนคุ้มกับการลงทุน โครงการดังกล่าวจึงเป็นโครงการที่สมควรจะลงทุน ดังนั้นจึงควรเลือกโครงการที่ให้ค่า NPV เป็นบวกมากที่สุด แต่การใช้ NPV เพียงอย่างเดียวอาจทำให้มีข้อจำกัดในการตัดสินใจในการเลือกโครงการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่โครงการมีขนาดต่างกัน แต่ให้ค่า NPV ที่เป็นบวกเท่ากัน ดังนั้นการตัดสินใจให้การสนับสนุน ควรจะต้องนำเครื่องมืออื่นมาประกอบการพิจารณาควบคู่ไปกับการใช้ค่า NPV

2.2 <u>อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR)</u>

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

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

ในที่นี้

n = อายุของโครงการ (ปี)

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

I_o = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณหาค่า IRR ก็คือการหาค่า Discount Rate ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ (NPV = 0) นั่นเอง ถ้าค่า IRR มากกว่าหรือเท่ากับอัตราผลตอบแทนที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใจก็ถือได้ว่าโครงการดังกล่าว เป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยทั่วไปแล้ว ทั้งวิธีในการประเมินโครงการจากค่า IRR และ NPV จะให้ผลการตัดสินใจรับโครงการหรือปฏิเสธโครงการเป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่ในบางกรณีที่ใช้ข้อสมมติ เช่น การนำเงินที่ได้ในแต่ละปีไปลงทุนใหม่ (Reinvestment) หรือการใช้วิธีหักค่าเสื่อมราคา แบบ Double-Declining Balance Method แทนแบบเส้นตรง (Straight Line Method) ก็อาจทำให้คำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธีขัดแย้งกันได้ ดังนั้น การพิจารณาประเมินโครงการลงทุนจากทั้ง 2 วิธีจึงต้องคำนึงถึงสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ

2.3 ระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงมูลค่าปัจจุบัน (Discounted Payback Period: DPB)

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

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

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

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

งวดเวลาคืนทุน = จำนวนปีที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์

ระยะเวลาคืนทุนที่ได้จากทั้ง 2 วิธี จะมีความแตกต่างกัน โดยค่าจาก Static Method จะให้งวดเวลาคืนทุนเร็วกว่า Dynamic Method เนื่องจาก Dynamic Method จะใช้การคำนวณค่าแบบสะสมจากมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนและพลังงานที่ประหยัดได้ซึ่งคิดอัตราลดค่า

(Discount Rate) ในการเลือกโครงการระยะเวลาคืนทุนจะแสดงให้เห็นว่าต้องใช้เวลานานเพียงใดในการได้ทุนคืน เกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ถ้าต้องเลือกโครงการใดโครงการหนึ่งเพียงโครงการเดียว จะเลือกโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่า แต่ถ้าสามารถเลือกได้ทุกโครงการ จะเลือกโครงการที่ระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม การพิจารณาแต่เพียงระยะเวลาคืนทุนนั้นมีข้อเสียในการเลือกโครงการ คือ วิธีนี้จะไม่ให้ความสนใจต่อเงินเข้าสุทธิในส่วนที่ได้หลังจากช่วงเวลาคืนทุนแล้ว ซึ่งอาจจะมีผลตอบแทนภายหลังมากกว่าโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วก็ได้

3. **<u>การวิเคราะห์ความอ่อนไหว</u>** <u>(Sensitivity / Scenario Analysis)</u>

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

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจะเริ่มจากสภาวะปกติที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario) โดยการใช้มูลค่าที่คาดการณ์ไว้ (Expected Value) ของตัวแปรแต่ละตัวหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ามูลค่าที่คาดว่าน่าจะใกล้เคียงความจริงมากที่สุดมาทำการวิเคราะห์กรณีที่น่าจะเป็นมากที่สุด (Most Likely Case Scenario) หลังจากนั้น จึงวิเคราะห์กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario) และกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario) โดยการเปลี่ยนตัวแปรแต่ละตัวให้สูงกว่าหรือต่ำกว่ามูลค่าที่คาดการณ์ไว้แต่แรกและเปรียบเทียบค่า NPV จากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร ซึ่งโดยปกติแล้วโอกาสในการเกิดกรณีที่ดีที่สุดและกรณีที่แย่ที่สุดจะอยู่ที่ร้อยละ 25 ในขณะที่กรณีที่น่าจะเป็นมากที่สุดมีโอกาสในการเกิดร้อยละ 50 (ยูจีน และ ฮุสตัน, 2544: 356)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการประเมินความเสี่ยงของโครงการ อย่างไรก็ตาม การประเมินด้วยแนวทางนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างเนื่องจากมีการกำหนดทางเลือกให้ไม่กี่ทางเลือกเท่านั้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เน้นการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์จริง (Simulation Research) เป็นสำคัญ โดยการใช้การจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถกันความร้อนและในขณะเดียวกันก็สามารถรับแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาในอาคารสำนักงานได้อย่างเหมาะสม และผ่านตามเกณฑ์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าตามที่กฎหมายกำหนดไว้ เพื่อให้ผลของงานวิจัยนี้มีความถูกต้อง จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารสำนักงานจริงมากที่สุดก่อนการวิเคราะห์ในขั้นต่อ ๆ ไป ดังนั้น จึงต้องเก็บข้อมูลของอาคารสำนักงานจากประสบการณ์ของผู้ออกแบบโดยตรง

ในบทนี้ เป็นการนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับประชากรที่ใช้ในการศึกษา กลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนการวิจัย และแผนงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ประชากร

ประชากรที่ทำการศึกษาครั้งนี้ เป็นผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์หลากหลาย ทั้งที่ทำงานอยู่ในองค์กรต่าง ๆ และที่ประกอบธุรกิจส่วนตัวที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ จำนวน 22 บริษัท โดยคัดเลือกผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบอาคารสำนักงานปรับอากาศขนาดใหญ่มาไม่ต่ำกว่า 5 ปี

กลุ่มตัวอย่าง

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างคือ 30 คน ส่วนวิธีการสุ่มตัวอย่างเป็นวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติของผู้ตอบแบบสอบถามหรือผู้ให้สัมภาษณ์เป็นสำคัญคือ ต้องเป็นสถาปนิกผู้มีประสบการณ์ออกแบบอาคารสำนักงานปรับอากาศที่มีความสูงมากกว่า 23 เมตร และมีพื้นที่มากกว่า 10,000 ตารางเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ทั้งแบบสอบถาม (Questionnaire) และการสัมภาษณ์ เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความสะดวกของกลุ่มตัวอย่างผู้ให้ข้อมูลเป็นสำคัญ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) และการสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการวิจัยเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) ส่วนการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ผู้วิจัยศึกษาแนวคิดและทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากหนังสือ บทความ รวมทั้งการสืบค้นผ่านทางอินเทอร์เน็ต

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ เป็นการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานด้วยโปรแกรม Microsoft Excel หลังจากนั้น จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบและอาคารทางเลือกในกรณีศึกษา

การวิเคราะห์เชิงเทคนิคจะใช้สูตรคำนวณค่า OTTV ใหม่ในการคำนวณและเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (OTTV) และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.0 ในการคำนวณและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use) ของอาคารแต่ละประเภท

ส่วนการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ และการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel ในการคำนวณมูลค่าผลตอบแทนจากการลงทุนปัจจุบัน (NPV) อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period) ของอาคารแต่ละประเภท

รายละเอียดของตัวแปร

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญ ดังนี้

ตัวแปรต้น : กระจกอนุรักษ์พลังงานชนิดต่าง ๆ

ตัวแปรตาม 1 : ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (OTTV)

ตัวแปรตาม 2 : ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร (Electric End Use)

ตัวแปรตาม 3 : ค่าประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าผลตอบแทนจากการลงทุนปัจจุบัน (NPV) อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) ระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period)

ตัวแปรควบคุม 1: อัตราส่วนพื้นที่ผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด (WWR)

ตัวแปรควบคุม 2: รายละเอียดอื่น ๆ เกี่ยวกับการออกแบบอาคารสำนักงาน เช่น ชนิดและสีของผนังทึบ อัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร อัตราความหนาแน่นของประชากรผู้ใช้งานในอาคาร ระบบและอุปกรณ์ปรับอากาศ ระบบและอุปกรณ์แสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ และรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นต้น

ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการศึกษา 6 ขั้นตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษารวบรวมทฤษฎีด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร และการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมภายในอาคาร โดยในขั้นตอนแรกนี้ จะทำความเข้าใจปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคาร เช่น ขนาดและพื้นที่ของช่องแสง ทิศทางของอาคาร ขนาดและรูปทรงของอาคาร และวัสดุที่ใช้เป็นเปลือกอาคาร ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำแบบสำรวจเบื้องต้น

2. การสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) ซึ่งในการสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบนั้น ขั้นตอนแรก จะนำข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการศึกษาทฤษฎี การทดลองใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการสุ่มตัวอย่าง มาสร้างแบบสอบถาม (Questionnaire)และทำการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างเบื้องต้น หลังจากนั้น จึงทำการทดสอบแบบสอบถามและปรับปรุงแบบสอบถาม เมื่อแบบสอบถามสมบูรณ์แล้ว จึงเริ่มเก็บข้อมูลภาคสนามจากผู้ออกแบบที่มี

ประสบการณ์ในการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่จำนวน 30 คน และนำข้อมูลจริงที่สำรวจได้มาเทียบกับข้อกำหนดทางกฎหมายก่อนที่จะนำมาสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.0 เพื่อใช้เปรียบเทียบกับอาคารทางเลือกอื่น ๆ ในกรณีศึกษาต่อไป

3. การสร้างแบบจำลองอาคารทางเลือก ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการเก็บข้อมูลคุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ จากผู้ผลิต ค่าคุณสมบัติของกระจกที่จำเป็นต้องพิจารณา ได้แก่ ค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ (Visible Light Transmission หรือ VT) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Shading Coefficient หรือ SC) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient หรือ SHGC) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (Coefficient of Heat Transmission หรือ U-Value) และอัตราส่วนการส่งผ่านของแสงต่อความร้อน (Light to Solar Gain หรือ LSG) หลังจากนั้น จึงนำข้อมูลอาคารต้นแบบมาใช้ในการเปลี่ยนชนิดกระจกที่อาคารทางเลือก ทำการคำนวณค่า OTTV ของอาคารทางเลือกในแบบต่าง ๆ โดยใช้สูตรคำนวณค่า OTTV ใหม่ และคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร (Electric End Use) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.0

4. การประเมินกระจกอนุรักษ์พลังงานเชิงเทคนิค ในขั้นตอนการประเมินนี้ จะทำการเปรียบเทียบค่า OTTV ของอาคารทางเลือกและค่า OTTV ของอาคารต้นแบบกับเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดคือ OTTV ไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อมีอัตราส่วนพื้นที่ของช่องแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) แตกต่างกันไป หากอาคารใดมีค่า OTTV ไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร ก็ถือว่าผ่านการประเมินทางเทคนิค

ในการเลือกกระจกอนุรักษ์พลังงานที่ทำให้ค่า OTTV ต่ำที่สุด หรืออย่างน้อยผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด สามารถพิจารณาความเหมาะสมทางเทคนิคของกระจกแต่ละประเภทจากคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) มีความสามารถในการป้องกันการถ่ายเทความร้อน อันเนื่องมาจากพลังงานจากการแผ่รังสีอาทิตย์โดยตรงได้ดี (ค่า SC ต่ำ)

2) มีความสามารถในการป้องกันการถ่ายเทความร้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างภายในกับภายนอกอาคารได้ดี (ค่า U-Value ต่ำ)

3) มีค่าการส่องผ่านของแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาในอาคารได้สูง (ค่า VT สูง)

5. การประเมินกระจกอนุรักษ์พลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์ ในขั้นตอนการประเมินนี้จะเลือกเฉพาะอาคารกรณีศึกษาที่ผ่านการประเมินทางเทคนิคมาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อ

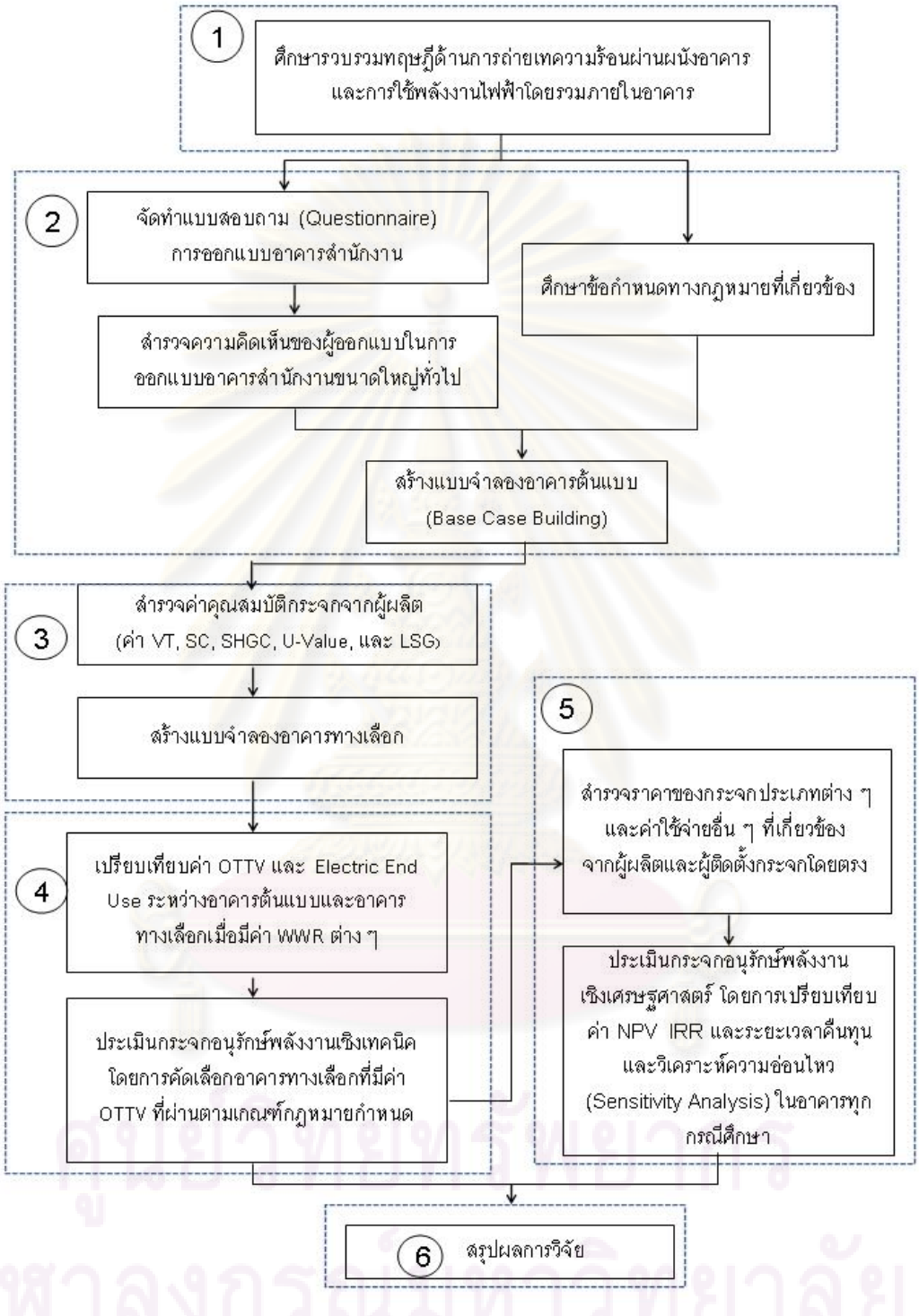
เท่านั้น อาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์ทางเทคนิคจะไม่นำมาพิจารณา เพราะถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายกำหนด การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะเริ่มจากการสำรวจราคาของกระจกประเภทต่าง ๆ จากผู้ผลิตและผู้ติดตั้งกระจก เพื่อใช้คำนวณค่าใช้จ่าย โดยการเปรียบเทียบราคากระจกที่ใช้ในอาคารต้นแบบ กับราคากระจกที่ใช้ในอาคารทางเลือก อีกทั้งมีการประมาณการค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่ากรอบเฟรมอลูมิเนียม และอุปกรณ์อื่น ๆ พร้อมการติดตั้งกระจก รวมถึงภาษีเงินได้นิติบุคคล เป็นต้น แล้วจึงคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนกระจกชนิดเดิมเป็นกระจกที่ประหยัดพลังงานมากขึ้น

ในส่วนของรายได้ จะพิจารณาจากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่ลดลง นำไปคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เนื่องจากการเปลี่ยนมาใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานในอาคารทางเลือกแบบต่าง ๆ ทั้งนี้จะใช้อัตราค่าไฟต่อหน่วยตามจริงในปัจจุบันของอาคารสำนักงาน ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 3.7 บาท/หน่วย โดยที่สมมติให้ค่าไฟมีอัตราที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี (ในกรณีที่น่าจะเป็น)

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงาน จะใช้ข้อมูลการประมาณการรายได้และค่าใช้จ่ายข้างต้น มาคำนวณหามูลค่าผลตอบแทนการลงทุนปัจจุบัน (Net Present Value หรือ NPV) อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Internal Rate of Return หรือ IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period) โดยที่สมมติให้คิดจากอัตราดอกเบี้ยคงที่ร้อยละ 9 ต่อปี (ในกรณีที่น่าจะเป็น) ภายในระยะเวลา 20 ปี นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของการศึกษาในทุกกรณี ทั้งกรณีที่น่าจะเป็น (Most-Likely Case Scenario) กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario) และกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario) และสรุปเป็นผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

6. สรุปและผลการวิจัย เป็นการรายงานภาพรวมของผลการประเมินทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 และ 5 มาสรุปรวมกัน เพื่อนำเสนอแนวทางการเลือกชนิดกระจกที่เหมาะสมที่สุดในการประหยัดพลังงานในอาคารสำนักงานปรับอากาศขนาดใหญ่ เมื่อมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนังอาคารแตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

แผนการวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินการวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้กำหนดแผนการวิจัยไว้ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการวิจัย

กิจกรรม	พ.ศ. 2552					พ.ศ. 2553		
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1. สำรวจข้อมูลเบื้องต้น	⟷							
2. สร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ								
2.1 สุ่มตัวอย่าง	⟷							
2.2 สร้างแบบสอบถาม		⟷						
2.3 ทดสอบแบบสอบถาม		↔						
2.4 ปรับปรุงแบบสอบถาม			↔					
2.5 เก็บข้อมูลภาคสนาม			⟷	⟷				
2.6 ประมวณผลข้อมูล					↔			
2.7 ศึกษาข้อกำหนดทางกฎหมาย					↔			
2.8 สร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ					↔			
3. สร้างแบบจำลองอาคารทางเลือก								
3.1 สำรวจค่าคุณสมบัติของกระจก					↔			
3.2 สร้างแบบจำลองอาคารทางเลือก					↔			
4. ประเมินกระจกอนุรักษ์พลังงานเชิงเทคนิค								
4.1 เปรียบเทียบค่า OTTV และ ค่า Electric End Use ของอาคารต้นแบบ และอาคารทางเลือก เมื่อมีค่า WWR ต่างๆ						⟷		
4.2 คัดเลือกอาคารนำเสนอที่ผ่านเกณฑ์กฎหมาย						⟷		
5. ประเมินกระจกอนุรักษ์พลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์								
5.1 สำรวจราคาของกระจกและค่าใช้จ่ายอื่นๆ							⟷	
5.2 คำนวณค่า NPV, IRR, และระยะเวลาคืนทุน							⟷	
5.3 วิเคราะห์ความอ่อนไหว							⟷	
6. เขียนรายงานสรุปผลการวิจัย								⟷

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจ

1. **<u>ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง</u>**

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์ (ดังปรากฏในภาคผนวก ง) กับกลุ่มตัวอย่างผู้เป็นสถาปนิก ที่มีประสบการณ์การออกแบบอาคารสำนักงานปรับอากาศที่มีความสูงมากกว่า 23 เมตร และมีพื้นที่มากกว่า 10,000 ตารางเมตร จำนวน 30 คน จากบริษัทหรือหน่วยงานที่แตกต่างกันจำนวน 22 บริษัท ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค โดยสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน	ร้อยละ
ระดับการศึกษา		
1. ต่ำกว่าปริญญาตรี	0	0.0
2. ปริญญาตรี	13	43.3
3. ปริญญาโท	16	53.3
4. ปริญญาเอก	1	3.3
5. อื่น ๆ	0	0.0
ประสบการณ์การออกแบบ		
1. น้อยกว่า 5 ปี	0	0.0
2. 5-9 ปี	3	10.0
3. 10-14 ปี	3	10.0
4. 15-19 ปี	7	23.3
5. 20 ปีขึ้นไป	17	56.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

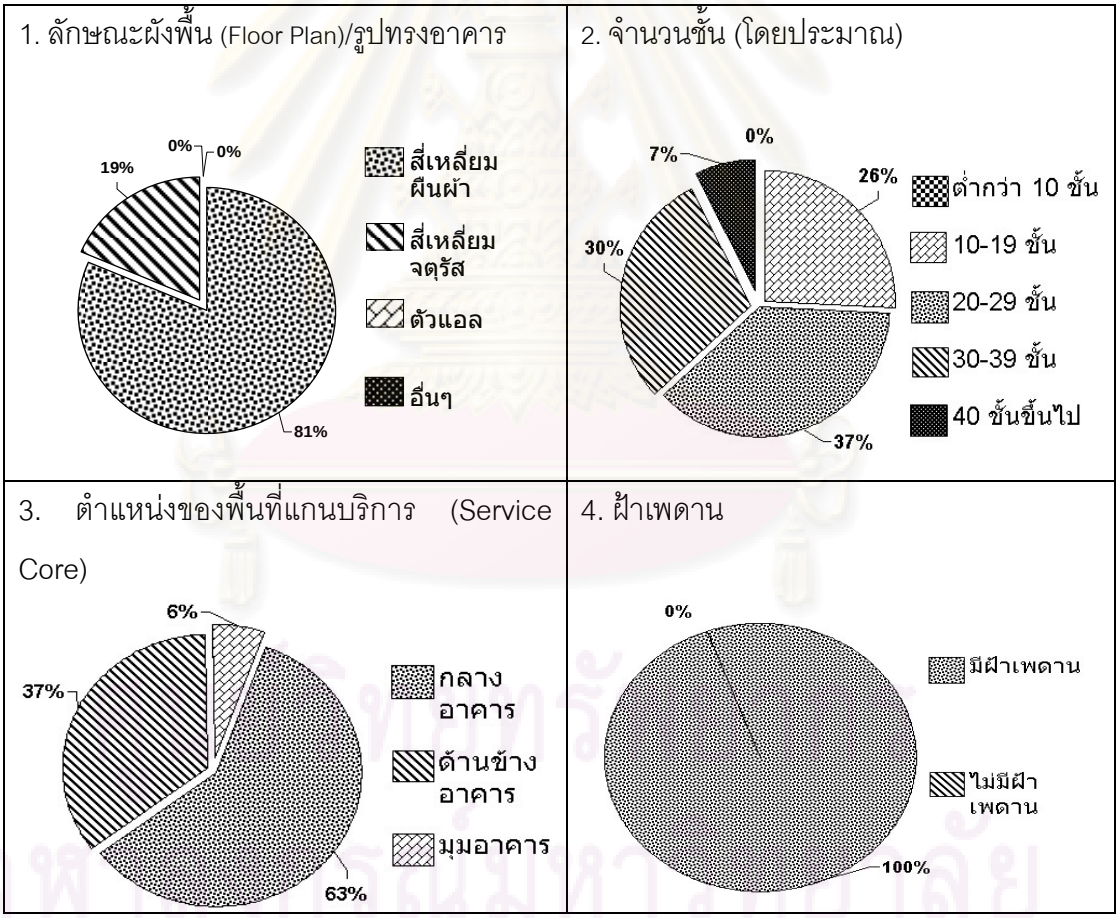
ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน	ร้อยละ
ลักษณะงาน *(เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)*		
1. สถาปัตยกรรม (Architecture)	30	100.0
2. ตกแต่งภายใน (Interior Design)	7	23.3
3. ภูมิสถาปัตย์ (Landscape Architecture)	3	10.0
4. สถาปัตยกรรมผังเมือง (Urban Architecture)	3	10.0
5. เคหะการ (Housing Development)	1	3.3
6. อื่น ๆ	1	3.3
ประเภทโครงการ *(เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)*		
1. บ้านพักอาศัย, อาคารชุด	30	100.0
2. อาคารสำนักงาน, ห้องสมุด, โรงเรียน	30	100.0
3. อาคารสรรพสินค้า, อาคารพาณิชย์, อาคารแสดงสินค้า/นิทรรศการ	25	83.3
4. โรงแรม, โรงพยาบาล	26	86.7
5. อื่น ๆ	3	10.0

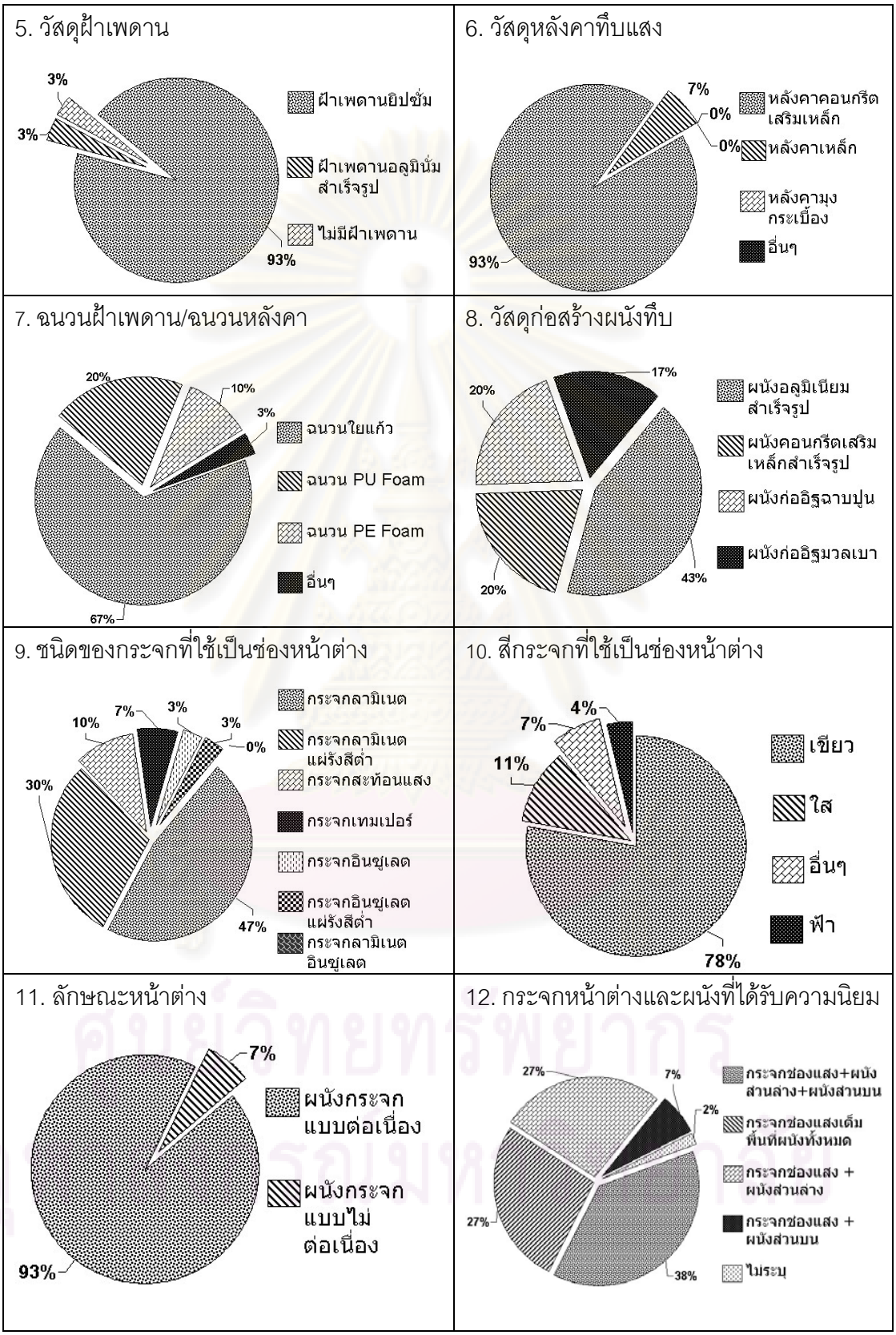
จากตารางที่ 4.1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างเป็นสถาปนิกที่จบการศึกษาระดับปริญญาโท (ร้อยละ 53.3) รองลงมาคือระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 43.3) นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีประสบการณ์ในการออกแบบมานานกว่า 20 ปีขึ้นไป (ร้อยละ 56.7) รองลงมาคือมีประสบการณ์ในการออกแบบระหว่าง 15-19 ปี (ร้อยละ 23.3) หากพิจารณาถึงลักษณะงานของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเคยทำงานด้านสถาปัตยกรรม (ร้อยละ 100.0) รองลงมาคือตกแต่งภายใน (ร้อยละ 23.3) หากพิจารณาถึงประเภทโครงการที่กลุ่มตัวอย่างเคยมีบทบาทเกี่ยวข้อง จะพบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเคยทำงานโครงการบ้านพักอาศัย/อาคารชุด (ร้อยละ 100.0) และอาคารสำนักงาน/ห้องสมุด/โรงเรียน (ร้อยละ 100.0) รองลงมาคือ โรงแรม/โรงพยาบาล (ร้อยละ 86.7) และจากการคัดเลือกคุณสมบัติของกลุ่มตัวอย่างก่อนการเก็บข้อมูลทำให้มั่นใจว่ากลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเคยมีประสบการณ์ในการออกแบบอาคารสำนักงานปรับอากาศที่มีความสูงมากกว่า 23 เมตร และมีพื้นที่มากกว่า 10,000 ตารางเมตร จึงอาจกล่าวได้ว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีประสบการณ์ในด้านการออกแบบอาคารสำนักงานปรับอากาศขนาดใหญ่เป็นอย่างดี

2. **<u>ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป (Typical Large Office Building)</u>**

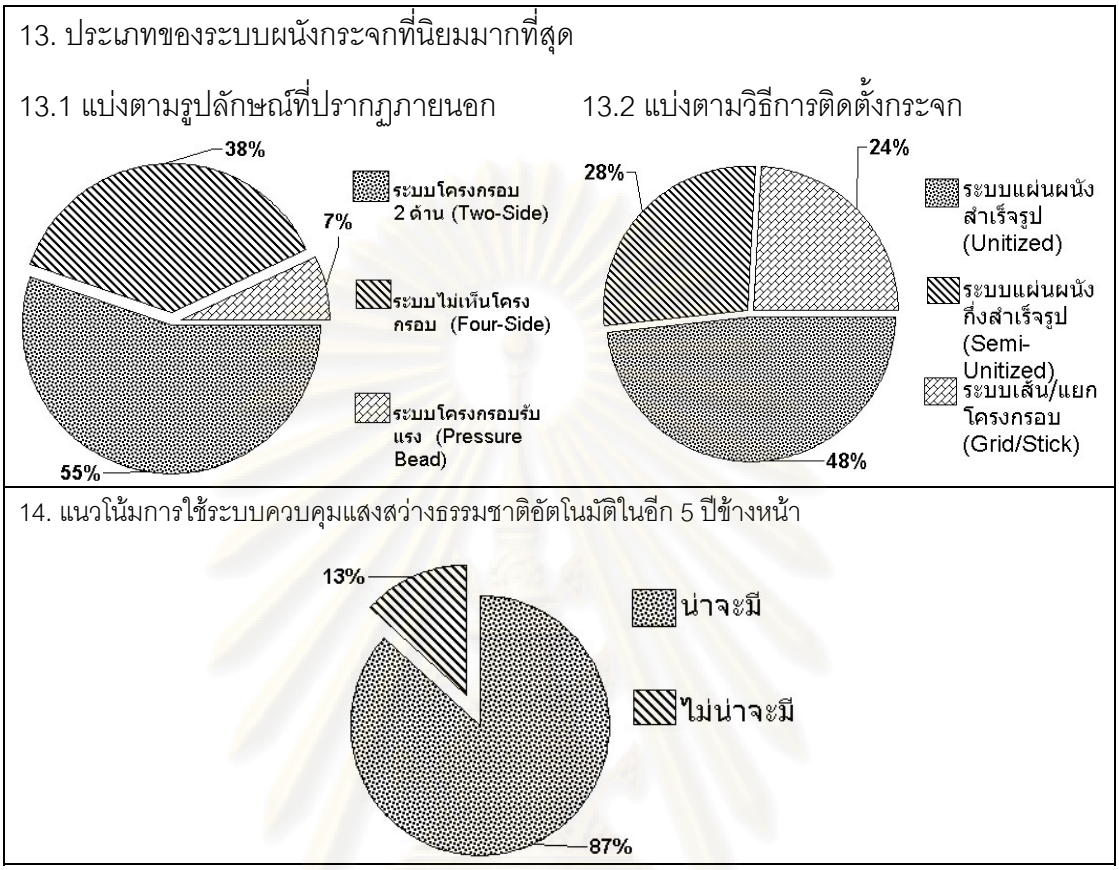
ในการสำรวจความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป (Typical Large Office Building) ซึ่งประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญได้แก่ ลักษณะผังพื้น/รูปทรงอาคาร จำนวนชั้น ตำแหน่งของพื้นที่แกนบริการ ฝ้าเพดาน วัสดุฝ้าเพดาน วัสดุหลังคาทึบแสง ฉนวนฝ้าเพดาน/ฉนวนหลังคา วัสดุก่อสร้างผนังทึบ ชนิดและสีกระจกที่ใช้เป็นช่องหน้าต่าง ลักษณะหน้าต่าง ลักษณะของกระจกหน้าต่างและผนังที่ได้รับความนิยม ประเภทระบบผนังกระจก และแนวโน้มการใช้ระบบควบคุมแสงสว่างธรรมชาติอัตโนมัติ (Daylight Control System) ซึ่งผลการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น ปรากฏรายละเอียดในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป (Typical Large Office Building)


5. วัสดุฝ้าเพดาน
3%
3%
93%
ฝ้าเพดานยิปซั่ม
ฝ้าเพดานอลูมินั่ม สำเร็จรูป
ไม่มีฝ้าเพดาน
6. วัสดุหลังคาทึบแสง
7%
0%
0%
93%
หลังคาคอนกรีต เสริมเหล็ก
หลังคาเหล็ก
หลังคามุง กระเบื้อง
อื่นๆ
7. ฉนวนฝ้าเพดาน/ฉนวนหลังคา
20%
10%
3%
67%
ฉนวนใยแก้ว
ฉนวน PU Foam
ฉนวน PE Foam
อื่นๆ
8. วัสดุก่อสร้างผนังทึบ
17%
20%
20%
43%
ผนังอลูมิเนียม สำเร็จรูป
ผนังคอนกรีตเสริม เหล็กสำเร็จรูป
ผนังก่ออิฐฉาบปูน
ผนังก่ออิฐมวลเบา
9. ชนิดของกระจกที่ใช้เป็นช่องหน้าต่าง
7%
3%
10%
3%
0%
30%
47%
กระจกลามิเนต
กระจกลามิเนต แผ่รังสีต่ำ
กระจกสะท้อนแสง
กระจกเทมเปอร์
กระจกอินซูเลต
กระจกอินซูเลต แผ่รังสีต่ำ
กระจกลามิเนต อินซูเลต
10. สีกระจกที่ใช้เป็นช่องหน้าต่าง
4%
7%
11%
78%
เขียว
ใส
อื่นๆ
ฟ้า
11. ลักษณะหน้าต่าง
7%
93%
ผนังกระจก แบบต่อเนื่อง
ผนังกระจก แบบไม่ ต่อเนื่อง
12. กระจกหน้าต่างและผนังที่ได้รับความนิยม
27%
7%
2%
27%
38%
กระจกช่องแสง+ผนังส่วนล่าง+ผนังส่วนบน
กระจกช่องแสงเต็มพื้นที่ผนังทั้งหมด
กระจกช่องแสง + ผนังส่วนล่าง
กระจกช่องแสง + ผนังส่วนบน
ไม่ระบุ

รูปที่ 4.1 (ต่อ)



รูปที่ 4.1 (ต่อ)

อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่าการสำรวจความคิดเห็นในครั้งนี้ ไม่สามารถสรุประยะของผังพื้นหรือขนาดของอาคารได้ โดยกลุ่มตัวอย่างให้เหตุผลว่า การประมาณขนาดของอาคารเป็นเรื่องค่อนข้างยาก เนื่องจากมีข้อจำกัดทางกฎหมายหลายประการซึ่งแตกต่างไปตามสถานที่ของที่ตั้งอาคาร ที่มีผลต่อการกำหนดระยะถอยร่นของอาคาร พื้นที่ว่าง และพื้นที่สีเขียว เป็นต้น นอกจากนี้ ขนาดของอาคารยังขึ้นอยู่กับความต้องการของเจ้าของอาคารและแนวคิดในการออกแบบอาคารของผู้ออกแบบเช่นกัน

3. **<u>การเปรียบเทียบข้อมูลการสำรวจกับข้อกฎหมายก่อนสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ</u>**

ผลการสำรวจ พบว่า ผู้ออกแบบส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใช้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้กระจกเป็นผนังภายนอกของอาคารสูงเป็นอย่างดี เนื่องจากกฎกระทรวง ฉบับที่ 48 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ระบุไว้ว่าการใช้กระจกเป็นผนังภายนอกอาคารของอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ และอาคารขนาดใหญ่พิเศษ ต้องเป็น

กระจกตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไปประกบกัน โดยมีวัสดุคั่นกลางระหว่างชั้น และยึดกระจกแต่ละชั้นให้ติดแน่นเป็นแผ่นเดียวกัน ส่วนกระจกที่ติดกับราวกันตกและกระจกที่ใช้เป็นฝาของห้องโถงหรือทางเดินทางร่วมจะต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันหรือลดอันตรายจากการบาดของเศษกระจกเมื่อกระจกแตก ซึ่งสอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้ออกแบบที่นิยมใช้กระจกลามิเนตมากที่สุดถึงร้อยละ 47 อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบบางส่วน (ร้อยละ 20) ยังคงเลือกใช้กระจกเทมเปอร์แผ่นเดียว ซึ่งเมื่อกระจกแตกเศษกระจกอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้อาคารได้

นอกจากเรื่องความปลอดภัยแล้ว ผู้ออกแบบจำนวนหนึ่งยังคำนึงถึงคุณสมบัติการประหยัดพลังงานของกระจกเช่นกัน ดังจะเห็นได้ว่า กระจกลามิเนตแผ่รังสีต่ำ และกระจกสะท้อนแสงได้รับความนิยมอยู่บ้าง ในอัตราร้อยละ 30 และ 10 ตามลำดับ ในขณะที่กระจกที่มีคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานสูงกว่า อาทิเช่น กระจกฉนวนอินซูเลต และกระจกฉนวนอินซูเลตแผ่รังสีต่ำ (Low-E) ยังได้รับความนิยมค่อนข้างน้อย เพียงร้อยละ 6 และ 3 เท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณของเจ้าของอาคาร ตลอดจนความรู้ความเข้าใจของผู้ออกแบบเกี่ยวกับคุณสมบัติการประหยัดพลังงานของกระจกประเภทนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย

4. <u>สรุปรายละเอียดของอาคารสำนักงานต้นแบบ</u>

จากผลการสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป (Typical Large Office Building) ในรูปที่ 4.1 สามารถสรุปได้ว่า อาคารต้นแบบ (Base Case Building) ควรเป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีความสูงประมาณ 30 ชั้น มีพื้นที่แกนบริการอยู่ตรงกลางอาคาร ใช้ฝ้าเพดานยิบซั่ม มีหลังคาทึบทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้ฉนวนใยแก้วเป็นฉนวนฝ้าเพดานและฉนวนหลังคา ผนังทึบเป็นผนังมวลเบาหุ้มด้วยแผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป ส่วนผนังกระจกจะใช้กระจกลามิเนตสีเขียว เป็นผนังกระจกแบบต่อเนื่องที่ติดตั้งร่วมกับระบบแผ่นผนังสำเร็จรูปและมีลักษณะเห็นเป็นโครงกรอบรับแรง 2 ด้าน

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างเป็นแบบจำลองอาคารต้นแบบ 4 อาคาร โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window-to-Wall Ratio หรือ WWR) ในอัตราร้อยละ 80 60 40 และ 20 ตามลำดับ เนื่องจากอาคารศึกษาเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผู้วิจัยจึงกำหนดให้มีการหันพื้นที่ด้านยาวของอาคารไปทางทิศเหนือและทิศตะวันตกเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร โดยตั้งข้อสมมติฐานในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อสมมติฐานของแบบจำลองอาคารต้นแบบ

ลักษณะของอาคาร		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
ทิศเหนือ-ใต้	ยาว (เมตร)	36.00	36.00	36.00	36.00
ทิศตะวันออก-ตะวันตก	กว้าง (เมตร)	28.00	28.00	28.00	28.00
ทิศเหนือ-ใต้-ตะวันออก-ตะวันตก	สูง (เมตร)	120.00	120.00	120.00	120.00
ความสูงของแต่ละชั้น	(เมตร)	4.00	4.00	4.00	4.00
จำนวนชั้น	(ชั้น)	30	30	30	30
พื้นที่ปรับอากาศแต่ละชั้น	(ตร.ม.)	1,008	1,008	1,008	1,008
พื้นที่ปรับอากาศทั้งหมด	(ตร.ม.)	30,240	30,240	30,240	30,240
ขนาดกระจก		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
ทิศเหนือ-ใต้	กว้าง (เมตร)	2.00	1.50	1.00	1.20
ทิศตะวันออก-ตะวันตก	กว้าง (เมตร)	2.00	1.56	1.00	1.22
ทิศเหนือ-ใต้-ตะวันออก-ตะวันตก	สูง (เมตร)	3.20	2.40	1.60	0.80
พื้นที่กระจกต่อแผ่น		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
ทิศเหนือ	(ตร.ม./แผ่น)	6.40	3.60	1.60	0.96
ทิศใต้	(ตร.ม./แผ่น)	6.40	3.60	1.60	0.96
ทิศตะวันออก	(ตร.ม./แผ่น)	6.40	3.73	1.60	0.97
ทิศตะวันตก	(ตร.ม./แผ่น)	6.40	3.73	1.60	0.97
ปริมาณกระจก		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
ทิศเหนือ	(แผ่น)	540	720	1,080	900
ทิศใต้	(แผ่น)	540	720	1,080	900
ทิศตะวันออก	(แผ่น)	420	540	840	690
ทิศตะวันตก	(แผ่น)	420	540	840	690
รวมปริมาณกระจก	(แผ่น)	1,920	2,520	3,840	3,180

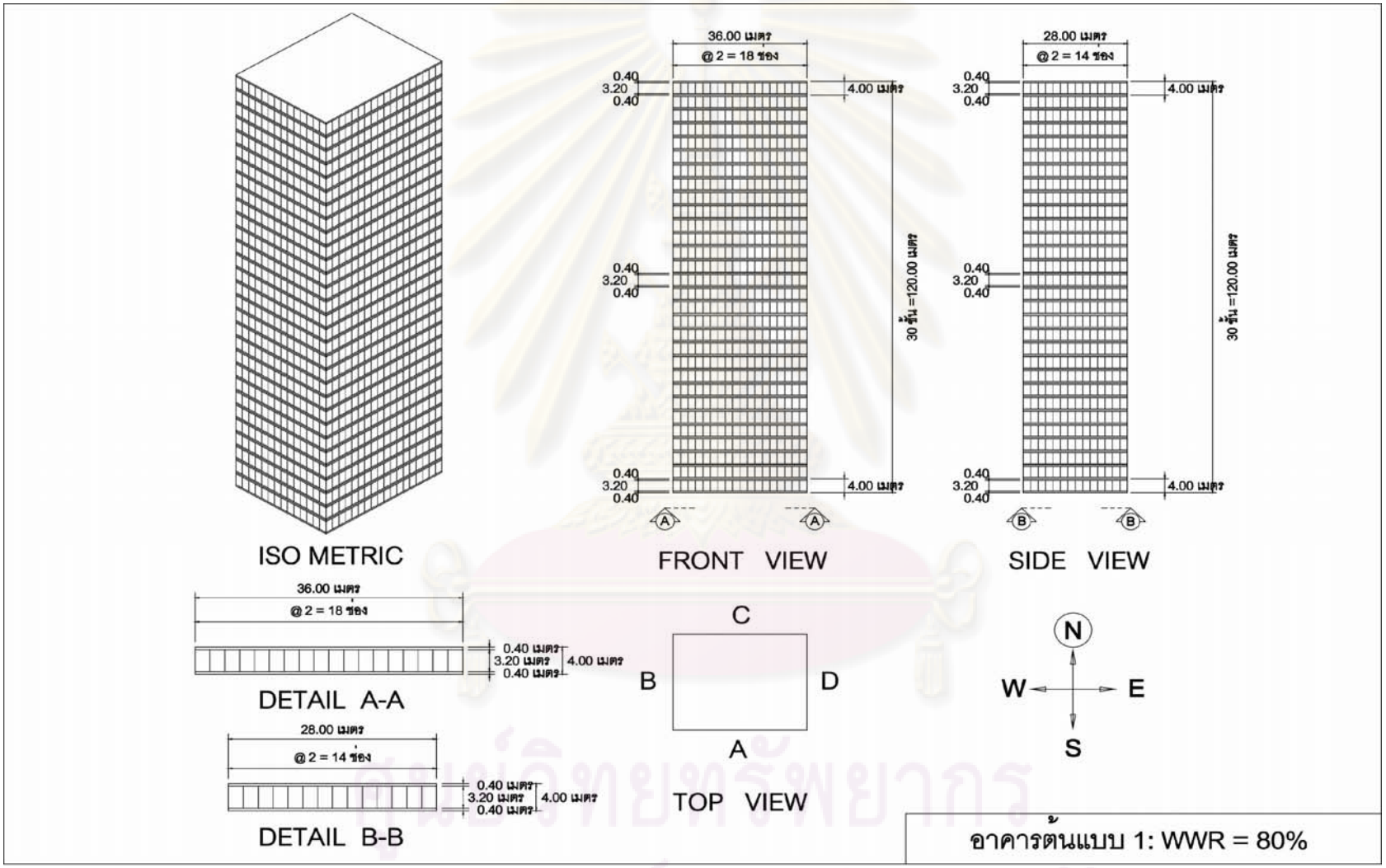
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

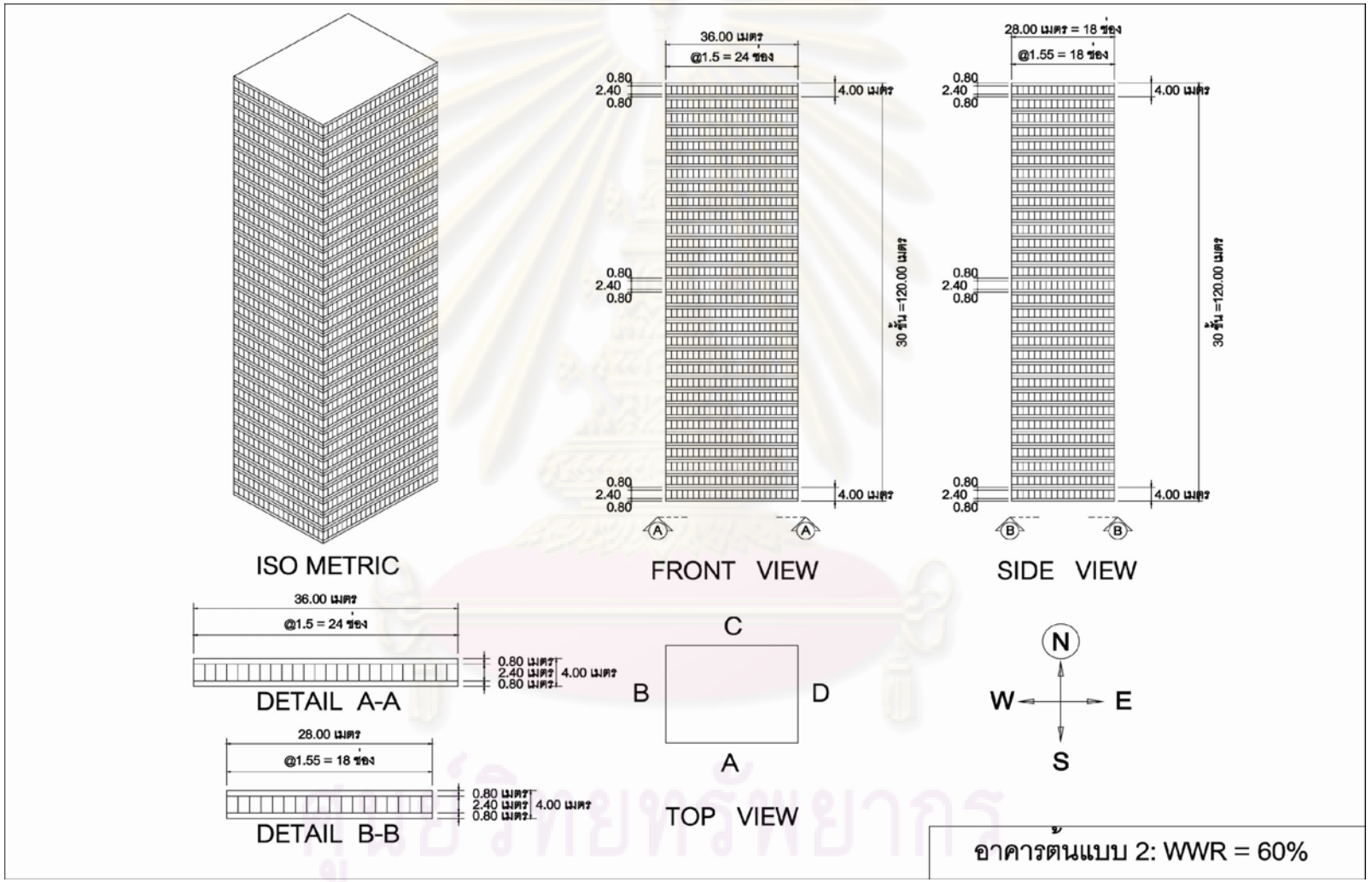
พื้นที่ผนังกระจก		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
ทิศเหนือ	(ตร.ม.)	3,456	2,592	1,728	864
ทิศใต้	(ตร.ม.)	3,456	2,592	1,728	864
ทิศตะวันออก	(ตร.ม.)	2,688	2,016	1,344	672
ทิศตะวันตก	(ตร.ม.)	2,688	2,016	1,344	672
รวมพื้นที่ผนังกระจก	(ตร.ม.)	12,288	9,216	6,144	3,072
พื้นที่ผนังทึบ		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
ทิศเหนือ	(ตร.ม.)	864	1,728	2,592	3,456
ทิศใต้	(ตร.ม.)	864	1,728	2,592	3,456
ทิศตะวันออก	(ตร.ม.)	672	1,344	2,016	2,688
ทิศตะวันตก	(ตร.ม.)	672	1,344	2,016	2,688
รวมพื้นที่ผนังทึบ	(ตร.ม.)	3,072	6,144	9,216	12,288
พื้นที่ผนังทั้งหมด (ผนังกระจก และผนังทึบ)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
ทิศเหนือ	(ตร.ม.)	4,320	4,320	4,320	4,320
ทิศใต้	(ตร.ม.)	4,320	4,320	4,320	4,320
ทิศตะวันออก	(ตร.ม.)	3,360	3,360	3,360	3,360
ทิศตะวันตก	(ตร.ม.)	3,360	3,360	3,360	3,360
รวมพื้นที่ผนังทั้งหมด	(ตร.ม.)	15,360	15,360	15,360	15,360
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20

จากสมมติฐานของแบบจำลองอาคารต้นแบบที่สร้างขึ้นมาบนพื้นฐานของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ผู้วิจัยได้นำมาสร้างภาพจำลองของอาคารต้นแบบ ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.2-4.5

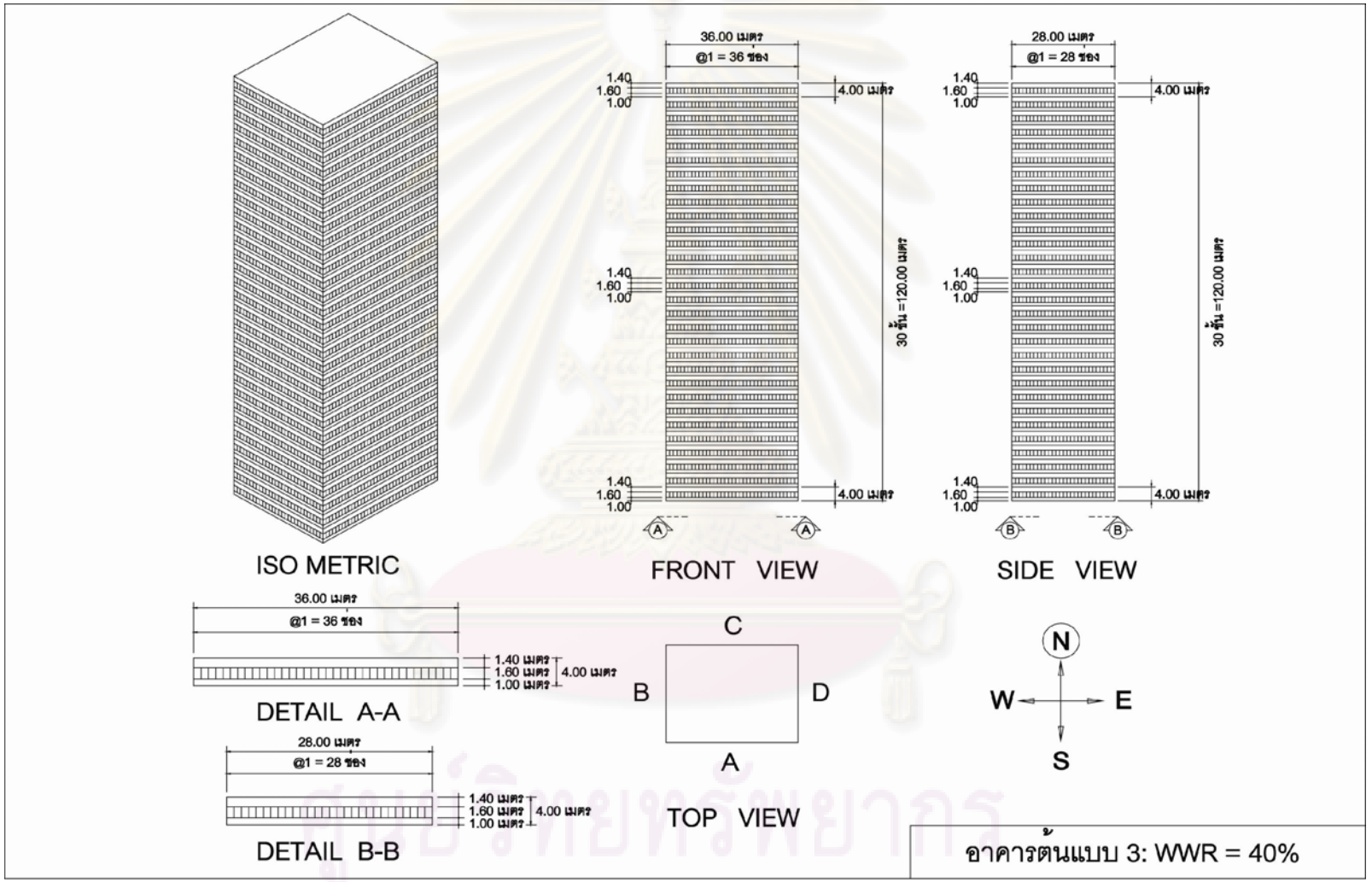
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



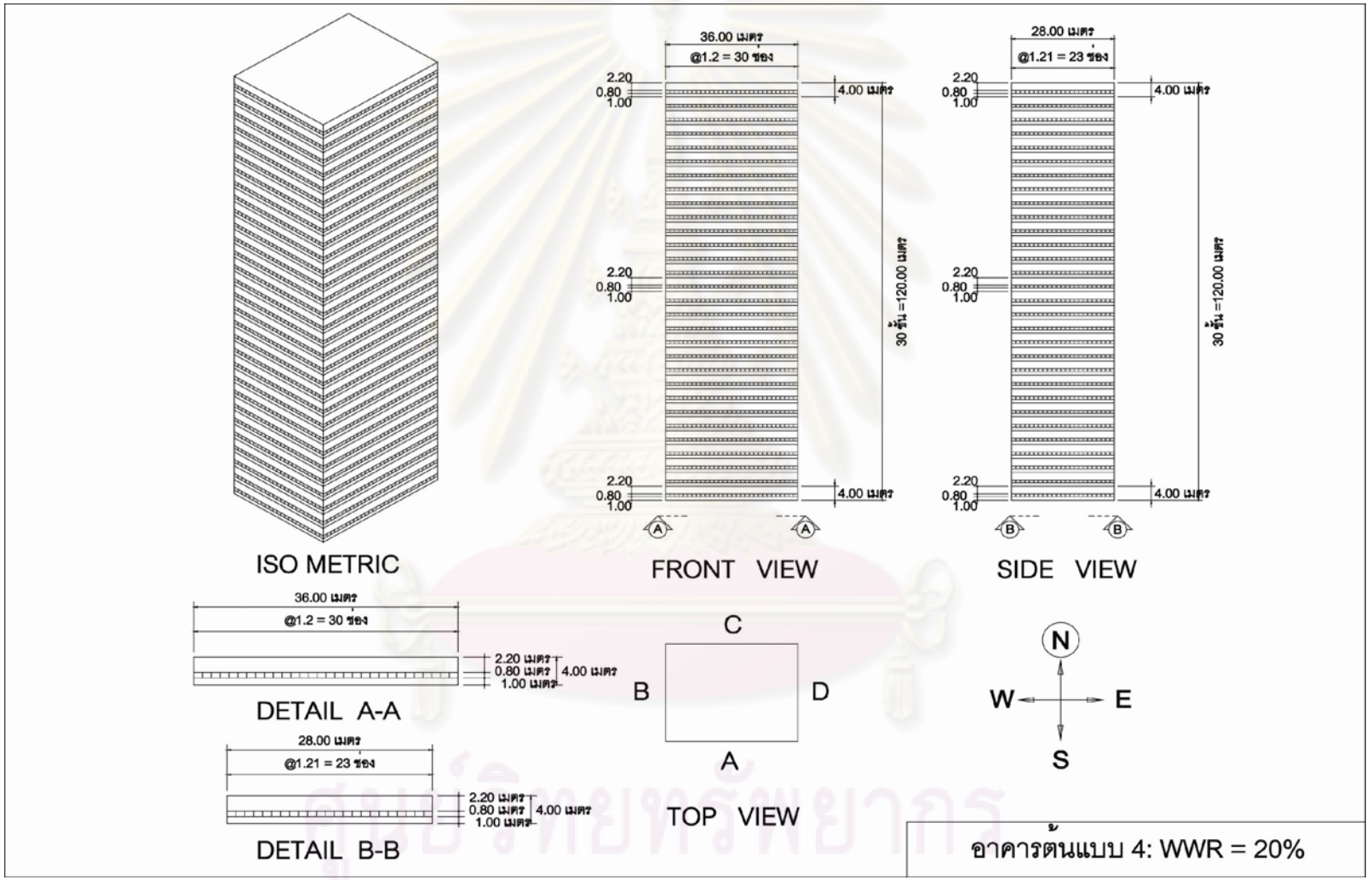
รูปที่ 4.2 อาคารต้นแบบ 1 : WWR = 80%



รูปที่ 4.3 อาคารต้นแบบ 2 : WWR = 60%



รูปที่ 4.4 อาคารต้นแบบ 3 : WWR = 40%



รูปที่ 4.5 อาคารต้นแบบ 4 : WWR = 20%

สำหรับผนังของอาคารต้นแบบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นผนังกระจก Curtain Wall ที่มีทั้งส่วนที่เป็นผนังติดด้านบนและผนังติดด้านล่าง โดยมีส่วนที่เป็นกระจกหน้าต่างอยู่ตรงกลางตามข้อสรุปจากผลสำรวจซึ่งปรากฏอยู่ในรูปที่ 4.1

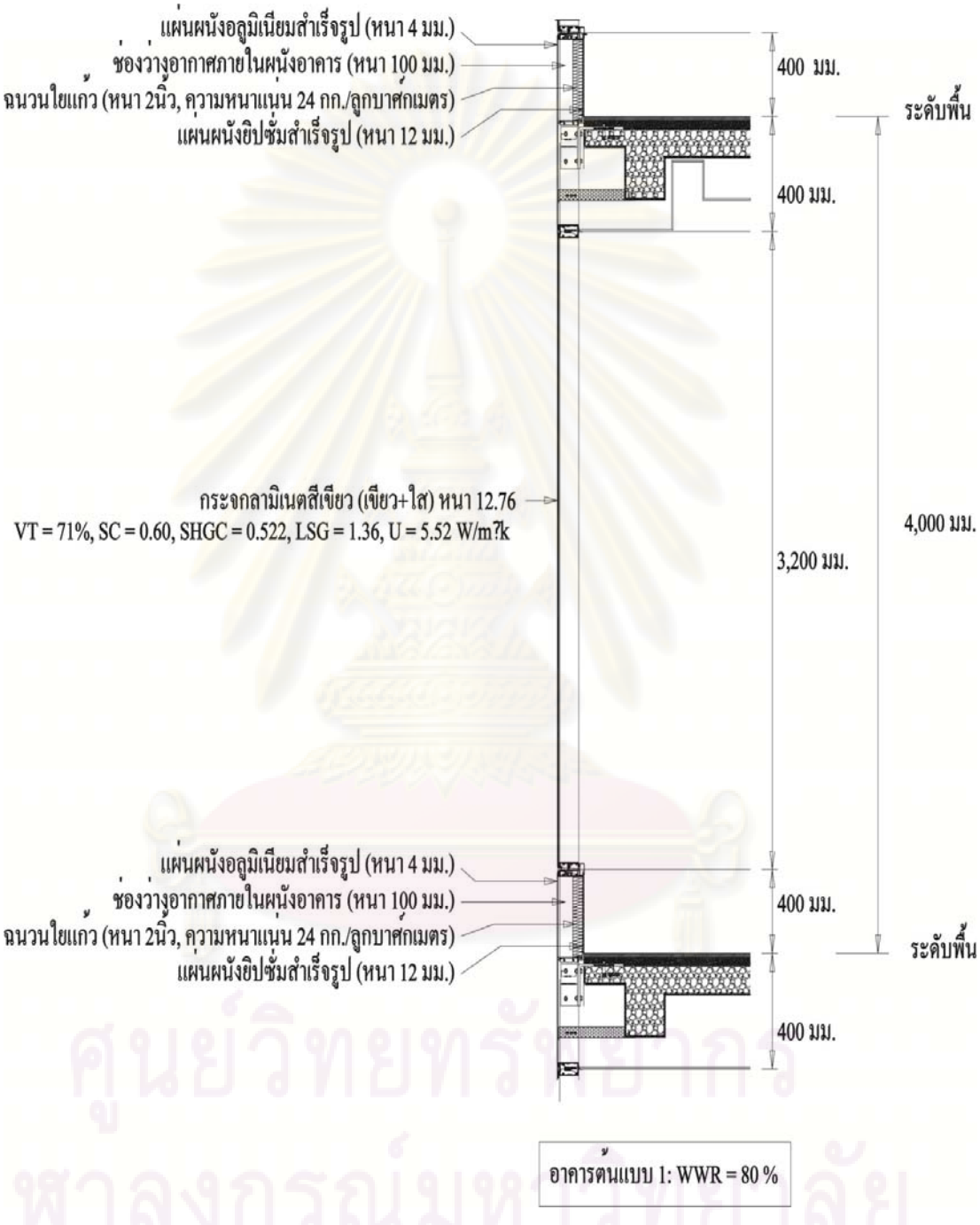
ส่วนที่เป็นผนังทึบจะเป็นผนังมวลเบาซึ่งประกอบด้วยแผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป หนา 4 มิลลิเมตร มีช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร หนา 100 มิลลิเมตร ใส่ฉนวนใยแก้วที่มีความหนาแน่น 24 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรหนา 2 นิ้ว และผนังภายในหุ้มด้วยแผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป หนา 12 มิลลิเมตร ทุกอาคารในกรณีศึกษาจะมีรายละเอียดของผนังทึบเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันที่สัดส่วนของ WWR ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.6-4.9

ส่วนกระจกที่ใช้ในอาคารต้นแบบนั้นเป็นกระจกลามิเนตสีเขียวทั่วไป ที่มีความหนา 12.76 มม. มีค่าคุณสมบัติ VT = 71% SC = 0.60 SHGC = 0.522 LSG = 1.36 และ U = 5.52 W/m^2k โดยสาเหตุที่เลือกใช้กระจกลามิเนตสีเขียวเป็นผนังอาคารต้นแบบ เนื่องจาก ผลการสำรวจความคิดเห็นของผู้ออกแบบส่วนใหญ่ระบุว่า กระจกลามิเนตได้รับความนิยมถึงร้อยละ 47 ส่วนสีกระจกที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ กระจกสีเขียว ในอัตราร้อยละ 78 เช่นเดียวกับกรณีผนังทึบทุกอาคารในกรณีศึกษาจะมีรายละเอียดของกระจกเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันที่สัดส่วนของ WWR ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.6-4.9

สำหรับกระจกที่ใช้ในอาคารทางเลือกนั้นเป็นกระจกอนุรักษ์พลังงานที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันตามข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตกระจก ดังรายละเอียดในภาคผนวก จ โดยสรุปได้ดังนี้

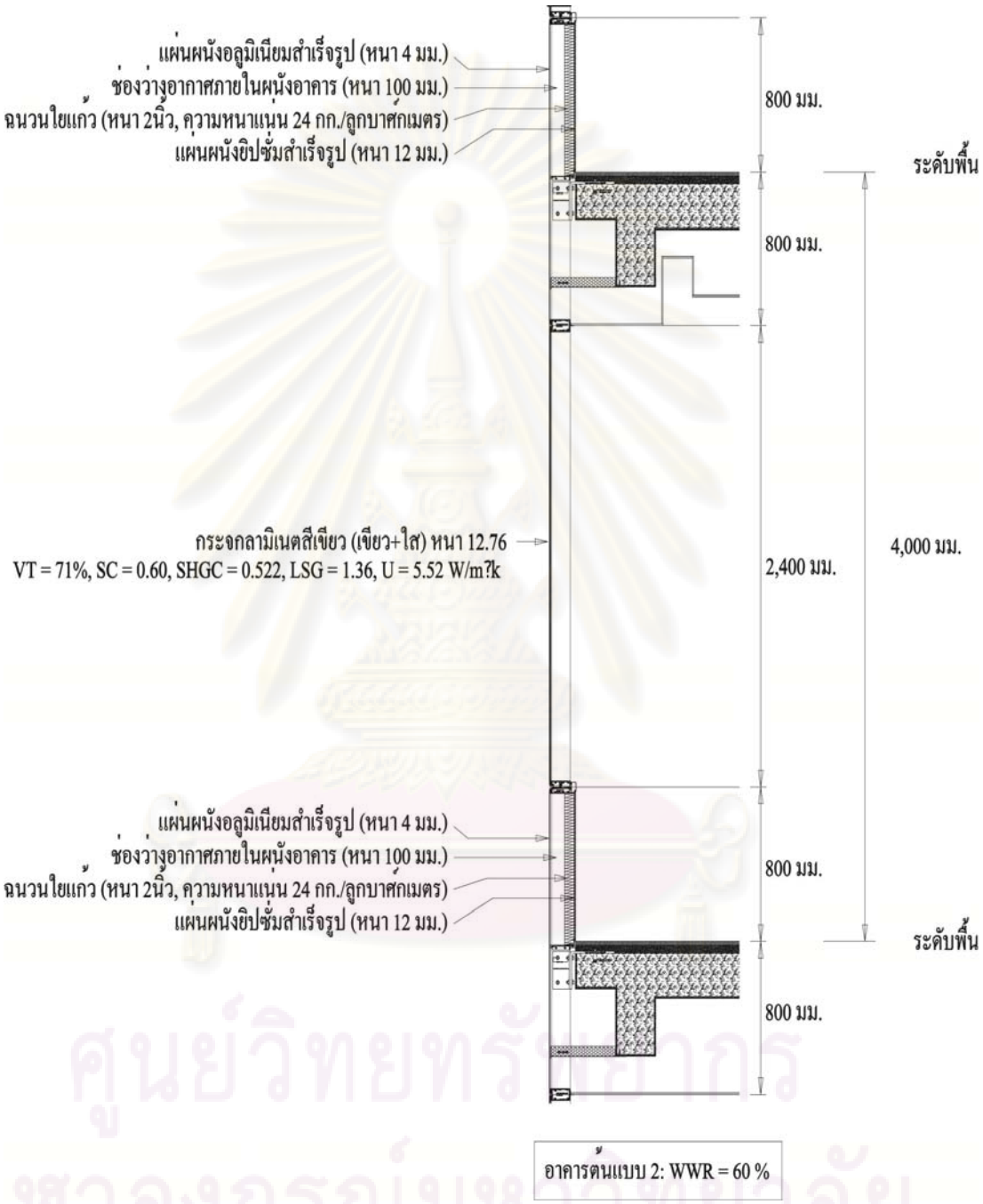
- กระจกทางเลือก A เป็นกระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสาร Hard Coated Low-E
- กระจกทางเลือก B เป็นกระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง
- กระจกทางเลือก C เป็นกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low–E ใส่ก๊าซอาร์กอน
- กระจกทางเลือก D เป็นกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low–E

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



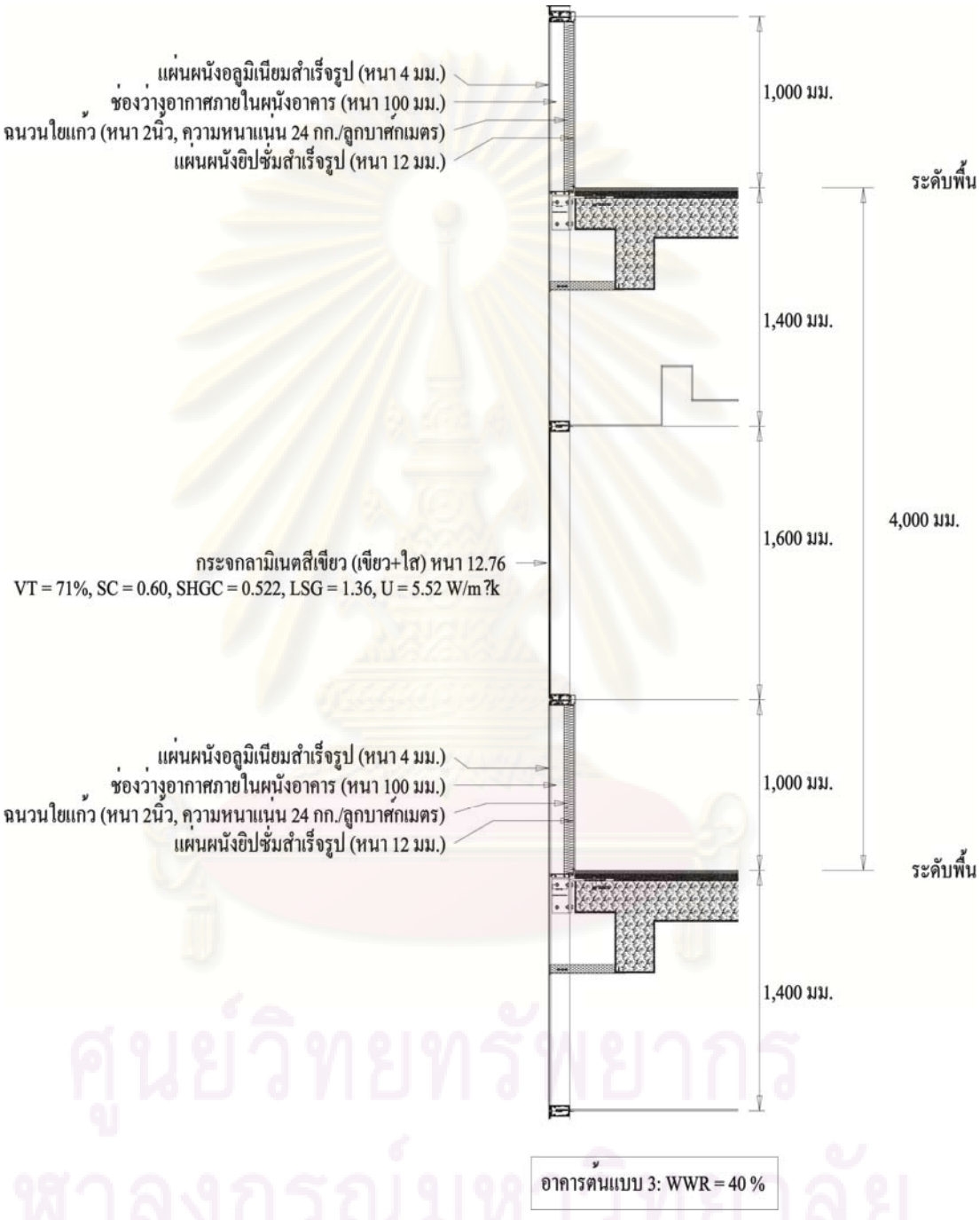
รูปที่ 4.6 ผนังอาคารต้นแบบ 1: WWR=80%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



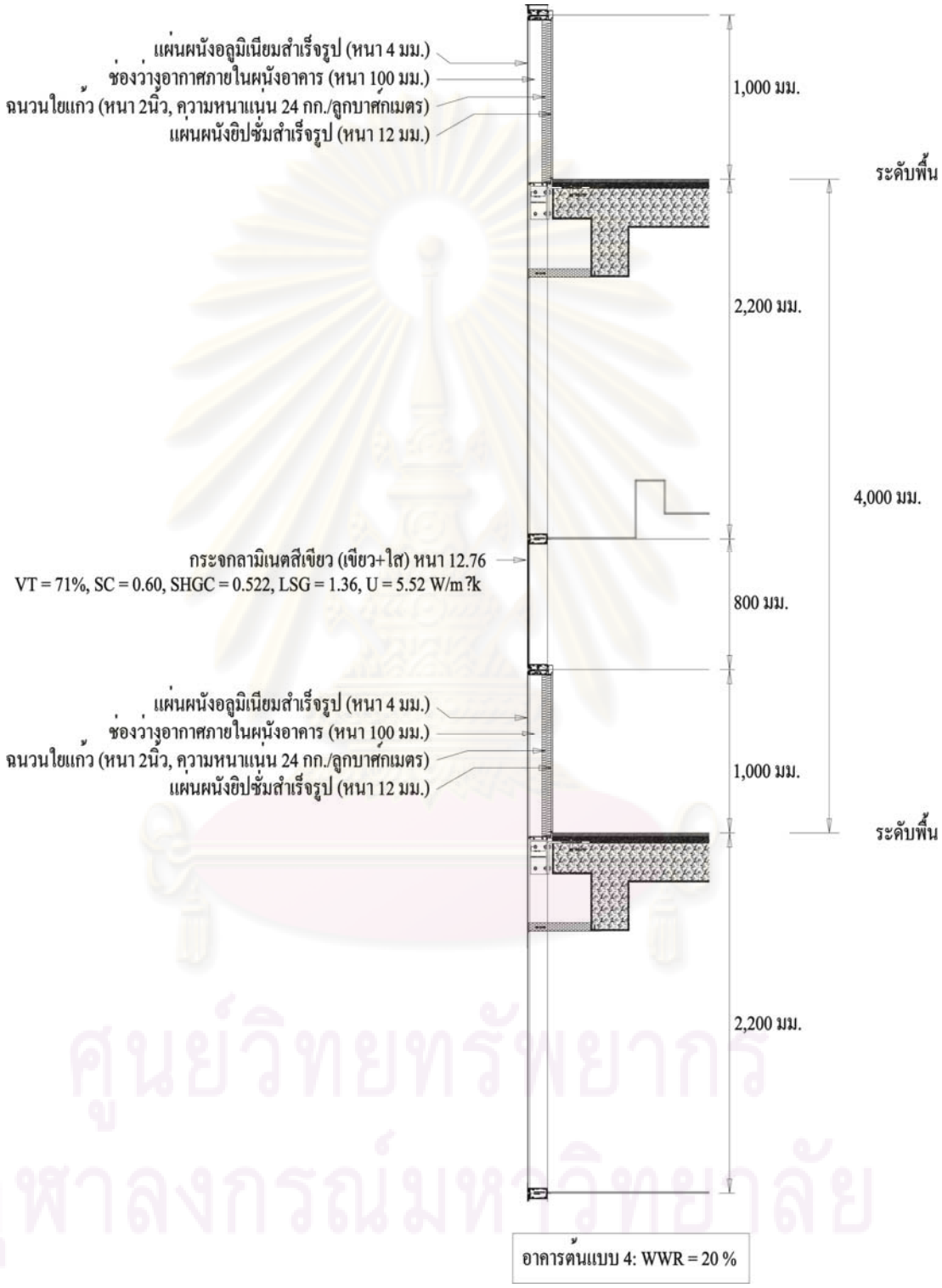
รูปที่ 4.7 ผนังอาคารต้นแบบ 2: WWR=60%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ผนังอาคารต้นแบบ 3: WWR=40%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ผนังอาคารต้นแบบ 4: WWR=20%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิค

1. <u>การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV)</u>

ในขั้นตอนนี้จะนำแบบจำลองอาคารต้นแบบและอาคารทางเลือกมาคำนวณและเปรียบเทียบค่า OTTV ในการคำนวณหา OTTV นั้น ผู้วิจัยมีสมมติฐานเกี่ยวกับผนังทึบและผนังกระจก ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมมติฐานของผนังทึบและผนังกระจก

รายละเอียดของผนังทึบ	รายละเอียดของผนังกระจก
1. เป็นผนังทึบระบบ Curtain Wall ตั้งฉาก ที่มีองค์ประกอบ ดังนี้ (1) แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป หนา 4 มิลลิเมตร (2) ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร หนา 100 มิลลิเมตร (3) ฉนวนใยแก้ว หนา 2 นิ้ว ความหนาแน่น 24 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ (4) แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูปหนา 12 มิลลิเมตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Total U Value) = 0.413 และมีผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) = 21.192 KJ/m^2.C 2. มีค่าคงที่อื่น ๆ ดังนี้ 2.1 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร (ΔT) = 5 องศาเซลเซียส พื้นผิวด้านนอกของผนังทึบเป็นผิวเรียบ ทาด้วยสีอ่อนไม่สะท้อนแสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha) = 0.3 2.2 ผนังทึบทุกด้านของอาคารนั้น มีพื้นที่เท่ากันและมีคุณลักษณะเหมือนกันโดยหันหน้าไปทางทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	1. เป็นผนังกระจกระบบ Curtain Wall ตั้งฉาก ที่มี WWR ในอัตราส่วนร้อยละ 80 60 40 และ 20 โดยเลือกใช้กระจก 5 ประเภท ดังนี้ 1.1 กระจกอาคารต้นแบบเป็นกระจกลามิเนตสีเขียวธรรมดา 1.2 กระจกอาคารทางเลือก A เป็นกระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสาร Hard Coated Low-E 1.3 กระจกอาคารทางเลือก B เป็นกระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง 1.4 กระจกอาคารทางเลือก C เป็นกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low–E ใส่ก๊าซอาร์กอน 1.5 กระจกอาคารทางเลือก D เป็นกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low-E 2. ไม่มีอุปกรณ์บังแดดทั้งภายในและภายนอกอาคาร 3. ผนังกระจกทุกด้านของอาคารมีพื้นที่เท่ากันและมีคุณลักษณะเหมือนกัน โดยหันหน้าไปทางทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วิธีการคำนวณค่า OTTV จะเริ่มจากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เมื่อได้ค่า k แล้ว จึงทำการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (R) และค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ (R Total) ซึ่งส่วนกลับของค่า R Total ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U Value) หลังจากนั้น จึงทำการหาค่าความหนาแน่นของวัสดุ (Density) และค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (p) และค่าความร้อนจำเพาะ (C_p)

ลำดับ	วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.^{o}C)	ความหนาแน่น (kg/m^{3})	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/Zkg.^{o}C)
1	โลหะผสมอลูมิเนียมแบบธรรมดา	211	2672	0.896
2	ฉนวนใยแก้ว (ไฟเบอร์กลาส) ความหนาแน่น 24 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.035	24	0.96
3	แผ่นยิปซั่ม	0.282	800	1.09

ที่มา. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552.

หลังจากนั้น นำค่าความหนาแน่นของวัสดุและค่าความร้อนจำเพาะดังกล่าวข้างต้นมาหาค่าผลคูณของความหนาแน่นวัสดุและค่าความร้อนจำเพาะ (Density Specific Heat-DSH) และค่าผลคูณของความหนาแน่นวัสดุและค่าความร้อนจำเพาะรวม (Total DSH) ขั้นตอนต่อมาคือการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha) จากตารางที่ 4.5 และค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) จากตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอก

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	0.3	วัสดุมีผิวสะท้อนแสง
1. แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียม		และวัสดุที่มีผิวขาว
2. หินอ่อนสีขาว		
3. กรวดล้างสีขาว		
สีทาภายนอก		
1. สีขาว		
2. สีเงิน		
3. สีเงินหรือสีบรอนซ์สะท้อนแสง		

ที่มา. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552.

ตารางที่ 4.6 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

มุมเอียงของผนัง (องศา)	ทิศทาง	DSH ($KJ/(m^2.^0C)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
90	เหนือ	15	10.8	14.1	17.4	20.7
		30	10.4	13.7	16.9	20.1
90	ตะวันออก	15	12.6	17.2	21.9	26.5
		30	12.3	16.9	21.5	26.1
90	ใต้	15	13.0	18.0	22.9	27.8
		30	12.7	17.5	22.3	27.1
90	ตะวันตก	15	12.3	16.7	21.1	25.5
		30	11.9	16.2	20.4	24.7

ที่มา. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากนั้นจึงคำนวณหาค่าการนำความร้อนผ่านผนังทึบ (Wall Conduction หรือ Q_1)

โดยที่ Q_1 = U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)

+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)

+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)

+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)

ส่วนการคำนวณค่าการนำความร้อนผ่านผนังกระจก (Glass Conduction หรือ Q_2) และค่าการแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก (Glass Radiation หรือ Q_3) จะใช้ข้อมูลคุณสมบัติของกระจกจากผู้ผลิตกระจกโดยตรง เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U Value) ของกระจก และค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ของกระจก ส่วนค่าความแตกต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร (ΔT) อาศัยข้อมูลจากที่กำหนดไว้ในกฎหมาย คือ มีค่าเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส

จากนั้น คำนวณหาค่าการนำความร้อนผ่านผนังกระจก (Glass Conduction หรือ Q_2)

โดยที่ Q_2 = U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT

+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT

+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT

+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT

แล้วจึงคำนวณหาค่าการการแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก (Glass Radiation หรือ Q_3) โดยที่ Q_3 = พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (กระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR

+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (กระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR

+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (กระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR

+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (กระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR

สุดท้ายนี้ จึงคำนวณค่า OTTV จากการหาผลรวมของ Q_1 Q_2 และ Q_3 ดังรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ฉ

2. **<u>การคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use)</u>**

ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.0 นั้น ผู้วิจัยได้ตั้งข้อสมมติฐานดังรายละเอียดในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมมติฐานในการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร

รายละเอียด	ค่าคงที่
หลังคา	หลังคาไม่โปร่งแสง ทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก
ระบบปรับอากาศ ใช้เครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ (Electric Chiller) 1 เครื่อง แต่ไม่มีเครื่องทำความเย็นแบบดูดซับความร้อน (Absorption Chiller) 1. ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Coefficient of Performance--COP) 2. อัตราการระบายอากาศ (Ventilation Rate--VENT) 3. อุณภูมิน้ำเย็นขาออก (Chiller Water Temperature) 4. ระบบ HVAC	 2.85 0.20 14 องศาเซลเซียส เป็นระบบที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของพัดลมแบบคงที่ (Constant Volume Reheat Fan System)
ระบบแสงสว่าง ไม่มีการใช้ระบบควบคุมแสงสว่างธรรมชาติอัตโนมัติ (Daylight Control System) 1. ความเข้มข้นของแสงต่อ 1 แรงเทียน (Lighting Power Density--LPD) - พื้นที่แกนบริการ (Service Core) - พื้นที่สำนักงาน (Office Area) 2. แสงที่กระจายไปฉายบนผนัง (Diversity Factor Lighting) อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของอุปกรณ์ต่อพื้นที่ (Equipment Power Density--EPD) - พื้นที่แกนบริการ (Service Core) - พื้นที่สำนักงาน (Office Area)	 8 วัตต์/ตร.ม. 16 วัตต์/ตร.ม. 0.8 4 วัตต์/ตร.ม. 8 วัตต์/ตร.ม.
อัตราความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ใช้สอย (Occupancy Density--OCCU)	25 ตร.ม./คน

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

รายละเอียด	ค่าคงที่
เวลาการใช้งานอาคาร	08.00-17.00 น. (วันจันทร์-วันศุกร์ ไม่รวมวันหยุดนักขัตฤกษ์)
จำนวนชั่วโมงการใช้งานอาคารต่อปี	1,976 ชม.

จากสมมติฐานดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร ซึ่งประกอบไปด้วยการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม และการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม ซึ่งผลรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้าของทุกส่วนที่กล่าวมาเรียกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ซึ่งผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารสำนักงานปรากฏในภาคผนวก ช

3. **<u>สรุปผลการวิเคราะห์ค่า OTTV และการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร</u>**

จากการวิเคราะห์ค่า OTTV และการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร (Electric End Use) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างอาคารต้นแบบที่ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวธรรมดาเป็นผนังอาคาร กับอาคารทางเลือกที่ใช้ผนังอาคารเป็นกระจกประเภทอื่น ๆ อีกจำนวน 4 ทางเลือก ผลการศึกษาปรากฏตามรายละเอียดในตารางที่ 4.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

อาคาร	WWR	OTTV (w/m^2)		ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ($kWh/ m^2.y$)		ค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (MW)	
		หันทางทิศเหนือ	หันทางทิศตะวันตก	หันทางทิศเหนือ	หันทางทิศตะวันตก	หันทางทิศเหนือ	หันทางทิศตะวันตก
อาคารต้นแบบ: คุณสมบัติกระจกมีค่า VT=71% SC=0.60 SHGC=0.522 LSG=1.36 U=5.52 W/ m^2k							
อาคาร 1	80	120	121	308	322	2.33	2.42
อาคาร 2	60	91	92	274	285	2.10	2.17
อาคาร 3	40	63	63	238	246	1.85	1.91
อาคาร 4	20	34	34	194	195	1.60	1.54
อาคารทางเลือก A: คุณสมบัติกระจกมีค่า VT=66% SC=0.52 SHGC=0.45 LSG=1.46 U=3.69 W/ m^2k							
อาคาร 1	80	99	100	291	303	2.22	2.42
อาคาร 2	60	76	76	259	269	2.00	2.06
อาคาร 3	40	52	52	227	234	1.85	1.83
อาคาร 4	20	29	29	185	188	1.47	1.49
อาคารทางเลือก B: คุณสมบัติกระจกมีค่า VT=21% SC=0.35 SHGC=0.30 LSG=0.7 U=5.52 W/ m^2k							
อาคาร 1	80	79	79	243	251	1.91	1.96
อาคาร 2	60	60	61	222	229	1.76	1.80
อาคาร 3	40	42	42	202	206	1.85	1.65
อาคาร 4	20	23	24	181	175	1.48	1.40
อาคารทางเลือก C: คุณสมบัติกระจกมีค่า VT=58% SC=0.39 SHGC=0.34 LSG=1.71 U=1.46 W/ m^2k							
อาคาร 1	80	70	70	262	271	2.03	2.09
อาคาร 2	60	54	54	236	244	1.85	1.90
อาคาร 3	40	37	38	210	216	1.67	1.71
อาคาร 4	20	21	21	184	179	1.50	1.43

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

อาคาร	WWR	OTTV (w/m^2)		ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ($kWh/ m^2.y$)		ค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (MW)	
		หันทางทิศเหนือ	หันทางทิศตะวันตก	หันทางทิศเหนือ	หันทางทิศตะวันตก	หันทางทิศเหนือ	หันทางทิศตะวันตก
อาคารทางเลือก D: คุณสมบัติกระจกมีค่า VT=35% SC=0.24 SHGC=0.21 LSG=1.67 U=1.56 W/ m^2k							
อาคาร 1	80	(46)	(47)	217	223	1.74	1.78
อาคาร 2	60	(36)	(36)	202	206	1.62	1.66
อาคาร 3	40	(26)	(26)	187	190	1.52	1.54
อาคาร 4	20	(15)	(15)	174	167	1.43	1.35

หมายเหตุ: ◯ = ผ่านค่า OTTV ตามกฎหมายกำหนดที่ไม่เกิน 50 วัตต์/ตร.ม.

อาคารต้นแบบ ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวธรรมดา หนา 12.76 มม.

อาคารทางเลือก A ใช้กระจกลามิเนตสีเขียว Hard Coated Low-E หนา 12.76 มม.

อาคารทางเลือก B ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง หนา 12.76 มม.

อาคารทางเลือก C ใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low – E ใส่ก๊าซอาร์กอน หนา 30.76 มม.

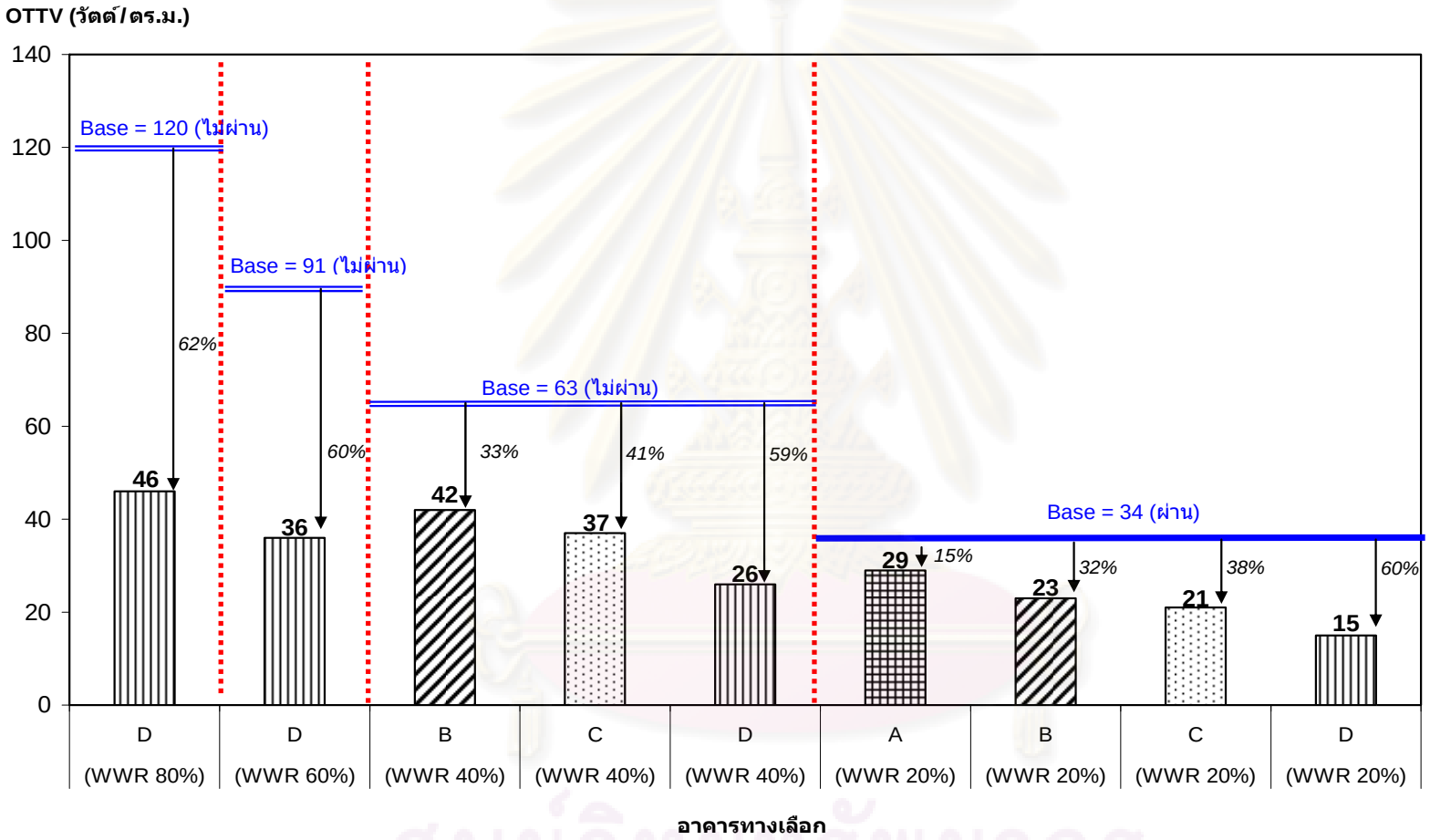
อาคารทางเลือก D ใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low – E หนา 30.76 มม.

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า การใช้พื้นที่ของกระจกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระจกเป็นตัวนำความร้อนและรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์เข้ามาสู่ตัวอาคารโดยตรง แต่เมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากขึ้น พบว่า ผู้ออกแบบสามารถออกแบบให้อาคารมี WWR เพิ่มมากขึ้น โดยที่มีค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนด ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างอาคารต้นแบบที่ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวธรรมดา จะผ่านค่า OTTV ได้ก็ต่อเมื่อมี WWR ไม่เกินร้อยละ 20 เท่านั้นแต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้กระจกลามิเนตสีเขียว Hard Coated Low-E (ทางเลือก A) พบว่า ค่า OTTV ลดลงแต่ไม่สามารถเพิ่ม WWR ได้ ในขณะที่การเปลี่ยนมาใช้กระจกทางเลือก B และ C

จะพบว่า ผู้ออกแบบสามารถออกแบบอาคารให้มี WWR มากถึงร้อยละ 40 และผ่านเกณฑ์ค่า OTTV ตามที่กฎหมายกำหนดได้ แต่หากเปลี่ยนมาใช้กระจกทางเลือก D ที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าทางเลือกอื่น ๆ พบว่า ผู้ออกแบบสามารถออกแบบให้ผ่านค่า OTTV ได้ ไม่ว่าจะใช้ WWR ที่ 20 40 60 หรือ 80 ก็ตาม จึงจะเห็นได้ว่า การใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถเปิดโอกาสให้ผู้ออกแบบ ใช้กระจกเป็นผนังอาคารได้มากขึ้น ในทางกลับกัน หากอาคารที่ออกแบบนั้น ไม่มีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่กระจกมาก เช่น มี WWR เพียงร้อยละ 20 ผู้ออกแบบอาจเลือกใช้กระจกธรรมดา ซึ่งสามารถทำให้ผ่านค่า OTTV ตามที่กฎหมายกำหนดได้เช่นกัน ฉะนั้น จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อกระจกประเภทอื่นที่มีราคาสูงกว่า นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคาร พบว่า เมื่อค่า OTTV เพิ่มขึ้น ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมก็เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ WWR แต่หากพิจารณาถึงทิศทางการจัดวางอาคาร พบว่า อาคารที่หันไปทางทิศเหนือจะใช้พลังงานไฟฟ้ารวมน้อยกว่าอาคารที่หันไปทางทิศตะวันตก ถึงแม้ว่าจะมีค่า OTTV เท่ากันหรือใกล้เคียงกันก็ตาม

รูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่า OTTV ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือกที่มีค่า OTTV ผ่านตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด พบว่า ในกรณีที่อาคารมีสัดส่วนของ WWR ร้อยละ 80 นั้น มีเฉพาะอาคารทางเลือก D เท่านั้นที่มีผ่านค่า OTTV ตามที่กฎหมายกำหนด แต่เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบที่มีสัดส่วน WWR เท่ากัน พบว่า สามารถลดค่า OTTV ลงจาก 120 เป็น 46 วัตต์/ตารางเมตร (คิดเป็นร้อยละ 62) แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนมาใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพสูงทำให้อาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์ค่า OTTV ในครั้งแรกสามารถผ่านค่า OTTV ตามที่กฎหมายกำหนดได้ เช่นเกียวกับกรณีอาคารทางเลือกอื่น ๆ ที่มี WWR ร้อยละ 60 และ 40 ที่สามารถลดค่า OTTV จนทำให้อาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์สามารถผ่านเกณฑ์ได้ อันเนื่องมาจากการเลือกใช้กระจกที่มีคุณภาพสูงนั่นเอง ส่วนกรณีอาคารที่มีสัดส่วน WWR ร้อยละ 20 พบว่า อาคารต้นแบบที่ใช้กระจกธรรมดานั้นสามารถผ่านเกณฑ์ค่า OTTV ที่กฎหมายกำหนดอยู่แล้ว เมื่อมีการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ก็สามารถลดค่า OTTV ลงได้เช่นเดียวกัน แต่ลดลงในสัดส่วนที่ไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับกรณีอาคารที่มีสัดส่วน WWR ร้อยละ 80 60 และ 40

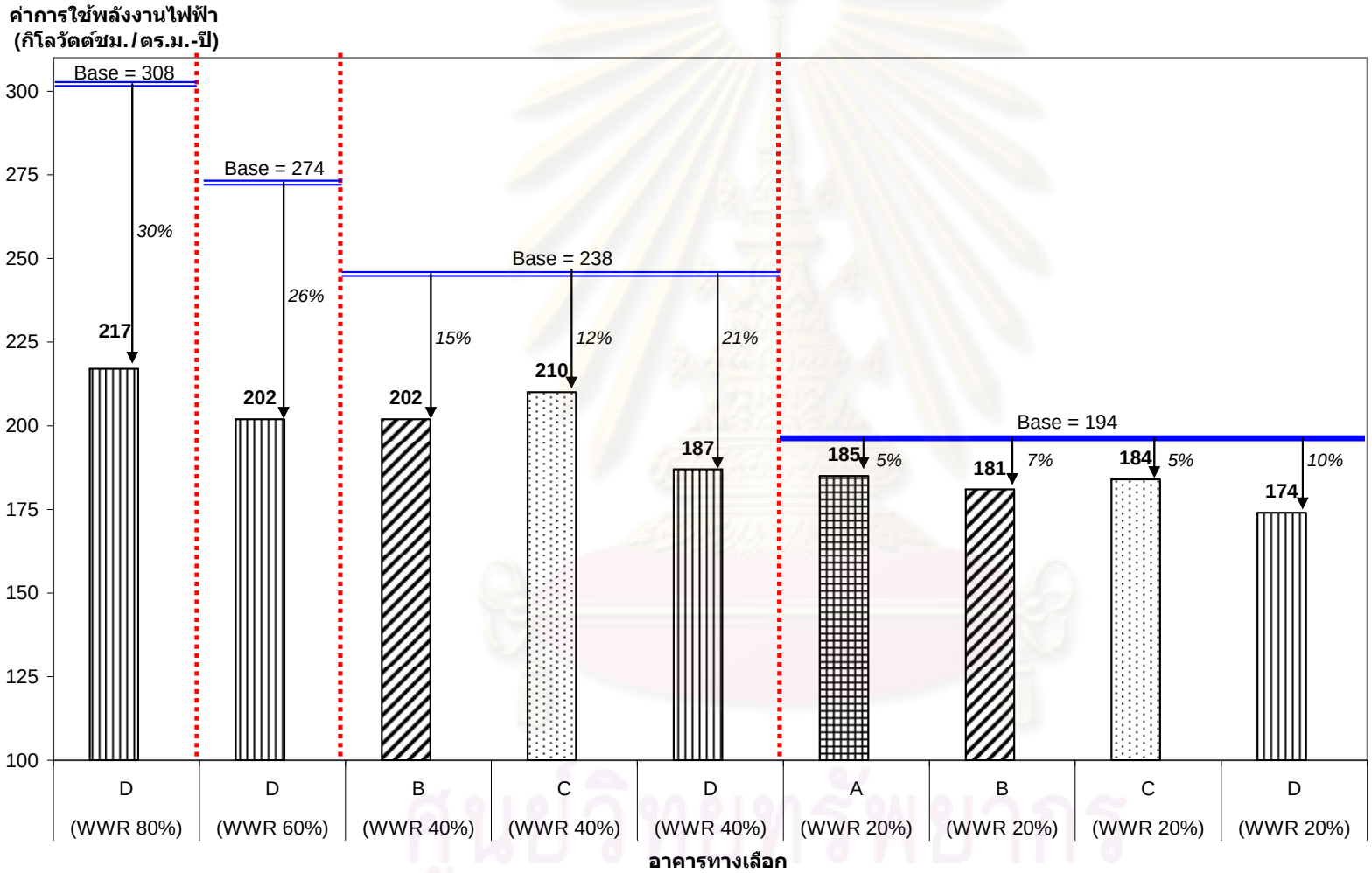
ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม สอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่า OTTV ซึ่งพบว่า การใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจะช่วยประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารได้มากขึ้นในกรณีที่มีค่า WWR เท่ากัน และเมื่ออาคารมีอัตราส่วนค่า WWR เพิ่มขึ้น การใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจะยิ่งช่วยให้สามารถประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารได้มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.11



หมายเหตุ : เกณฑ์การประเมิน คือ หากค่าOTTV $\leq$ 50 วัตต์/ตร.ม. จะถือว่า ผ่าน

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่า OTTV ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่า Electric End Use ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก

สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ในการประเมินกระจกอนุรักษ์พลังงานทางเศรษฐศาสตร์ ผู้วิจัยจะนำเฉพาะอาคารทางเลือกที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารด้านนอก (OTTV) ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนดมาพิจารณา ซึ่งมีจำนวน 9 ทางเลือกดังรายละเอียดในตารางที่ 4.8 ส่วนการวิเคราะห์เพื่อประเมินกระจกอนุรักษ์พลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์ ผู้วิจัยมีสมมติฐานที่เกี่ยวข้อง 2 ส่วนคือ (1) สมมติฐานการคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักหรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็นอัตราลดค่า (Discount Rate) และ (2) สมมติฐานการคำนวณหา NPV (Net Present Value) ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.9 สมมติฐานการคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักหรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็นอัตราลดค่า (Discount Rate)

รายละเอียด/สมมติฐาน	กรณีดีที่สุด	กรณีน่าจะเป็น	กรณีแย่ที่สุด
1. สัดส่วนของเงินลงทุน			
1.1 เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	60%	60%
1.2 เงินทุนของเจ้าของ	40%	40%	40%
2. ต้นทุนของเงินทุน			
2.1 ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	7.5%	7.5%
2.2 ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	15%	18%
3. ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	30%	30%

จากตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดของสมตติฐานในการคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักหรือ WACC ซึ่งมีรายละเอียดและที่มาดังนี้

1) สัดส่วนของเงินลงทุน โดยทั่วไปนักลงทุนจะมีแหล่งที่มาของเงินทุนที่สำคัญ 2 แหล่ง คือ (1) การกู้ยืมเงินจากสถาบันการเงิน เช่น ธนาคาร ซึ่งมักจะใช้แนวทางในการพิจารณาจำนวนเงินกู้โดยพิจารณาจากสัดส่วนของหนี้สินต่อทุน (Debt to Equity Ratio) ที่ไม่ควรมีอัตราส่วนเกิน 2:1 ซึ่งหมายถึง ธนาคารจะปล่อยเงินกู้ให้นักลงทุนในส่วนของหนี้สินไม่เกินร้อยละ 66.67 ของจำนวนเงินลงทุนทั้งหมด ในขณะที่นักลงทุนต้องใช้เงินทุนของตนเองอีกไม่ต่ำกว่าร้อยละ 33.33 ของ

จำนวนเงินลงทุนทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดสัดส่วนของหนี้สินต่อเงินทุนของเจ้าของเป็นร้อยละ 60 และ 40 ตามลำดับ ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการคำนวณ

2) ต้นทุนของเงินทุน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ (1) ต้นทุนของเงินกู้ (Cost of Debt) จากการพิจารณาดอกเบี้ยการให้เงินสินเชื่อระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 พบว่า อัตราดอกเบี้ยให้เงินสินเชื่อ (Marginal Loan Rate หรือ MLR) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 6.88 ส่วนอัตราดอกเบี้ยสูงสุดคือ ร้อยละ 7.5 (ธนาคารกรุงเทพ, 2553) ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกอัตราดอกเบี้ยในระดับที่สูงที่สุดคือ ร้อยละ 7.5 (2) เงินทุนของเจ้าของ (Cost of Equity) ในการพิจารณาต้นทุนของเงินทุนเจ้าของ จะคำนึงถึงค่าสูญเสียโอกาส (Opportunity Cost) ที่นักลงทุนสามารถนำเงินทุนดังกล่าวไปลงทุนได้หลายแนวทางและรับผลตอบแทนจากการลงทุนในอัตราแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการลงทุนของนักลงทุนคนนั้น ๆ โดยการลงทุนที่น่าจะมีความเสี่ยงน้อยที่สุดคือ การฝากเงินในบัญชีธนาคารซึ่งจะให้อัตราดอกเบี้ยไม่เกินร้อยละ 2 นอกจากนี้ นักลงทุนอาจนำเงินทุนไปซื้อพันธบัตรรัฐบาล โดยอัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาลที่มีอายุ 20 ปีให้ผลตอบแทนโดยเฉลี่ยร้อยละ 5.89 (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2551) ส่วนอีกแนวทางหนึ่งเป็นแนวทางที่มีความเสี่ยงมากกว่า 2 แนวทางแรก แต่ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าคือ การซื้อหุ้นในตลาดหลักทรัพย์ที่ผลตอบแทนโดยเฉลี่ยในปัจจุบันประมาณร้อยละ 12 (ทีมสถาบันวิจัยนครหลวงไทย, 2552) นอกจากนี้ นักลงทุนที่จดทะเบียนเป็นนิติบุคคลยังสามารถนำเงินทุนของตนเองไปปล่อยให้บริษัทอื่นกู้ได้ในอัตราผลตอบแทนดอกเบี้ยสูงสุดตามกฎหมายไม่เกินร้อยละ 15 ฉนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกอัตราผลตอบแทนดอกเบี้ยในระดับที่สูงที่สุดไว้ก่อน ซึ่งก็คือค่าสูญเสียโอกาสสูงสุดที่ร้อยละ 15 ในกรณีน่าจะเป็น หลังจากนั้น จึงมีการปรับอัตราผลตอบแทนดอกเบี้ยขึ้นเป็นร้อยละ 18 สำหรับกรณีที่แย่ที่สุด และปรับอัตราผลตอบแทนดอกเบี้ยลงเป็นร้อยละ 12 สำหรับกรณีที่ดีที่สุด

3) ภาษีเงินได้นิติบุคคล ในสมมติฐานนี้จะใช้ภาษีเงินได้นิติบุคคลในอัตราตามที่กฎหมายกำหนด คือร้อยละ 30 ของรายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายมาใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 4.10 สมมติฐานการคำนวณหา NPV (Net Present Value)

รายละเอียด/สมมติฐาน	กรณีดีที่สุด	กรณีน่าจะเป็น	กรณีแย่ที่สุด
1. ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ		
2. อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี	20 ปี	20 ปี
3. อัตราส่วนลด (Discount Rate)	คงที่ 8% ต่อปี	คงที่ 9% ต่อปี	คงที่ 10% ต่อปี
4. อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%	15%	20%

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

รายละเอียด/สมมติฐาน	กรณีดีที่สุด	กรณีน่าจะเป็น	กรณีแย่ที่สุด
5. ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)		3.7 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง	
6. อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี
7. ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	30%	30%
8. เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท	0 บาท	0 บาท
9. ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท	0 บาท	0 บาท

ตารางที่ 4.10 แสดงรายละเอียดของสมมติฐานในการคำนวณหา NPV (Net Present Value) ซึ่งรายละเอียดของสมมติฐานในการคำนวณทั้ง 9 ประเด็นมีดังนี้

1) ทิศทางการวางตำแหน่งของอาคาร เนื่องจากทิศทางการวางตำแหน่งของอาคารที่ใช้ในการศึกษาไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์จึงเลือกทิศทางการวางตำแหน่งของอาคารที่หันด้านยาวของอาคารไปทางทิศเหนือมาพิจารณาเท่านั้น

2) อายุการใช้งานอาคาร ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดอายุการใช้งานอาคารไว้ 20 ปี เมื่อนักลงทุนจะให้สถาบันการเงินพิจารณาและประเมินความเสี่ยงในการลงทุนก่อนที่จะมีการอนุมัติเงินสินเชื่อให้นั้น ปกติจะมีการคิดอายุการใช้งานอาคารที่ 20 ปี ด้วยเหตุผลทางบัญชีซึ่งถือว่าอาคารเป็นทรัพย์สินถาวร และมักจะนิยมหักค่าเสื่อมราคาในภายในระยะเวลาดังกล่าว แต่ในความเป็นจริงแล้ว อาคารสามารถมีอายุการใช้งานได้นานถึง 50 ปี หรือมากกว่า

3) อัตราส่วนลดหรือ Discount Rate เป็นค่าที่ได้มาจากการคำนวณ WACC ซึ่งผลการคำนวณในกรณีน่าจะเป็นจะได้ค่าอัตราส่วนลดร้อยละ 9 หลังจากนั้น ผู้วิจัยมีการปรับอัตราส่วนลดขึ้นเป็นร้อยละ 10 สำหรับกรณีที่แย่ที่สุด และปรับอัตราส่วนลดลงเป็นร้อยละ 8 สำหรับกรณีที่ดีที่สุด

4) อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ แบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ (1) กรณีน่าจะเป็น ซึ่งในสมมติฐานกำหนดไว้ที่ร้อยละ 15 เนื่องจากผู้ลงทุนสามารถคาดหวังผลตอบแทนจากการนำเงินไปปล่อยให้กู้ซึ่งมีอัตราผลตอบแทนร้อยละ 15 (2) กรณีที่ดีที่สุดที่กำหนดอัตราผลตอบแทนการลงทุนไว้ร้อยละ 12 เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วการให้กู้ยืมนั้น ผู้กู้อาจมีการต่อรองอัตราดอกเบี้ย หรืออาจหาผู้กู้ไม่ได้ ดังนั้น นักลงทุนอาจลงทุนในตลาดหุ้นแทนซึ่งปัจจุบันอาจจะให้ผลตอบแทนน้อยกว่า แต่มีความเป็นไปได้สูงกว่า โดยผลตอบแทนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 12 และ (3) กรณีแย่ที่สุด มีการกำหนดอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับไว้ที่ร้อยละ

20 โดยสมมติฐานนี้ได้มาจากการสัมภาษณ์นักธุรกิจจำนวนหนึ่งที่แสดงความเห็นว่า การลงทุนใด ๆ ก็ตามที่ให้ผลตอบแทนร้อยละ 20 ถือว่าเป็นสิ่งที่น่าลงทุน

5) ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก) มีการกำหนดสมมติฐานไว้ว่าค่าไฟฟ้า Ft คงที่ปีแรกคือ 3.7 บาทต่อหน่วยนั้นได้มาจากสถิติค่าไฟฟ้า Ft ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

6) อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft ตามสมมติฐานแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ (1) กรณีน่าจะเป็น กำหนดเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี โดยคำนวณจากอัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของค่าไฟฟ้า Ft ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2548 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2553 ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.75 ต่อปี (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552) แต่เพื่อให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์ จึงปรับเป็นตัวเลขกลมคือ ร้อยละ 3 ต่อปี (2) กรณีที่ดีที่สุด กำหนดไว้ร้อยละ 5 ต่อปี เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับอัตราเงินเฟ้อ ซึ่งในภาวะเศรษฐกิจดีอัตราเงินเฟ้อโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 5 (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2553) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft ในกรณีนี้ไว้ที่ร้อยละ 5 (3) ในกรณีแย่ที่สุด มีการกำหนดให้ค่า Ft คงที่คือ 3.7 บาทต่อหน่วย เนื่องจากอัตราค่าไฟฟ้า Ft จะถูกนำมาคำนวณเป็นรายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร ฉนั้น เมื่อค่า Ft เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารนั้นเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน

7) ภาษีเงินได้นิติบุคคล เป็นอัตราภาษีตามที่กำหนดไว้ในกฎหมาย

8) เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น มีการกำหนดให้คงที่เพื่อสะดวกต่อการคำนวณ เนื่องจากการเปลี่ยนกระจกประเภทต่าง ๆ ไม่ส่งผลสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของเงินทุนหมุนเวียน

9) ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น มีการกำหนดให้คงที่เพื่อสะดวกต่อการคำนวณ เนื่องจากการเปลี่ยนกระจกประเภทต่าง ๆ ไม่ส่งผลสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าทำความสะอาดผนังกระจก

ก่อนที่จะมีการคำนวณการคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow – DCF) สิ่งแรกที่จะต้องดำเนินการคือการคำนวณหาอัตราส่วนลด (Discount Rate) ด้วยวิธีการคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Cost of Capital – WACC) ซึ่งคำนวณได้จาก (1) สัดส่วนของเงินลงทุน ได้แก่ เงินกู้จากสถาบันการเงินและเงินทุนของเจ้าของ (2) ต้นทุนของเงินทุน ได้แก่ ต้นทุนของเงินกู้ และต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ และ (3) ภาษีเงินได้นิติบุคคล ในอัตราร้อยละ 30 ดังรายละเอียดในภาคผนวก ซ

หลังจากนั้น จึงทำการคำนวณ DCF (Discounted Cash Flow) ซึ่งประกอบด้วยเงิน 3 ส่วนคือ (1) เงินทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นจากการซื้อกระจกอนุรักษ์พลังงาน สามารถคำนวณได้จากค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและการติดตั้งกระจกรวมกับภาษีมูลค่าเพิ่มและหักลบด้วยเงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น (2) กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น สามารถคำนวณได้จากรายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่เพิ่มขึ้น หักลบด้วยค่าทำความสะอาดผนังกระจกที่เพิ่มขึ้นและค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้รายได้ก่อนหักภาษี ต่อจากนั้น จึงหักภาษีเงินได้นิติบุคคล (ร้อยละ 30) จะได้กำไรหลังหักภาษี แล้วบวกกลับด้วยค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น (3) กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น เมื่อได้จำนวนเงินทั้ง 3 ส่วนแล้วจึงนำมาคิดลดเป็นมูลค่าผลตอบแทนปัจจุบัน (Net Present Value-NPV) โดยใช้อัตราส่วนลด (Discount Rate) ที่ร้อยละ 9 ในระยะเวลา 20 ปี แล้วจึงคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Internal Rate of Return-IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period)

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำผลการคำนวณมาวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ต่อซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario) กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario) และกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario) ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ซ และสรุปผลการคำนวณในตารางที่ 4.11-4.12

ตารางที่ 4.11 กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคาร	WWR (%)	NPV (บาท)	IRR (%)	ระยะเวลาคืนทุน		สรุปผล
				ปี	เดือน	
1. อาคารทางเลือก D	80	20,851,794	13	12	10	ไม่ผ่าน
2. อาคารทางเลือก D	60	19,402,576	13	11	10	ไม่ผ่าน
3. อาคารทางเลือก B	40	30,596,267	169	0	8	ผ่าน
4. อาคารทางเลือก C	40	14,185,958	22	6	6	ผ่าน
5. อาคารทางเลือก D	40	15,020,931	14	11	2	ไม่ผ่าน
6. อาคารทางเลือก A	20	6,548,018	36	3	6	ผ่าน
7. อาคารทางเลือก B	20	11,044,732	125	0	11	ผ่าน
8. อาคารทางเลือก C	20	4,118,295	17	8	11	ผ่าน
9. อาคารทางเลือก D	20	3,413,,233	11	14	7	ไม่ผ่าน

หมายเหตุ: NPV > 0 และ IRR > 15% จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์

จากตารางที่ 4.11 เป็นกรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario) ซึ่งมีสมมติฐานว่า Discount Rate (WACC) มีค่าคงที่ร้อยละ 9 ต่อปี มีอัตราผลการตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับร้อยละ 15 ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก) มีอัตรา 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft มีการเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 3 ต่อปี ซึ่งผลการวิเคราะห์ พบว่า มี 5 ทางเลือกที่ผ่านเกณฑ์เชิงเศรษฐศาสตร์ได้แก่ ทางเลือก B (WWR 40%) ทางเลือก C (WWR 40%) ทางเลือก A (WWR 20%) ทางเลือก B (WWR 20%) และทางเลือก C (WWR 20%) โดยมีค่า IRR ร้อยละ 169 22 36 125 และ 17 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคาร	WWR (%)	NPV (บาท)	IRR (%)	ระยะเวลาคืนทุน		สรุปผล
				ปี	เดือน	
1. อาคารทางเลือก D	80	43,290,879	14	10	8	ผ่าน
2. อาคารทางเลือก D	60	37,288,444	15	10	0	ผ่าน
3. อาคารทางเลือก B	40	39,313,905	171	0	8	ผ่าน
4. อาคารทางเลือก C	40	20,979,572	24	6	0	ผ่าน
5. อาคารทางเลือก D	40	27,558,551	16	9	7	ผ่าน
6. อาคารทางเลือก A	20	8,905,583	38	3	4	ผ่าน
7. อาคารทางเลือก B	20	14,250,380	127	0	11	ผ่าน
8. อาคารทางเลือก C	20	6,696,566	19	7	11	ผ่าน
9. อาคารทางเลือก D	20	8,559,164	13	11	10	ผ่าน

หมายเหตุ: NPV > 0 และ IRR > 12% จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์

จากตารางที่ 4.12 เป็นกรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario) ซึ่งมีสมมติฐานในเชิงบวก คือมีอัตรา Discount Rate คงที่ร้อยละ 8 ต่อปี มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับร้อยละ 12 ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก) มีอัตรา 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft มีการเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 5 ต่อปี ซึ่งผลการวิเคราะห์ พบว่าทุกทางเลือกผ่านการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 4.13 กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคาร	WWR (%)	NPV (บาท)	IRR (%)	ระยะเวลาคืนทุน		สรุปผล
				ปี	เดือน	
1. อาคารทางเลือก D	80	479,254	10	19	7	ไม่ผ่าน
2. อาคารทางเลือก D	60	3,163,389	11	17	0	ไม่ผ่าน
3. อาคารทางเลือก B	40	22,677,190	166	0	8	ผ่าน
4. อาคารทางเลือก C	40	8,016,502	19	7	6	ไม่ผ่าน
5. อาคารทางเลือก D	40	3,637,330	12	15	5	ไม่ผ่าน
6. อาคารทางเลือก A	20	4,406,743	33	3	9	ผ่าน
7. อาคารทางเลือก B	20	8,132,771	122	0	11	ผ่าน
8. อาคารทางเลือก C	20	1,777,142	14	11	3	ไม่ผ่าน
9. อาคารทางเลือก D	20	(1,258,519)	9	>20		ไม่ผ่าน

หมายเหตุ: NPV > 0 และ IRR > 20% จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์

จากตารางที่ 4.13 เป็นกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario) ซึ่งมีสมมติฐานว่า มีอัตรา Discount Rate คงที่ร้อยละ 10 ต่อปี มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับร้อยละ 20 ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก) มีอัตรา 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี ซึ่งผลการวิเคราะห์ พบว่า มีเฉพาะ 3 ทางเลือกที่ผ่านเกณฑ์การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ทางเลือก B (WWR 40%) ทางเลือก A (WWR 20%) และทางเลือก B (WWR 20%) โดยมีค่า IRR ร้อยละ 166 33 และ 122 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 3 กรณีดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้นำผลการประเมินมาสรุปรวมในตารางที่ 4.14 และเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละทางเลือกได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงนำผลการศึกษาดังกล่าวมาเปรียบเทียบเพิ่มเติม ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.12-4.14

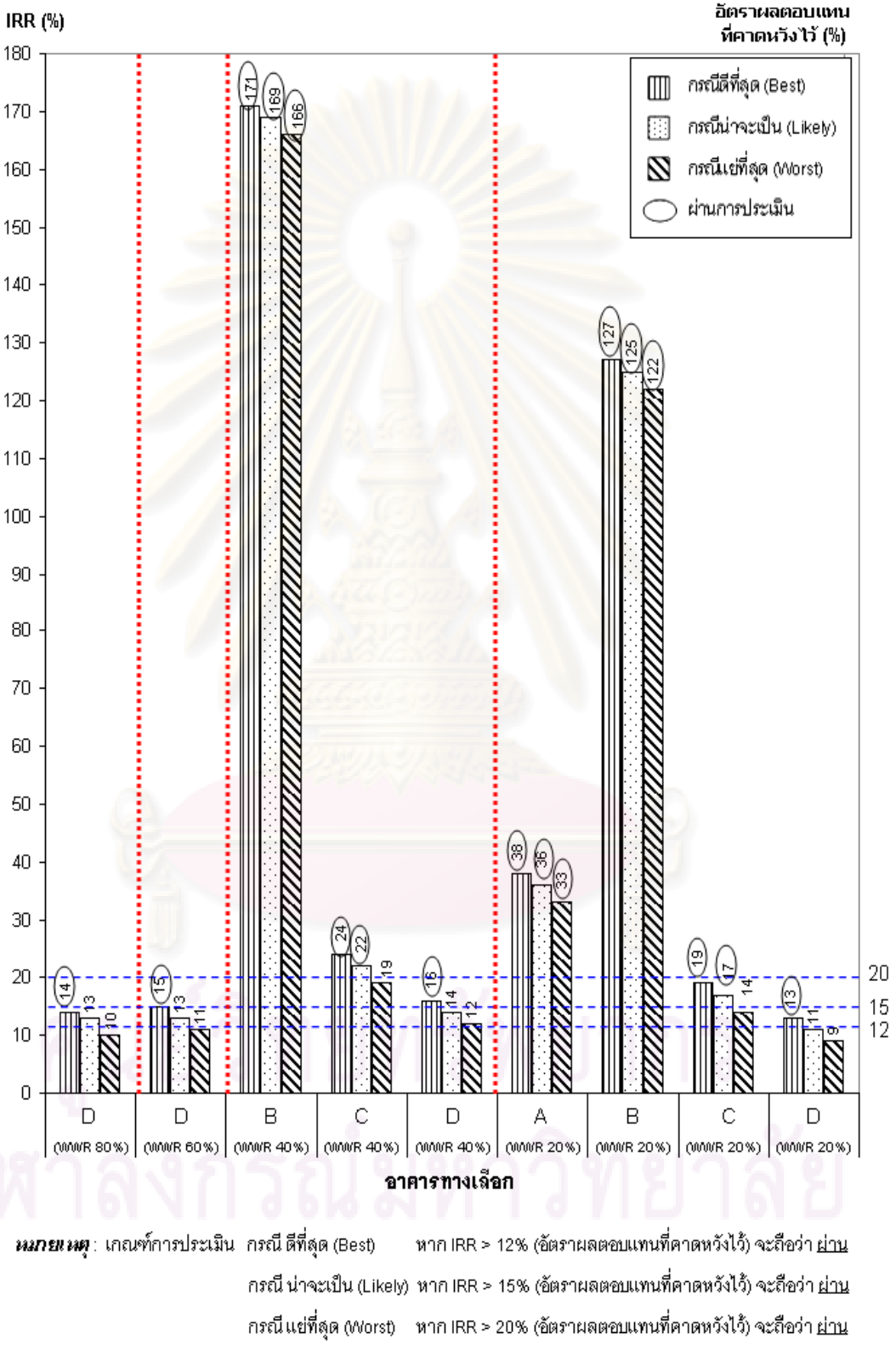
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

อาคารทางเลือก		D	D	B	C	D	A	B	C	D
WWR		80%	60%	40%	40%	40%	20%	20%	20%	20%
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (ล้านบาท)	B	(68.70)	(51.67)	(1.73)	(12.06)	(34.65)	(2.38)	(0.86)	(5.98)	(17.27)
	L	(68.70)	(51.67)	(1.73)	(12.06)	(34.65)	(2.38)	(0.86)	(5.98)	(17.27)
	W	(68.70)	(51.67)	(1.73)	(12.06)	(34.65)	(2.38)	(0.86)	(5.98)	(17.27)
มูลค่าผลตอบแทนการลงทุนปัจจุบัน (NPV) (ล้านบาท)	B	43.29	37.29	39.31	20.98	27.56	8.91	14.25	6.70	8.56
	L	20.85	19.40	30.60	14.19	15.02	6.55	11.04	4.12	3.41
	W	0.48	3.16	22.68	8.02	3.64	4.41	8.13	1.78	(1.26)
อัตราผลตอบแทนการลงทุน IRR (%)	B	14	15	171	24	16	38	127	19	13
	L	13	13	169	22	14	36	125	17	11
	W	10	11	166	19	12	33	122	14	9
ระยะเวลาคืนทุน (ปี/เดือน)	B	10 / 8	10 / 0	0 / 8	6 / 0	9 / 7	3 / 4	0 / 11	7 / 11	11 / 10
	L	12 / 10	11 / 10	0 / 8	6 / 6	11 / 2	3 / 6	0 / 11	8 / 11	14 / 7
	W	19 / 7	17 / 0	0 / 8	7 / 6	15 / 5	3 / 9	0 / 11	11 / 3	>20 ปี

หมายเหตุ: ◯ = ผ่านการประเมินทางเศรษฐศาสตร์โดยที่ NPV > 0 และ IRR > อัตราผลตอบแทนที่คาดหวังไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

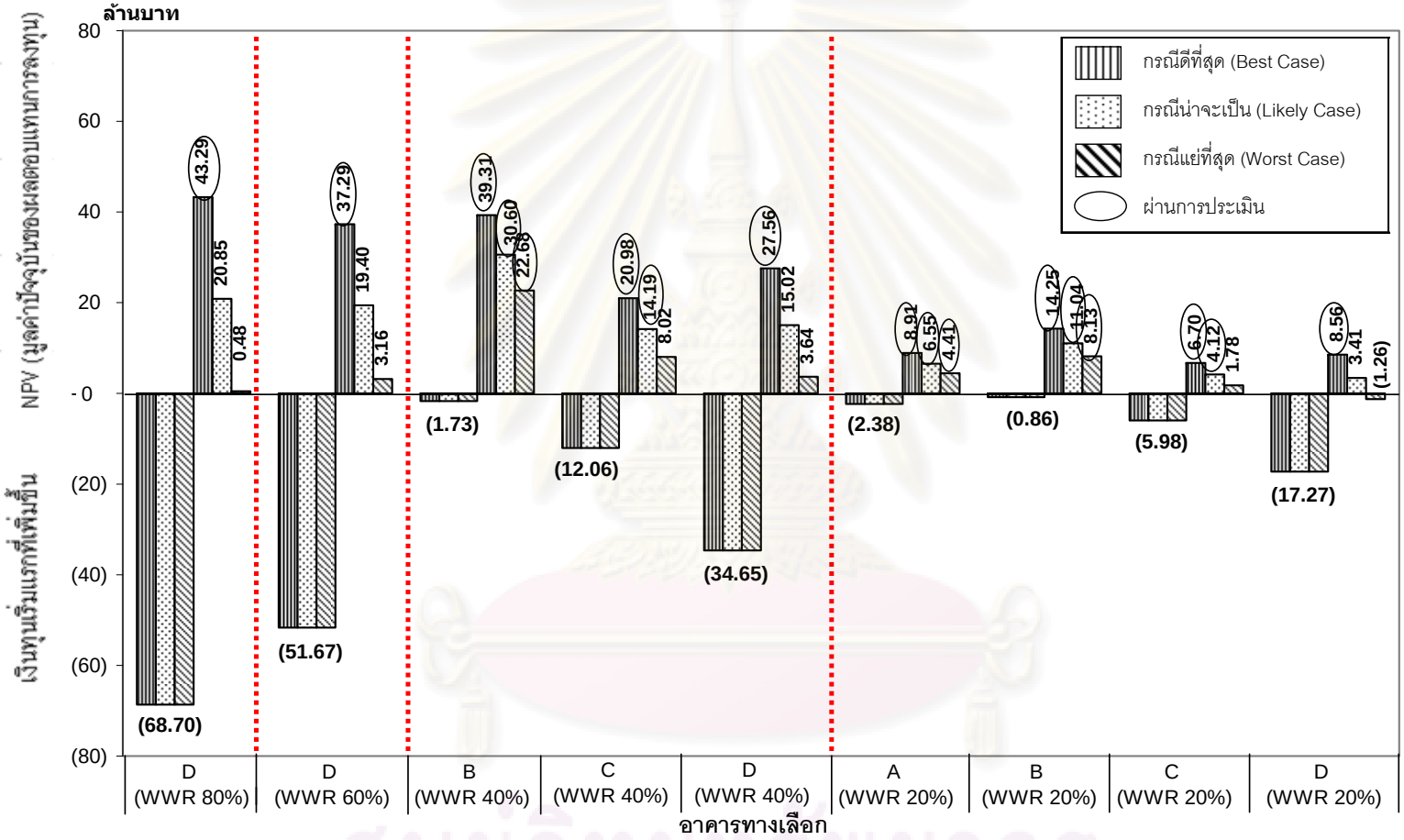


หมายเหตุ : เกณฑ์การประเมิน กรณี ดีที่สุด (Best) หาก IRR > 12% (อัตราผลตอบแทนที่คาดหวังไว้) จะถือว่า ผ่าน

กรณี น่าจะเป็น (Likely) หาก IRR > 15% (อัตราผลตอบแทนที่คาดหวังไว้) จะถือว่า ผ่าน

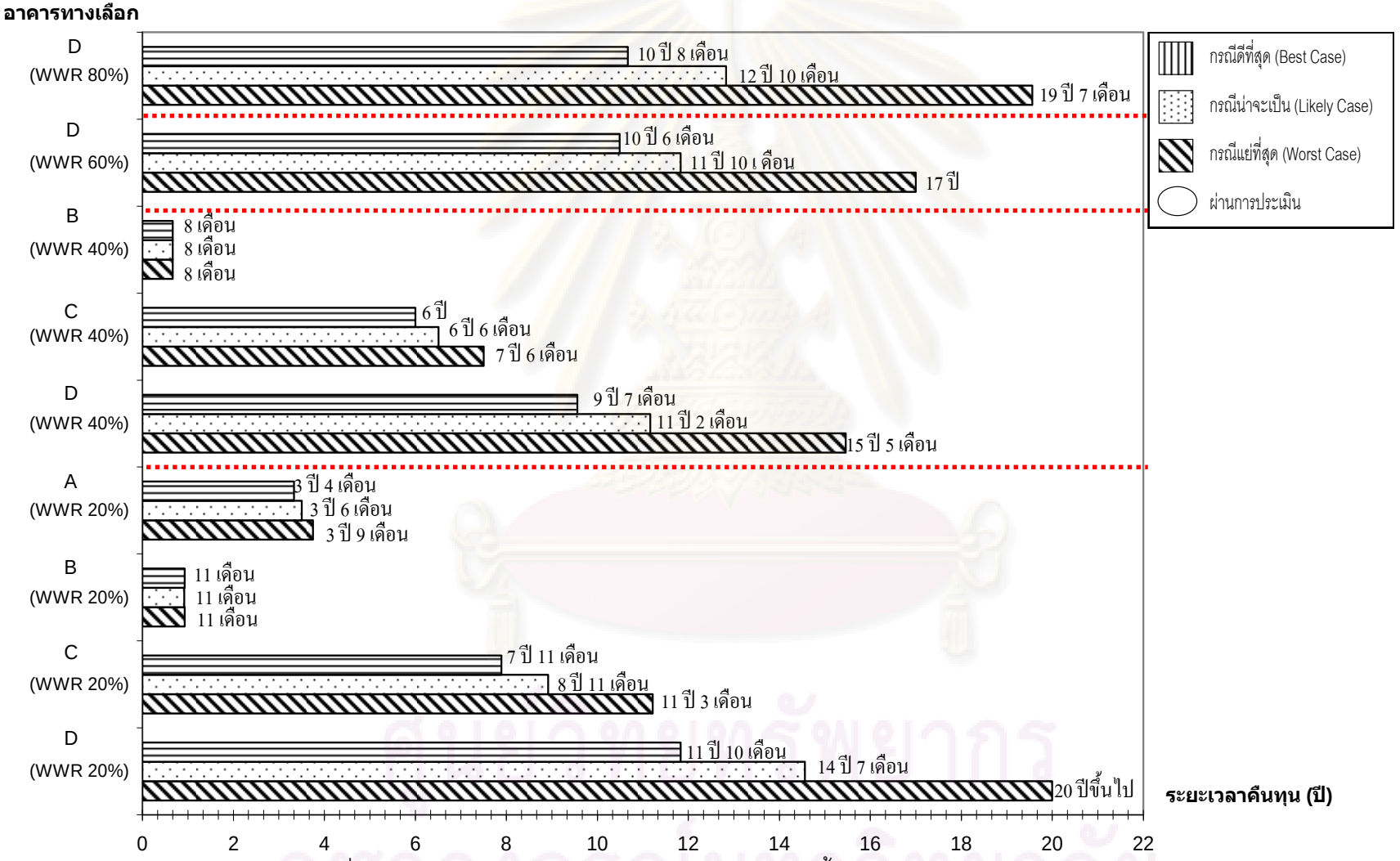
กรณี แย่ที่สุด (Worst) หาก IRR > 20% (อัตราผลตอบแทนที่คาดหวังไว้) จะถือว่า ผ่าน

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่า IRR ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก



หมายเหตุ : เกณฑ์การประเมินคือ หาก NPV > 0 และ IRR > อัตราผลตอบแทนที่คาดหวังไว้ จะถือว่า ผ่าน

รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่า NPV ของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารทั้ง 9 ทางเลือก

แม้ว่าในการประเมินทางเทคนิค จะพบว่า การใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low – E (ทางเลือก D) จะสามารถผ่านค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตามที่กฎหมายกำหนดในทุกอาคารที่มีสัดส่วน WWR แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม กระจกทางเลือก D นั้น ไม่สามารถผ่านเกณฑ์การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ยกเว้นกรณีที่ดีที่สุดเท่านั้น เนื่องจากกระจกทางเลือก D ให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนน้อยกว่าที่คาดหวังไว้ (รูปที่ 4.12) แต่ต้องใช้เงินลงทุนเริ่มแรกเพิ่มขึ้นมากที่สุด (รูปที่ 4.13) และใช้ระยะเวลาในการคืนทุนนานที่สุด (รูปที่ 4.14) เมื่อเทียบกับกระจกทางเลือกอื่น ๆ

หากพิจารณาอาคารที่มีสัดส่วน WWR ไม่มากนักคือ ร้อยละ 20 และ 40 พบว่า อาคารที่ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง (ทางเลือก B) สามารถผ่านการประเมินทั้งการประเมินเชิงเทคนิคและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ โดยการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์นั้น กระจกทางเลือก B มีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (รูปที่ 4.12) สูงที่สุด และใช้เงินทุนเริ่มแรกน้อยที่สุด (รูปที่ 4.13) แต่ให้มูลค่าผลตอบแทนการลงทุน (รูปที่ 4.13) อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด (รูปที่ 4.14) เมื่อเทียบกับกระจกทางเลือกอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม กระจกทางเลือก B จะผ่านการประเมินทางเทคนิคก็ต่อเมื่อมีอัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 เท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคชี้ให้เห็นว่า การใช้กระจกเป็นผนังอาคารน้อยส่งผลให้มีค่า OTTV ต่ำตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนิยมใช้กระจกเป็นผนังอาคารเพื่อความสวยงามเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะต้องให้ความสำคัญกับการเลือกประเภทของกระจกที่ให้ค่า OTTV ต่ำและสอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎหมาย ซึ่งการใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low – E (ทางเลือก D) เป็นผนังอาคารจะให้ค่า OTTV ต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนดในทุกกรณี ไม่ว่าจะมี WWR ในอัตราร้อยละ 20 40 60 หรือ 80 ก็ตาม ในขณะที่การใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low – E ใส่ก๊าซอาร์กอน (ทางเลือก C) จะให้ค่า OTTV สอดคล้องกับที่กฎหมายกำหนดเฉพาะเมื่อ WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ของผนังอาคารทั้งหมด เช่นเดียวกับการใช้กระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง (ทางเลือก B) ส่วนการใช้กระจกลามิเนตสีเขียว Hard Coated Low-E (ทางเลือก A) นั้นจะให้ค่า OTTV ต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนดก็ต่อเมื่อมี WWR เพียงแค่ร้อยละ 20 ของผนังอาคารทั้งหมด ดังนั้น การเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมในอัตราส่วน WWR ต่าง ๆ จะช่วยลดค่า OTTV ซึ่งในที่นี้สามารถสรุปได้ว่ากระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low – E (ทางเลือก D) มีความเหมาะสมทางเทคนิคมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระจกประเภทอื่น ๆ ในทุกกรณีศึกษา

นอกจากนี้ หากพิจารณาถึงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร พบว่า ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมลดลงเมื่อค่า OTTV ลดลง แต่หากพิจารณาในรายละเอียด พบว่า อาคารที่หันหน้าไปทางทิศเหนือจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมน้อยกว่าอาคารที่หันหน้าไปทางทิศตะวันตก แม้ว่าจะมีค่า OTTV เท่ากันหรือเกือบเท่ากัน ดังนั้น นอกจากจะต้องพิจารณาถึงกระจกประเภทต่าง ๆ แล้วยังต้องพิจารณาถึงทิศทางของอาคารด้วย นอกจากนี้ ในการออกแบบจริงผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เช่น งบประมาณในการลงทุน ระยะเวลาคืนทุน ความต้องการของเจ้าของอาคาร ตำแหน่งของอาคารข้างเคียงที่อาจบังแสงและลมธรรมชาติ และข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เช่น ค่าการสะท้อนแสงออกภายนอกของกระจกต้องไม่เกินร้อยละ 30

เมื่อผู้วิจัยได้นำทางเลือกที่ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนดมาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า อาคารทางเลือกที่ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง (ทางเลือก B) ที่มีค่า WWR = 40% และ 20% ให้มูลค่าผลตอบแทนการลงทุนปัจจุบัน และอัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงสุด ในขณะที่ใช้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดเมื่อเทียบกับกระจกทางเลือกอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้

การออกแบบอาคารที่มีอัตราส่วน WWR น้อย ๆ เช่น ไม่เกินร้อยละ 40 ควรเลือกใช้กระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง (ทางเลือก B) จึงจะมีความเหมาะสมมากที่สุด ในทางกลับกัน การออกแบบอาคารที่มีอัตราส่วน WWR มากกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป ควรเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อช่วยลดค่า OTTV ให้ผ่านเกณฑ์การประเมินได้ ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วย ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า การพึ่งพากระจกเพียงอย่างเดียวเพื่อหวังใช้ในการลดค่า OTTV ให้สอดคล้องกับที่กฎหมายกำหนดนั้นอาจมีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค แต่อาจไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

ดังนั้น เพื่อให้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติจริง การเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารที่มีอัตราส่วน WWR สูงกว่าร้อยละ 40 นั้นสามารถเลือกใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low – E ใส่ก๊าซอาร์กอน (ทางเลือก C) แทนกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low – E (ทางเลือก D) ได้ เนื่องจากในเชิงเทคนิคนั้น กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low – E ใส่ก๊าซอาร์กอน (ทางเลือก C) มีคุณสมบัติเป็นรองเพียงกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low – E (ทางเลือก D) แต่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่า อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low – E ใส่ก๊าซอาร์กอน (ทางเลือก C) ควรใช้ปัจจัยอื่นในการออกแบบมาเสริมเพื่อให้สามารถลดค่า OTTV จนผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

สุดท้ายนี้ จึงสรุปว่า อัตราส่วนการใช้กระจกเป็นผนังอาคาร (WWR) มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดประเภทของกระจกอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสม ทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. **<u>ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้</u>**

ผู้ที่สนใจสามารถนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานตามสัดส่วนของ WWR ที่แตกต่างกันได้ แต่ในการนำไปใช้งานจริง ผู้ออกแบบอาจต้องเปลี่ยนค่าของตัวแปรต่าง ๆ เช่น ค่าคุณสมบัติและค่าใช้จ่ายของกระจก รายละเอียดของอาคารที่สำคัญ เช่น ทิศทางการจัดวางอาคาร รูปทรงและขนาดของอาคาร ตลอดจนสถานที่ตั้งของอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ ค่าสมมติฐานต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาวะเศรษฐกิจในช่วงที่มีการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ หลังจากนั้น จึงค่อยทำการวิเคราะห์ตามกระบวนการที่ได้ดำเนินการเป็นแนวทางไว้และนำมาเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ เพื่อเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานที่มีความเหมาะสมกับอาคารต่อไป

2. **<u>ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย</u>**

ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้ผนังกระจกอนุรักษ์พลังงานมีผลต่อค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารอย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อมีค่า WWR ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น รัฐบาลควรส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการพัฒนาการผลิตและการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานประเภทต่าง ๆ ให้มากกว่าที่เป็นอยู่ ถึงแม้ว่ารัฐบาลจะมีโครงการติดฉลากสำหรับกระจกประสิทธิภาพสูง ตลอดจนการมีแนวทางการลดหย่อนภาษีให้กับประชาชนที่ซื้อกระจกประสิทธิภาพสูงก็ตาม แต่โครงการดังกล่าวเป็นเพียงจุดเริ่มต้นในการรณรงค์และประชาสัมพันธ์ให้กับประชาชนทั่วไปให้ตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงาน ในระยะยาว รัฐบาลควรมีแผนยุทธศาสตร์ในการให้การสนับสนุนทั้งแก่ผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ชัดเจนมากกว่าที่เป็นอยู่ เช่น ประชาสัมพันธ์ตามสื่อต่าง ๆ อย่างแพร่หลายและต่อเนื่อง ส่งเสริมงบประมาณแก่ผู้ผลิตในการประชาสัมพันธ์ต่าง ๆ รวมถึงสนับสนุนงบประมาณในการจัดหาเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ภายใต้ความร่วมมือระหว่างสถานบันการศึกษา หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานภาคเอกชน ตลอดจนการส่งบุคลากรที่เกี่ยวข้องไปศึกษาดูงานต่างประเทศ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาพัฒนาและปรับปรุงการผลิตกระจกอนุรักษ์พลังงานต่อไป ยิ่งไปกว่านั้น รัฐบาลควรสร้างแรงจูงใจในการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มเจ้าของอาคารและสถาปนิก โดยการให้รางวัลทั้งที่เป็นตัวเงินและการประกาศเกียรติคุณ อีกทั้งหน่วยงานภาครัฐเองควรเป็นตัวอย่างที่ดีในการเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานในโครงการต่าง ๆ ที่สำคัญ ทั้งนี้เพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนเกิดความสนใจในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงาน และเป็นการช่วยประหยัดพลังงานของชาติอีกทางหนึ่ง

3. **<u>ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป</u>**

ประการแรก การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาที่เน้นการวิเคราะห์หาค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร โดยมีตัวแปรหลักคือกระจกประเภทต่าง ๆ ซึ่งผลของการวิเคราะห์จะทำให้ทราบว่าค่า OTTV ของอาคารแต่ละทางเลือกมีความสอดคล้องหรือผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนดหรือไม่ ตลอดจนทำให้ทราบถึงแนวทางในการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตาม การพิจารณาโครงการต่าง ๆ ไม่ได้พิจารณาเพียงเฉพาะค่า OTTV เท่านั้น เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นที่ต้องมีค่าผ่านตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดด้วย เช่น ค่า RTTV ของหลังคา ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน ซึ่งหากค่าใดค่าหนึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด สามารถพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคารแทนได้ ดังนั้น ในการทำวิจัยครั้งต่อไป ผู้ที่สนใจอาจ

ลองนำเกณฑ์ดังกล่าวมาปรับปรุงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่ไม่สามารถผ่านค่า OTTV ตามกฎหมายกำหนดได้

ประการที่สอง เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เน้นเฉพาะประสิทธิภาพของผนังกระจกชนิดต่าง ๆ จึงไม่ได้นำอุปกรณ์บังแดดเข้ามาศึกษาร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม การออกแบบที่ดีควรใช้อุปกรณ์บังแดดมาช่วยป้องกันไม่ให้กระจกสัมผัสกับรังสีอาทิตย์โดยตรง ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไป ผู้สนใจควรออกแบบอุปกรณ์บังแดดเพิ่มเติม นอกจากนี้ อาจใช้ประโยชน์จากร่มเงาธรรมชาติ หรือออกแบบเปลือกอาคารให้สามารถหลบเลี่ยงแสงอาทิตย์ส่องตรงมาที่หน้าต่างได้ เช่น ออกแบบหลังคาให้ยื่นออกไปมากขึ้น หรือออกแบบผนังอาคารให้มีส่วนลึกไม่เท่ากัน เป็นต้น

ประการที่สาม การใช้ระบบควบคุมแสงสว่างธรรมชาติอัตโนมัติ (Daylight Control System) โดยมีอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาในอาคาร และทำการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างแบบอัตโนมัติ สามารถลดการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารตลอดจนสามารถช่วยลดต้นทุนการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ได้อีกส่วนหนึ่ง ซึ่งในอนาคตมีแนวโน้มที่ระบบนี้จะถูกนำมาใช้มากขึ้น สอดคล้องกับผลการสำรวจความคิดเห็นของผู้ออกแบบดังรายละเอียดที่กล่าวถึงแล้วในรูปที่ 4.1 ที่พบว่า ร้อยละ 87 ของกลุ่มตัวอย่างเชื่อว่าอาคารสำนักงานขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะใช้ระบบควบคุมแสงสว่างธรรมชาติอัตโนมัติในอีก 5 ปีข้างหน้า ฉะนั้น ในการวิจัยครั้งต่อไป ผู้ที่สนใจควรศึกษาถึงประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการลงทุนใช้อุปกรณ์ดังกล่าวเพิ่มเติมด้วย

ประการสุดท้าย ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะกรณีที่เจ้าของอาคารเป็นผู้ใช้งานอาคารเองตลอดระยะเวลา 20 ปีตามสมมติฐาน ฉะนั้น การลงทุนซื้อกระจกอนุรักษ์พลังงานถือส่วนหนึ่งของทรัพย์สินถาวร ซึ่งจะต้องนำมาคิดค่าเสื่อมราคาตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างในการคำนวณในภาคผนวก ซ แต่อย่างไรก็ตาม หากอาคารสำนักงานในกรณีศึกษาสร้างไว้ให้เพื่อขาย โดยที่เจ้าของอาคารไม่ได้เป็นผู้ใช้งานเอง จะไม่มีการนำค่าการลงทุนกระจกมาคิดเป็นค่าเสื่อมราคา เพราะถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนของสินค้าขาย (Cost of Good Sold) ทั้งนี้ รายละเอียดการบันทึกบัญชี และการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานอาคารเป็นสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กองบรรณาธิการ. อาคารเขียว นวัตกรรมอนุรักษ์พลังงานเพื่อโลกยุคใหม่. Technology Promotion Magazine 36(2552): 8-11.

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.ieat.go.th [2553, มีนาคม 25]

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ค่าไฟฟ้า Ft. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.egat.co.th/ft/ft-stat5.html [2552, พฤศจิกายน 20]

การุณย์ ศุภมิตรโยธิน. การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

กิรณา ธรรมสุข. ผลของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดกับอาคารที่มีการติดตั้งผนังกระจกเอียงเพื่อหลบรังสีตรงจากดวงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2551.

ดารณี จารีมิตร. แนวทางการออกแบบและจัดอาคารสำนักงานเพื่อป้องกันโรคติดต่อทางอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2548.

ทีมวิจัยนครหลวงไทย. Strategy Update. กรุงเทพมหานคร: ธนาคารนครหลวงไทย, 2552.

ธนาคารกรุงเทพ. อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ (Marginal Loan Rate or MLR) สำหรับลูกค้ารายใหญ่ชั้นดี ประเภทเงินกู้แบบมีระยะเวลา (Minimum Loan Rate or MLR). [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http:// www.bangkokbank.com [2552, พฤศจิกายน 20]

ธนาคารแห่งประเทศไทย. อัตราเงินเฟ้อ. 2553. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.bot.or.th/Thai/Pages/BOTDefault.aspx [2553, มกราคม 16]

ธนาคารแห่งประเทศไทย. อัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาล อายุ 20 ปี. 2551. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.bot.or.th/Thai/FinancialMarkets/BondProfile/CouponGovtBonds_CFbyTenors [2552, พฤศจิกายน 20]

บุรพล แจ้งสว่าง. แนวทางการกำหนดมาตรฐานการใช้แสงธรรมชาติในอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2548.

ปวีณา แซ่ตั้ง. การศึกษาและประเมินการปรับปรุงเปลือกอาคารธนาคารเพื่อการปรับเปลี่ยนภาพลักษณ์ขององค์กร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2549.

ปิยานันต์ ประสารราชกิจ. ทฤษฎีสีและการออกแบบตกแต่งภายใน. กรุงเทพมหานคร: บริษัท พริกหวาน กราฟฟิค จำกัด, 2521.

พลังงาน, กระทรวง, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระจก ถ้าเลือกใช้เป็น หมดปัญหาแสงจ้าและความร้อน. Builder News เพื่อผู้ประกอบการก่อสร้าง 6(2552): 18-19.

พลังงาน, กระทรวง, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน, 2546.

พลังงาน, กระทรวง, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รักษ์พลังงาน. กรุงเทพมหานคร 61 (มิถุนายน 2552): 1-10.

พลังงาน, กระทรวง, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. กฎกระทรวง ฉบับที่ 7 พ.ศ. 2517 ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2479. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน, 2517.

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม,กรม. พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2535.

พิพัฒน์ ชัยวิวัฒนวรกุล และ พัฒนะ รักความสุข. รู้ทันพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.

พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาธร. การพัฒนาซอฟท์แวร์ช่วยวิเคราะห์ประเมินการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550.

บริกแฮม, ยูจีน เอฟ และ ฮุสตัน, โจเอล เอฟ. การจัดการการเงิน. แปลโดย เริงรัก จำปาเงิน. กรุงเทพมหานคร: บริษัท บุ๊คเน็ท จำกัด, 2544.

รวิช ควรประเสริฐ. การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในภูมิภาคร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ราชกิจจานุเบกษา. กฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.ratchakitcha.soc.go.th [2553, มีนาคม 20]

ราชกิจจานุเบกษา. ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552. กรุงเทพมหานคร: ราชกิจจานุกเบกษา, 2552.

ราชกิจจานุเบกษา. พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2550). กรุงเทพมหานคร: ราชกิจจานุเบกษา, 2550.

วรวุฒิ ศิริรัชฎาะ. การศึกษาต้นแบบช่องเปิดสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. ข้อมูลสภาพอากาศกรุงเทพมหานครเพื่อการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

สมสิทธิ์ นิตยะ. ระบบผนัง (Curtain Wall). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2547.

สุมาวลี จินดาพล. แนวทางการออกแบบช่องเปิดเพื่อได้รับความร้อนและแสงธรรมชาติอย่างเหมาะสมในอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

อรรจน์ เศรษฐบุตร . บทความประกอบการบรรยาย เรื่อง สถาปัตยกรรมสีเขียว: การท้าทายเพื่อความยั่งยืน (Green Architecture: The Sustainability Challenge). กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552. (อัดสำเนา)

อรรจน์ เศรษฐบุตร. บทความประกอบการบรรยาย เรื่อง อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer). กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552. (อัดสำเนา)

ภาษาอังกฤษ

Button, D, & Pye, B. Glass in Building. Jordan Hill, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1993.

Givoni, B. Passive and Low Energy Cooling of Buildings. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

Moore, F. Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting. New York: McGraw-Hill, 1993.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
นิยามศัพท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Equipment Power Density (EQD) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

Light Power Density (LPD) หมายถึง กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อาคาร มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

Occupancy Rate (OCCU) หมายถึง ความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารในพื้นที่ มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร ($Person/m^2$)

Thermal Conductivity (k) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร - องศาเซลเซียส ($W/(m.^{\circ}C)$)

Ventilation Rate (VENT) หมายถึง อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที (l/s)

Weighted Average Cost of Capital (WACC) หมายถึง ต้นทุนเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก คำนวณได้จาก (1) สัดส่วนของเงินลงทุน ได้แก่ เงินกู้จากสถาบันการเงินและเงินทุนของเจ้าของ (2) ต้นทุนของเงินทุน ได้แก่ ต้นทุนของเงินกู้ และต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ และ (3) ภาษีเงินได้นิติบุคคล

Window to Wall Ratio (WWR) หมายถึง อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

กระจก หมายถึง กระจกที่ใช้เป็นส่วนประกอบของผนังด้านนอกของอาคารที่ช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน โดยลดความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่าน และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากการนำแสงธรรมชาติเพื่อการส่องสว่างภายในอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value หรือ RTTV) หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) มีหน่วยเป็นเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

ค่าแสงสะท้อน (Visible Light Reflectance) หมายถึง ร้อยละของแสงที่สะท้อนจากผิวของกระจก

ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance หรือ R) หมายถึง สัดส่วนของความหนาของวัสดุ (Δx) ต่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (k) มีหน่วยเป็นตารางเมตร – องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2.^{\circ}C)/W$)

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference **หรือ** TDEQ) หมายถึง ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มวลของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนัง มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ΔT) หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารซึ่งใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจก มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

ค่าความร้อนสัมพัทธ์ (Relative Heat Gain **หรือ** RHG) หมายถึง ค่าความร้อนชั่วขณะที่ถูกส่งผ่านหน้าต่างกระจก ซึ่งประกอบด้วยค่าความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีแสงอาทิตย์และค่าความร้อนจากการนำความร้อน

ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น (Energy Efficiency Ratio **หรือ** EER) หมายถึง ค่าประสิทธิภาพในการให้ความเย็นของระบบปรับอากาศโดยกำหนดในรูปของค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation **หรือ** ESR) หมายถึง รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผนังที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังอาคารให้วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับพื้นผิวโลก (หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้งจะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบนอน (หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียงและทิศทางผนังต่าง ๆ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Shading Coefficient **หรือ** SC_1) หมายถึง อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกชนิดหนึ่ง ๆ เมื่อเทียบกับค่าความร้อนสัมพัทธ์ที่ส่องผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Coefficient **หรือ** SC_2) หมายถึง อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance **หรือ** COP) คือ อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ (หน่วยเป็นวัตต์) กับพิกัดกำลังไฟฟ้า (หน่วยเป็นวัตต์)

ค่าส่งผ่านรังสีอาทิตย์ (Solar Transmittance) หมายถึง ร้อยละของพลังงานจากรังสีอุลตราไวโอเล็ต รังสีอินฟราเรด และรังสีอื่นที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 300- 3,000 นาโนเมตรที่ทะลุผ่านกระจก

ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar Reflectance) หมายถึง ร้อยละของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากผิวกระจก

ค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance **หรือ** VT) หมายถึง ร้อยละของแสงที่มองเห็น (ความยาวคลื่น 380-780 นาโนเมตร) ที่ส่องทะลุผ่านกระจก

ค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน หรือ ค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิการส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Light to Solar Gain **หรือ** LSG) หมายถึง สัดส่วนของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าส่องเข้ามาในตัวอาคาร

ผนัง หมายถึง ส่วนก่อสร้างในด้านซึ่งกั้นด้านนอกหรือระหว่างหน่วยของอาคารให้เป็นผนังหรือหน่วยแยกจากกัน

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density Specific Heat **หรือ** DSH) หมายถึง ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส (kJ/(m^2.°C))

พลังงาน หมายถึง ความสามารถในการทำงานซึ่งมีอยู่ในตัวของสิ่งที่อาจให้งานได้ ได้แก่ พลังงานหมุนเวียน และพลังงานสิ้นเปลือง และให้หมายความรวมถึงสิ่งที่อาจให้งานได้ เช่น เชื้อเพลิง ความร้อนและไฟฟ้า เป็นต้น

พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ พลังงานที่ได้จากไม้ ฟืน แกลบ กากอ้อย ชีวมวล น้ำ แสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ ลม และคลื่น เป็นต้น

มุมเอียงของผนัง หมายถึง มุมที่ผนังกระทำกับพื้นผิวโลกหรือพื้นดิน โดยกำหนดให้ผนังแนวตั้งมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา

ระบบปรับอากาศ หมายถึง ส่วนประกอบอื่นๆ ของระบบปรับอากาศด้วย

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient **หรือ** SHGC) หมายถึง ผลรวมของค่าส่งผ่านรังสีอาทิตย์ (Solar Transmittance) ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Solar Absorptance) ในเนื้อกระจก และค่าการแผ่รังสีความร้อนกลับเข้าสู่ภายในอาคาร ดังนั้นค่า SHGC จึงเป็นผลรวมของการแผ่รังสีอาทิตย์ทั้งโดยตรง และโดยอ้อม

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Coefficient of Heat Tranmisision **หรือ** U Value) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดของวัสดุ และฟิล์มอากาศ ค่า U เป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total Thermal Resistance) มีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์ (m^2. °C)/W)

สารเคลือบแผ่รังสีต่ำ (Low-Emissivity Coating **หรือ** Low-E) หมายถึง สารที่ใช้เคลือบกระจกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการสะท้อนความร้อนและรังสีอินฟราเรด ทำให้สามารถควบคุมปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

อนุรักษ์พลังงาน หมายถึง ผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด

อาคาร หมายถึง อาคารตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

อาคารขนาดใหญ่ หมายถึง อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 2,000 ตารางเมตร หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15.00 เมตรขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตรขึ้นไป แต่ไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยา การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หมายถึง อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่เป็นอยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะเรียกว่า “อาคารสำนักงานขนาดใหญ่”

อาคารควบคุม หมายถึง อาคารดังต่อไปนี้ คือ สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงาน อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร อาคารโรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร อาคารโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม อาคารสถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

อาคารสูง หมายถึง อาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ โดยมีความสูงตั้งแต่ 23.00 เมตรขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้าสำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด โดยอาคารสำนักงานที่ใช้ในการศึกษานี้ถือว่าเป็นอาคารสูงเช่นกัน

ภาคผนวก ข
ค่าคุณสมบัติของกระจกประเภทต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
1	3 mm. Clear glass	91	9	9	85	8	8	7	5.81	1.02	1.01	0.88	684	217	1.04
2	4 mm. Clear glass	91	8	9	83	8	8	9	5.81	1.02	0.99	0.86	673	213	1.06
3	5 mm. Clear glass	90	8	8	82	8	8	10	5.80	1.02	0.98	0.85	664	210	1.06
4	6 mm. Clear glass	89	8	8	80	8	8	12	5.79	1.02	0.97	0.84	656	208	1.05
5	8 mm. Clear glass	88	8	8	75	7	7	18	5.78	1.02	0.93	0.81	629	199	1.09

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
6	10 mm. Clear glass	87	8	8	71	7	7	22	5.77	1.02	0.89	0.77	604	191	1.12
7	12 mm. Clear glass	86	8	8	66	6	6	28	5.76	1.01	0.85	0.74	582	184	1.16
8	3 mm. Green glass	82	8	8	62	7	7	31	6.15	1.08	1.01	0.82	568	180	1.00
9	4 mm. Green glass	79	8	8	56	6	6	38	6.17	1.09	0.77	0.67	536	170	1.18
10	5 mm. Green glass	76	8	7	52	6	6	42	6.18	1.09	0.74	0.64	512	162	1.18

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
11	6 mm. Green glass	76	7	7	45	6	6	49	6.21	1.09	0.68	0.59	477	151	1.28
12	8 mm. Green glass	70	7	7	39	6	6	55	6.18	1.09	0.63	0.55	444	141	1.28
13	10 mm. Green glass	64	7	7	32	6	6	62	6.15	1.08	0.57	0.50	409	130	1.29
14	12 mm. Green glass	60	6	6	30	5	5	65	6.09	1.07	0.55	0.48	394	125	1.25
15	4 mm. Blue glass	66	7	8	55	8	8	37	6.16	1.08	0.76	0.66	526	167	1.00

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
16	6 mm. Blue glass	54	6	6	47	6	6	47	6.19	1.09	0.70	0.61	488	155	0.89
17	8 mm. Blue glass	48	6	7	38	6	6	56	6.18	1.09	0.63	0.55	443	140	0.88
18	3 mm. Dark Grey glass	40	5	6	52	6	6	42	6.27	1.10	0.74	0.64	516	164	0.62
19	5 mm. Dark Grey glass	22	3	5	42	6	6	52	6.29	1.11	0.66	0.57	465	147	0.38
20	6 mm. Dark Grey glass	14	5	5	34	5	5	61	6.31	1.11	0.59	0.51	421	133	0.27

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
21	6 mm. Clear HC Low-E glass	82	11	11	67	12	14	21	3.72	0.65	0.82	0.71	546	173	1.15
22	6 mm. NSS 120 glass	20	23	33	16	20	39	64	5.48	0.96	0.37	0.32	275	87	0.62
23	6 mm. NSS 130 glass	30	15	26	24	14	31	62	5.63	0.99	0.46	0.40	333	106	0.75
24	6 mm. NSS 140 glass	40	10	12	31	9	25	60	5.95	1.05	0.55	0.48	392	124	0.84
25	6 mm. NTS 120 glass	20	22	33	14	22	41	64	5.11	0.90	0.33	0.29	247	78	0.70

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
26	6 mm. NTS 130 glass	30	15	29	22	15	34	63	5.60	0.99	0.44	0.38	318	101	0.78
27	6 mm. NTS 140 glass	40	10	24	31	10	27	59	5.91	1.04	0.54	0.47	386	122	0.85
28	6 mm. NTS 150 glass	50	8	18	39	7	20	54	6.16	1.08	0.62	0.54	442	140	0.93
29	6 mm. NTE 110 glass	10	20	29	7	22	42	71	5.09	0.90	0.27	0.23	209	66	0.43
30	6 mm. NSS 214 glass	12	24	37	7	15	43	78	5.22	0.92	0.29	0.25	220	70	0.48

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
31	6 mm. NSS 220 glass	16	18	33	10	12	39	78	5.53	0.97	0.33	0.29	253	80	0.56
32	6 mm. NSS 230 glass	24	12	28	14	9	32	77	5.65	0.99	0.38	0.33	285	90	0.73
33	6 mm. NSS 240 glass	33	8	22	20	7	25	73	5.97	1.05	0.45	0.39	333	106	0.84
34	6 mm. NTS 220 glass	17	17	32	9	12	39	79	5.26	0.93	0.32	0.28	241	76	0.61
35	6 mm. NTS 230 glass	25	13	29	14	10	34	76	5.61	0.99	0.38	0.33	283	90	0.76

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
36	6 mm. NTS 240 glass	34	10	24	20	8	28	72	6.05	1.06	0.46	0.40	336	107	0.85
37	6 mm. NTS 250 glass	42	7	17	25	6	19	69	6.27	1.10	0.51	0.44	371	118	0.95
38	6 mm. NTE 210 glass	10	15	28	5	11	40	84	5.30	0.93	0.28	0.24	221	70	0.41
39	6 mm. NSS 508 glass	5	20	46	4	15	52	81	4.88	0.86	0.25	0.22	195	62	0.23
40	6 mm. NSS 514 glass	8	13	38	5	10	43	85	5.21	0.92	0.29	0.25	222	70	0.32

Prepared By	Checked By	Approved By
กฤษฎา	อ้อ ศุภมาศ	อ้อ ณัฐพงศ์
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
41	6 mm. NSS 520 glass	13	12	31	9	11	38	80	5.49	0.97	0.33	0.29	252	80	0.45
42	6 mm. NSS 530 glass	19	9	27	13	8	31	79	5.74	1.01	0.39	0.34	289	92	0.56
43	6 mm. NSS 540 glass	25	7	21	19	7	24	74	6.04	1.06	0.45	0.39	331	105	0.64
44	6 mm. NTS 520 glass	13	12	33	8	11	41	81	5.34	0.94	0.32	0.28	241	76	0.47
45	6 mm. NTS 530 glass	18	10	28	12	9	33	79	5.85	1.03	0.38	0.33	282	89	0.54

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
46	6 mm. NTS 540 glass	25	7	24	18	7	27	75	6.04	1.06	0.44	0.38	324	103	0.65
47	6 mm. NTS 550 glass	31	7	18	22	6	20	72	6.39	1.12	0.49	0.43	361	114	0.73
48	6 mm. NTE 510 glass	6	12	29	3	12	42	85	4.90	0.86	0.25	0.22	197	62	0.28
49	6 mm. Clear glass +0.38 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	86	8	8	65	7	7	28	5.70	1.00	0.84	0.73	572	181	1.18
50	6 mm. Clear glass +0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	85	9	9	63	7	7	30	5.66	1.00	0.82	0.71	559	177	1.19

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
51	6 mm. Clear glass + 1.14 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	85	9	9	63	8	8	29	5.59	0.98	0.81	0.70	557	177	1.21
52	6 mm. Clear glass + 1.52 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	84	9	9	60	7	7	33	5.56	0.98	0.79	0.69	544	172	1.22
53	3 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 3 mm. Clear glass	79	8	8	52	7	6	41	6.00	1.06	0.73	0.64	509	161	1.24

Prepared By	Checked By	Approved By
กฤษฎา	อภิ ศุภมหา	อภิ ณัฐพงศ์
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
54	3 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 3 mm. Green glass	71	8	8	38	6	6	56	6.12	1.08	0.62	0.54	438	139	1.32
55	4 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 4 mm. Clear glass	77	8	8	46	6	6	48	5.98	1.05	0.68	0.68	475	151	1.13
56	4 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 4 mm. Green glass	67	7	7	31	6	5	63	6.11	1.08	0.56	0.49	400	127	1.38

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
57	5 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 5 mm. Clear glass	74	8	8	41	6	6	53	5.94	1.05	0.64	0.56	450	143	1.33
58	5 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 5 mm. Green glass	63	7	7	26	6	5	68	6.06	1.07	0.52	0.45	373	118	1.39
59	6 mm. Green glass + 0.38 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	73	7	8	36	5	6	59	5.98	1.05	0.60	0.52	425	135	1.40

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
60	6 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	73	8	8	35	5	7	60	5.93	1.04	0.59	0.51	417	132	1.42
61	6 mm. Green glass + 1.14 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	73	8	9	35	6	7	59	5.86	1.03	0.59	0.51	415	132	1.42
62	6 mm. Green glass + 1.52 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	71	8	8	33	5	6	62	5.80	1.02	0.57	0.50	406	129	1.43

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
63	6 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Green glass	62	7	7	19	5	5	76	6.04	1.06	0.46	0.40	337	107	1.55
64	6 mm. Blue glass + 0.38 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	53	7	7	37	6	6	57	5.97	1.05	0.60	0.52	426	135	1.02
65	6 mm. Blue glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	53	7	7	35	6	6	59	5.91	1.04	0.59	0.51	418	133	1.03

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
66	6 mm. Blue glass + 1.14 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	53	7	8	35	6	7	59	5.85	1.03	0.59	0.51	416	132	1.03
67	6 mm. Blue glass + 1.52 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	52	7	8	34	6	6	60	5.79	1.02	0.57	0.50	407	129	1.05
68	6 mm. Dark Grey glass + 0.38 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	14	5	5	27	5	5	68	6.01	1.06	0.52	0.45	378	120	0.31

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
69	6 mm. Dark Grey glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	14	5	5	26	5	5	69	5.98	1.05	0.52	0.45	372	118	0.31
70	6 mm. Dark Grey glass + 1.14 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	14	5	6	26	6	6	68	5.92	1.04	0.51	0.44	369	117	0.32
71	6 mm. Dark Grey glass + 1.52 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	13	5	5	25	5	6	70	5.86	1.03	0.50	0.44	362	115	0.30

Prepared By	Checked By	Approved By
กฤษฎา	อภิ ศุภมหา	อภิ ณัฐพงศ์
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
72	6 mm. Clear HC Low-E #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	78	11	10	52	12	11	36	5.71	1.00	0.72	0.63	496	157	1.25
73	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear HC Low-E #3	78	11	11	52	10	13	38	5.21	0.92	0.71	0.62	487	154	1.26
74	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear HC Low-E #4	78	11	11	52	10	13	38	3.79	0.67	0.68	0.59	460	146	1.32

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
75	6 mm. Clear HC Low-E #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Green glass	67	10	9	29	11	7	60	5.93	1.04	0.52	0.45	376	119	1.48
76	6 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear HC Low-E #3	67	9	11	29	7	11	64	5.41	0.95	0.52	0.45	369	117	1.48
77	6 mm. Green glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear HC Low-E #4	67	9	11	29	6	13	65	4.03	0.71	0.47	0.41	329	104	1.64

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
78	6 mm. Clear HC Low-E #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Blue glass	49	10	8	30	11	8	59	5.92	1.04	0.53	0.46	378	120	1.06
79	6 mm. Blue glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear HC Low-E #3	49	8	10	30	7	11	63	5.40	0.95	0.52	0.45	370	117	1.08
80	6 mm. Blue glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear HC Low-E #4	49	8	10	30	7	13	63	4.02	0.71	0.47	0.41	331	105	1.20

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
81	6 mm. Clear HC Low-E #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Dark Grey glass	12	9	5	22	11	6	67	5.98	1.05	0.46	0.40	338	107	0.30
82	6 mm. Dark Grey glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear HC Low-E #3	13	5	8	22	6	10	72	5.46	0.96	0.46	0.40	331	105	0.32
83	6 mm. Dark Grey glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear HC Low-E #4	13	5	8	22	6	12	72	4.08	0.72	0.41	0.36	288	91	0.36

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
84	6 mm. NSS 120 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	20	23	31	13	20	26	67	5.98	1.05	0.35	0.30	270	86	0.66
85	6 mm. NSS 130 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	30	15	25	19	14	21	67	5.98	1.05	0.42	0.37	314	100	0.82
86	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6mm. NSS 130 #3	30	25	15	19	21	14	60	5.93	1.04	0.40	0.35	299	95	0.86

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
87	6 mm. NSS 140 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	38	10	21	25	9	17	66	5.97	1.05	0.49	0.43	355	113	0.89
88	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NSS 140 #3	38	21	10	25	17	9	58	5.91	1.04	0.46	0.40	338	107	0.95
89	6 mm. NTS 120 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	20	22	31	11	22	27	67	5.98	1.05	0.33	0.29	256	81	0.70

Prepared By	Checked By	Approved By
กฤษฎา	อัม ดุ๊กหมาก	อัม ณัทกา
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
90	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTS 120 #3	20	23	33	16	20	39	64	5.48	0.96	0.37	0.32	275	87	0.62
91	6 mm. NTS 130 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	28	15	27	17	15	23	68	5.98	1.05	0.41	0.36	303	96	0.78
92	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTS 130 #3	28	15	27	17	15	23	68	5.93	1.04	0.38	0.33	286	91	0.85

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
93	6 mm. NTS 140 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	39	11	22	24	10	18	66	5.96	1.05	0.48	0.42	351	111	0.93
94	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTS 140 #3	39	22	11	24	18	10	58	5.90	1.04	0.46	0.40	333	106	0.97
95	6 mm. NTS 150 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	47	8	17	30	7	14	63	5.94	1.05	0.55	0.48	391	124	0.98

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
96	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTS 150 #3	47	17	8	30	14	7	56	5.88	1.03	0.52	0.45	375	119	1.04
97	6 mm. NTE 110 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	12	20	27	6	22	28	72	6.01	1.06	0.29	0.25	230	73	0.48
98	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTE 110 #3	12	27	20	6	28	22	66	5.97	1.05	0.27	0.23	217	69	0.51

Prepared By	Checked By	Approved By
กฤษฎา	อัม ศุภมาส	อัม ณัฐพ
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
99	6 mm. NSS 214 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	12	24	35	6	15	28	79	6.06	1.07	0.31	0.27	246	78	0.44
100	6 mm. NSS 220 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	16	19	31	7	12	26	81	6.07	1.07	0.34	0.30	260	82	0.54
101	6 mm. NSS 230 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	23	12	26	11	9	22	80	6.07	1.07	0.37	0.32	283	90	0.71

Prepared By	Checked By	Approved By
กฤษฎา	อัม ศุภมาส	อัม ณัฐพ
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
102	6 mm. Clear glass + 0.76mm. Clear PVB + 6mm. NSS 230 #3	23	16	12	11	22	9	67	5.98	1.05	0.33	0.29	256	81	0.80
103	6 mm. NSS 240 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	32	8	21	15	7	17	78	6.05	1.06	0.42	0.37	313	99	0.88
104	6 mm. Clear glass + 0.76mm. Clear PVB + 6mm. NSS 240 #3	32	21	8	15	17	7	68	5.98	1.05	0.39	0.34	290	92	0.94

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
105	6 mm. NTS 220 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	16	18	30	7	12	26	81	6.09	1.07	0.33	0.29	258	82	0.56
106	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6mm. NTS 220 #3	16	30	18	7	26	12	67	5.97	1.05	0.29	0.25	228	72	0.63
107	6 mm. NTS 230 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	24	13	27	11	10	23	79	6.06	1.07	0.37	0.32	282	89	0.75

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
108	6 mm. Clear glass + 0.76mm. Clear PVB + 6mm. NTS 230 #3	24	27	13	11	23	10	66	5.97	1.05	0.33	0.29	253	80	0.84
109	6 mm. NTS 240 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	33	10	23	16	8	19	76	6.04	1.06	0.42	0.37	312	99	0.90
110	6 mm. Clear glass + 0.76mm. Clear PVB + 6mm. NTS 240 #3	33	23	10	16	19	8	65	5.96	1.05	0.38	0.33	287	91	1.00

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
111	6 mm. NTS 250 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	40	7	17	19	6	14	75	6.03	1.06	0.46	0.40	335	106	1.00
112	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6mm. NTS 250 #3	40	17	7	19	14	6	67	5.97	1.05	0.43	0.37	318	101	1.07
113	6 mm. NTE 210 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	10	15	26	4	11	27	85	6.10	1.07	0.31	0.27	244	77	0.37

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
114	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTE 210 #3	10	26	15	4	11	27	85	5.99	1.05	0.26	0.23	210	67	0.44
115	6 mm. NSS 508 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	5	20	43	3	15	36	82	6.08	1.07	0.29	0.25	232	74	0.20
116	6 mm. NSS 514 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	8	16	36	5	12	28	83	6.08	1.07	0.32	0.28	247	78	0.29

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
117	6 mm. NSS 520 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	12	12	29	7	11	25	82	6.08	1.07	0.34	0.30	261	83	0.41
118	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NSS 520 #3	12	29	12	7	25	11	68	5.98	1.05	0.29	0.25	230	73	0.48
119	6 mm. NSS 530 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	18	9	25	11	8	21	81	6.07	1.07	0.38	0.33	284	90	0.54

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
120	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NSS 530 #3	18	25	9	11	21	8	68	5.98	1.05	0.33	0.29	257	81	0.63
121	6 mm. NSS 540 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	24	7	20	15	7	17	78	6.06	1.07	0.42	0.37	309	98	0.66
122	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NSS 540 #3	24	20	7	15	17	7	68	5.98	1.05	0.38	0.33	288	91	0.73

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
123	6 mm. NTS 520 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	12	12	31	6	11	27	83	6.08	1.07	0.33	0.29	257	81	0.42
124	6 mm. NTS 530 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	17	10	27	9	9	22	82	6.08	1.07	0.36	0.31	276	87	0.54
125	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTS 530 #3	17	27	10	9	22	9	69	5.98	1.05	0.32	0.28	248	79	0.61

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
126	6 mm. NTS 540 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	24	7	23	14	7	18	79	6.06	1.07	0.41	0.36	303	96	0.67
127	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTS 540 #3	24	23	7	14	18	7	68	5.98	1.05	0.37	0.32	279	88	0.75
128	6 mm. NTS 550 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	30	7	17	17	6	14	77	6.04	1.06	0.44	0.38	324	103	0.78

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
129	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTS 550 #3	30	17	7	17	14	6	69	5.98	1.05	0.41	0.36	307	97	0.84
130	6 mm. NTE 510 #2 + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. Clear glass	6	12	27	3	12	28	85	6.10	1.07	0.30	0.26	236	75	0.23
131	6 mm. Clear glass + 0.76 mm. Clear PVB + 6 mm. NTE 510 #3	6	27	12	3	28	12	69	5.99	1.05	0.25	0.22	202	64	0.28

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
132	6 mm. Clear glass + 6 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	3.52	0.62	0.84	0.73	555	176	1.09
133	6 mm. Clear glass + 8 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	3.34	0.59	0.84	0.73	555	176	1.09
134	6 mm. Clear glass + 10 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	3.22	0.57	0.84	0.73	555	176	1.09

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
135	6 mm. Clear glass + 12 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	3.14	0.55	0.84	0.73	554	176	1.09
136	6 mm. Clear glass + 16 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	3.02	0.53	0.84	0.73	554	176	1.09
137	6 mm. Clear glass + 24 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	2.90	0.51	0.84	0.73	554	176	1.09

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
138	6 mm. Green glass + 12 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	68	12	14	36	7	12	57	3.26	0.57	0.54	0.47	367	116	1.45
139	6 mm. Blue glass + 12 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	50	9	14	37	8	12	55	3.25	0.57	0.55	0.48	370	117	1.04
140	6 mm. Clear glass + 6 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	3.28	0.58	0.84	0.73	555	176	1.09

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
141	6 mm. Clear glass + 8 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	3.14	0.55	0.84	0.73	554	176	1.09
142	6 mm. Clear glass + 10 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	3.05	0.54	0.84	0.73	555	176	1.09
143	6 mm. Clear glass + 12 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	2.98	0.52	0.84	0.73	554	176	1.09

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
144	6 mm. Clear glass + 16 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	2.90	0.51	0.84	0.73	554	176	1.09
145	6 mm. Clear glass + 24 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	80	15	15	65	13	13	22	2.81	0.49	0.84	0.73	554	176	1.09
146	6 mm. Green glass + 12 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	68	12	14	36	7	12	57	3.10	0.55	0.54	0.47	363	115	1.45

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
147	6 mm. Blue glass + 12 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	50	9	14	37	8	12	55	3.10	0.55	0.54	0.47	367	116	1.06
148	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 6 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	2.69	0.47	0.62	0.54	411	130	1.35
149	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 8 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	2.34	0.41	0.62	0.54	407	129	1.35

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
150	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 10 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	2.09	0.37	0.61	0.53	404	128	1.38
151	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 12 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	1.90	0.33	0.61	0.53	402	127	1.38
152	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 16 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	1.65	0.29	0.61	0.53	399	126	1.38

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
153	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 24 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	1.58	0.28	0.61	0.53	399	126	1.38
154	6 mm. Green glass with Low-E #2 + 12 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	62	9	12	25	9	23	66	1.94	0.34	0.39	0.34	259	82	1.83
155	6 mm. Blue glass with Low-E #2 + 12 mm. A/S + 6 mm. Clear glass	45	8	12	26	10	23	64	1.94	0.34	0.39	0.34	262	83	1.33

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
156	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 6 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	2.21	0.39	0.62	0.54	405	128	1.35
157	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 8 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	1.90	0.33	0.61	0.53	402	127	1.38
158	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 10 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	1.69	0.30	0.61	0.53	400	127	1.38

Prepared By	Checked By	Approved By
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
159	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 12 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	1.54	0.27	0.61	0.53	398	126	1.38
160	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 16 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	1.37	0.24	0.61	0.53	397	126	1.38
161	6 mm. Clear glass with Low-E #2 + 24 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	73	11	12	45	19	23	36	1.39	0.24	0.61	0.53	397	126	1.38

Prepared By	Checked By	Approved By
กฤษฎา	อัม ดุ๊กมหาน	อัม ณัทกา
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calculated by Simulation Software

PMK-Central Glass Co., Ltd.

Performance Data

Company: Chulalongkorn University

Project Name: Thesis by Savitchaya D.

Date: 8 April 2010

No.	Glass Type	Visible Light			Solar Energy				U-Value		Shading Coeff.	SHGC	RHG		LSG
		Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer	Summer					
			Out	In		Out	In		(w/ m^2k)	(w/ m^2k)			(w/ m^2)	(BTU/ft^2)	
162	6 mm. Green glass with Low-E #2 + 12 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	62	9	12	25	9	23	66	1.61	0.28	0.38	0.33	251	80	1.88
163	6 mm. Blue glass with Low-E #2 + 12 mm. A/S with Argon + 6 mm. Clear glass	45	8	12	26	10	23	64	1.60	0.28	0.38	0.33	254	81	1.36

Prepared By	Checked By	Approved By
กฤษฎา	อภิ คุณาพงศ์	อนันต์ ปานทอง
P.T. Engineer	P.T.Inspector	P.T.Assist Manager

This information contained in this table is offered for product selection purposes, but it does not constitute a warranty of merchantability or fitness for any particular purpose. Actual performance may vary in particular applications, based upon the manufacturing tolerances. If more information is needed, please contact manufacturer.

REMARKS

ALL VALUES ARE SUBJECT TO NORMAL MANUFACTURING TOLERANCES. SHADING COEFFICIENT, U-VALUE AND RELATIVE HEAT GAIN (RHG) ARE BASED ON ASHRAE RECOMMENDATIONS. THE K-VALUE IS BASED ON THE ISO 10292 : 1994(E) STANDARD. THE OTHER VALUES ARE BASED ON THE ISO 9050 : 1990(E) STANDARD.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
รายชื่อบริษัทที่ทำการสำรวจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายชื่อบริษัทที่ทำการสำรวจ

1. บริษัท คาซ่า จำกัด
2. บริษัท ดี ดับเบิลยู พี ซีตี้สเปซ จำกัด
3. บริษัท ดีไซน์ 103 อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
4. บริษัท ดีไซน์+ดีเวอลอป จำกัด
5. บริษัท เดอะ โบว์มอนท์ พาร์ทเนอร์ส จำกัด
6. บริษัท แทนเดม อาร์คิเท็ค (2001) จำกัด
7. บริษัท ปาล์มเมอร์ แอนด์ เทอร์เนอร์ (ประเทศไทย) จำกัด
8. บริษัท แปลน สตูดิโอ จำกัด
9. บริษัท แปลน อาคิเต็ค จำกัด
10. บริษัท แปลน แอสโซซิเอทส์ จำกัด
11. บริษัท ยู เค ดี จำกัด
12. บริษัท ระฟ้าพลัสอาร์คิเต็ค จำกัด
13. บริษัท โรเบิร์ต จีบุย แอนด์ แอสโซซิเอทส์ จำกัด
14. บริษัท สถาปนิก ตุลา จำกัด
15. บริษัท สถาปนิกหนึ่งร้อยสิบ จำกัด
16. บริษัท สถาปนิก 49 จำกัด
17. บริษัท สำนักงานโฟร์เอส จำกัด
18. บริษัท องศา สถาปนิก จำกัด
19. บริษัท อาคิเตคส์ แอนด์ แอสโซซิเอทส์ จำกัด
20. บริษัท เอ อาร์คิเท็ค จำกัด
21. บริษัท เออาร์เบย์ จำกัด
22. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
แบบสอบถาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบถาม
เรื่อง การออกแบบอาคารสำนักงานปรับอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร

คำชี้แจง

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง ***"แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552"*** โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับรายละเอียดทางด้านการออกแบบอาคารสำนักงานทั่วไป (Typical Office Building) ข้อมูลที่ได้รับจากท่านจะนำมาเป็นฐานข้อมูลในการสร้างแบบจำลองอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อศึกษาถึงแนวทางการเลือกใช้กระจกอนุรักษ์พลังงานเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศอย่างเหมาะสมต่อไป

แบบสอบถามมีจำนวนทั้งหมด 6 หน้า ประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2: ความคิดเห็นเกี่ยวกับรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานทั่วไป (Typical Office Building)

ส่วนที่ 3: ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม พร้อมภาพประกอบคำอธิบาย (ถ้ามี)

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ขอความกรุณาท่านตอบคำถามครบทุกข้อ และระบุคำตอบที่ตรงกับความคิดของท่านมากที่สุด ข้อมูลที่รวบรวมได้จะนำมาวิเคราะห์และนำเสนอในภาพรวมเท่านั้น คำตอบของท่านจะเป็นความลับซึ่งจะไม่มีผลกระทบใดๆ กับตัวท่านทั้งสิ้น

ขอขอบพระคุณทุกท่านในความร่วมมือ

สวิชญา ดาวประกายมงคล
นิสิตปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต กลุ่มวิชานวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตย์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฉพาะเจ้าหน้าที่

เลขที่

ชื่อ.....

สำนักงาน.....

ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์.....

ตำแหน่ง.....

วันที่ให้สัมภาษณ์...../...../.....เวลาเริ่มสัมภาษณ์.....เวลาสิ้นสุดการสัมภาษณ์.....

<u>ส่วนที่ 1</u>: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง: โปรดตอบคำถามโดยใส่เครื่องหมาย ✓ ในช่อง ☐ ที่ตรงกับความจริงมากที่สุด

1.1 ระดับการศึกษา

☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี

☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก

☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

1.2 อาชีพ

☐ สถาปนิก ☐ วิศวกร

☐ มัณฑนากร ☐ เจ้าของอาคาร

☐ ผู้รับเหมาก่อสร้าง ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

1.3 ประสบการณ์ในงานออกแบบอาคาร

☐ น้อยกว่า 5 ปี ☐ 5–9 ปี

☐ 10-14 ปี ☐ 15-19 ปี

☐ 20 ปีขึ้นไป

1.4 ลักษณะงาน *(เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)*

☐ สถาปัตยกรรม (Architecture) ☐ ตกแต่งภายใน (Interior Design)

☐ ภูมิสถาปัตย์ (Landscape Arch.) ☐ สถาปัตยกรรมผังเมือง(Urban Arch.)

☐ เคหะการ (Housing Development) ☐ อื่น ๆ โปรดระบุ.....

1.5 ประเภทโครงการ *(เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)*

☐ บ้านพักอาศัย อาคารชุด ☐ อาคารสำนักงาน ห้องสมุด โรงเรียน

☐ อาคารสรรพสินค้า, อาคารพาณิชย์, อาคารแสดงสินค้า/นิทรรศการ

☐ โรงแรม, โรงพยาบาล ☐ อื่น ๆ โปรดระบุ.....

1.6 ท่านเคยออกแบบ *<u>อาคารสำนักงานปรับอากาศ</u>* ที่มีความ*<u>สูงมากกว่า 23 เมตร</u>* และมี*<u>พื้นที่มากกว่า 10,000 ตารางเมตร</u>* หรือไม่

☐ เคย ☐ ไม่เคย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ส่วนที่ 2</u>: ความคิดเห็นเกี่ยวกับรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานทั่วไป
(Typical Office Building)

คำชี้แจง: โปรดตอบคำถามโดยใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หน้าข้อความ หรือเติมข้อความในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด ***<u>โดยตอบจากความนิยมใช้ทั่วไปมากที่สุด หรือตอบจากประสบการณ์จริงในงานออกแบบที่ผ่านมา</u>***

2.1 <u>ลักษณะผังพื้น</u>อาคารสำนักงาน (Floor Plan) ที่นิยมใช้ทั่วไปมากที่สุด *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

☐ ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ☐ ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า
☐ ทรงตัวแอล (L) ☐ อื่น ๆ โปรดระบุ.....

2.2 <u>ระยะของผังพื้น</u>อาคารสำนักงาน (Floor Plan) *โดยประมาณ*

กว้าง ..... เมตร ยาว ..... เมตร

2.3 <u>จำนวนชั้น</u>ของอาคารสำนักงาน *โดยประมาณ (เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

☐ ต่ำกว่า 10 ชั้น ☐ 10-19 ชั้น
☐ 20-29 ชั้น ☐ 30-39 ชั้น
☐ 40 ชั้นขึ้นไป

2.4 ตำแหน่งของพื้นที่<u>แกนบริการ (Service Core)</u> เช่น ลิฟต์ บันไดหนีไฟ *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

☐ อยู่กลางอาคาร ☐ อยู่มุมอาคาร
☐ อยู่ด้านข้างอาคาร ☐ อื่น ๆ โปรดระบุ.....

2.5 ลักษณะ<u>ชั้นอาคารสำนักงาน (Office)</u>

☐ มีฝ้าเพดาน ☐ ไม่มีฝ้าเพดาน

2.6 วัสดุก่อสร้าง<u>ฝ้าเพดาน</u> *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

☐ ไม่มีฝ้าเพดาน (มองเห็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นบน)
☐ ฝ้าเพดานยิบซั่ม หนา.....มม.
☐ ฝ้าเพดานแผ่นอลูมินั่มสำเร็จรูป หนา.....มม.
☐ อื่นๆ โปรดระบุ..... หนา.....มม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 วัสดุก่อสร้างหลังคาทึบแสง *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

- ☐ หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา……มม.
- ☐ หลังคาเหล็ก (Metal Sheet) หนา……มม.
- ☐ หลังคามุงกระเบื้อง หนา……มม.
- ☐ อื่นๆ โปรดระบุ…… หนา……มม.

2.8 ฉนวนฝ้าเพดาน / ฉนวนหลังคา *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

- ☐ ฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass) หนา……นิ้ว
- ☐ ฉนวนใยหิน (Rockwool) หนา……นิ้ว
- ☐ ฉนวน PE Foam (Polyethylene) หนา……นิ้ว
- ☐ ฉนวน PU Foam (Polyurithane) หนา……นิ้ว
- ☐ อื่นๆ โปรดระบุ…… หนา……นิ้ว

2.9 วัสดุก่อสร้างผนังทึบที่นิยมใช้มากที่สุด *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

- ☐ ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป (Precast) หนา……นิ้ว
- ☐ ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา……นิ้ว
- ☐ ผนังก่ออิฐมวลเบา หนา……นิ้ว
- ☐ ผนังอลูมิเนียม (Aluminum Cladding) หนา……นิ้ว
- ☐ อื่นๆ โปรดระบุ…… หนา……นิ้ว

2.10 ชนิดกระจกที่ใช้เป็นช่องหน้าต่างของอาคารสำนักงาน *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

- ☐ กระจกเทมเปอร์ (Tempered) หนา……มม.
- ☐ กระจกสะท้อนแสง (Reflective) หนา……มม.
- ☐ กระจกลามิเนต (Laminated) หนา……มม.
- ☐ กระจกลามิเนตแผ่รังสีต่ำ (Laminated Low-E) หนา……มม.
- ☐ กระจกลามิเนตอินซูเลต (Laminated IGU) หนา……มม.
- ☐ กระจกฉนวนอินซูเลต (Insulated) หนา……มม.
- ☐ กระจกฉนวนอินซูเลตแผ่รังสีต่ำ (Insulated Low-E) หนา……มม.
- ☐ อื่นๆ โปรดระบุ…… หนา……มม.

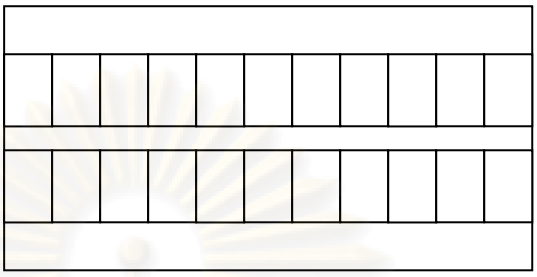
2.11 สีกระจกที่ใช้เป็นช่องหน้าต่างของอาคารสำนักงาน *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

☐ ใส ☐ เขียว ☐ ฟ้า ☐ อื่น ๆ โปรดระบุ……

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.12 <u>ลักษณะหน้าต่าง</u>อาคารสำนักงาน *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

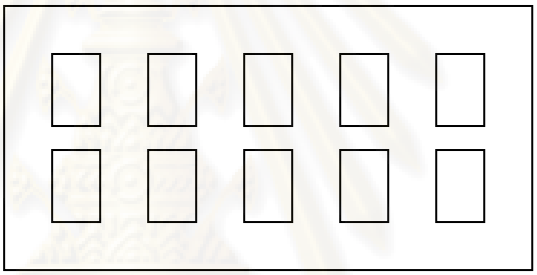
☐ เป็นผนังกระจกแบบต่อเนื่อง



☐ เป็นผนังกระจกแบบไม่ต่อเนื่อง ประกอบด้วยกระจกและผนังทึบ

ขนาดของหน้าต่างที่นิยมใช้มากที่สุด *(โดยประมาณ)* :

กว้าง……มม. สูง……มม.



2.13 ประเภทของ<u>ระบบผนังกระจก</u>ที่นิยมมากที่สุด

2.13.1 แบ่งประเภทตามรูปลักษณ์ที่ปรากฏภายนอก *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

☐ ระบบโครงกรอบรับแรง (Pressure Bead Glazing System)

☐ ระบบโครงกรอบ 2 ด้าน (Two Side Structural Silicone Glazing System)

☐ ระบบไม่เห็นโครงกรอบ (Four Side Structural Silicone Glazing System)

2.13.2 แบ่งประเภทตามวิธีการติดตั้งกระจก *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

☐ ระบบเส้นหรือระบบแยกโครงกรอบ (Grid / Stick System)

☐ ระบบแผ่นผนังสำเร็จรูป (Unitized / Panel / Modula System)

☐ ระบบแผ่นผนังกึ่งสำเร็จรูป (Semi-Unitized System)

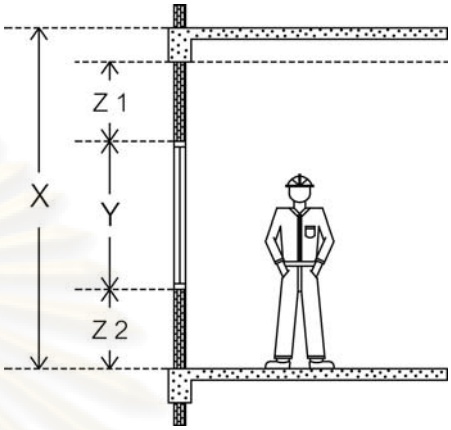
2.14 ในอีก 5 ปีข้างหน้า ท่านคิดว่าอาคารสำนักงานปรับอากาศส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะมี <u>ระบบควบคุมแสงสว่างธรรมชาติอัตโนมัติ (Daylight Control System)</u> หรือไม่

☐ น่าจะมี ☐ ไม่น่าจะมี

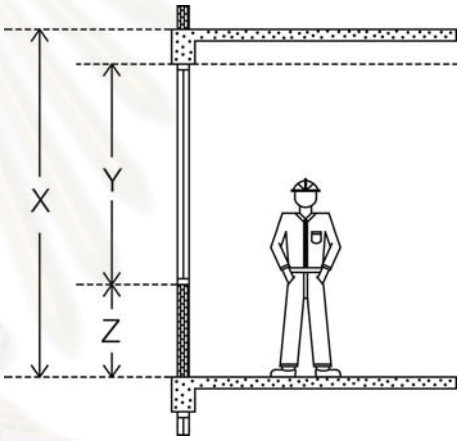
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.15 ลักษณะของกระจกหน้าต่างและผนังที่นิยมมากที่สุด *(เลือกตอบเพียงข้อเดียว)*

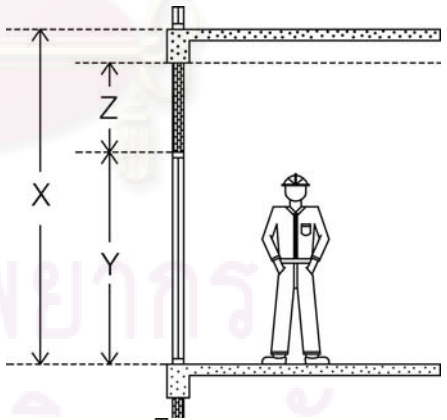
☐ ผนังส่วนบน + กระจกช่องแสง
+ ผนังส่วนล่าง
โดยมีความสูง
X = ……..เมตร
Y = ……..เมตร
Z1 = ……..เมตร
Z2 = ……..เมตร



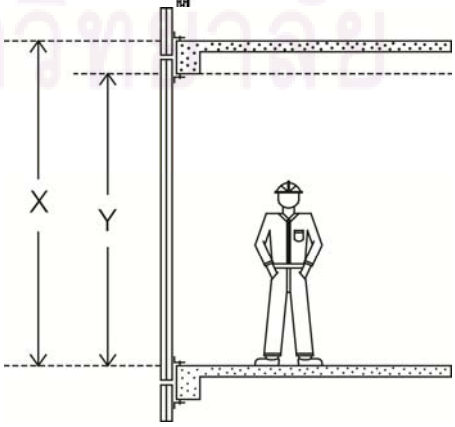
☐ กระจกช่องแสง+ผนังส่วนล่าง
โดยมีความสูง
X = ……..เมตร
Y = ……..เมตร
Z = ……..เมตร



☐ ผนังส่วนบน + กระจกช่องแสง
โดยมีความสูง
X = ……..เมตร
Y = ……..เมตร
Z = ……..เมตร



☐ กระจกช่องแสงเต็มพื้นที่ผนังทั้งหมด 100%
โดยมีความสูง
X = ……..เมตร
Y = ……..เมตร

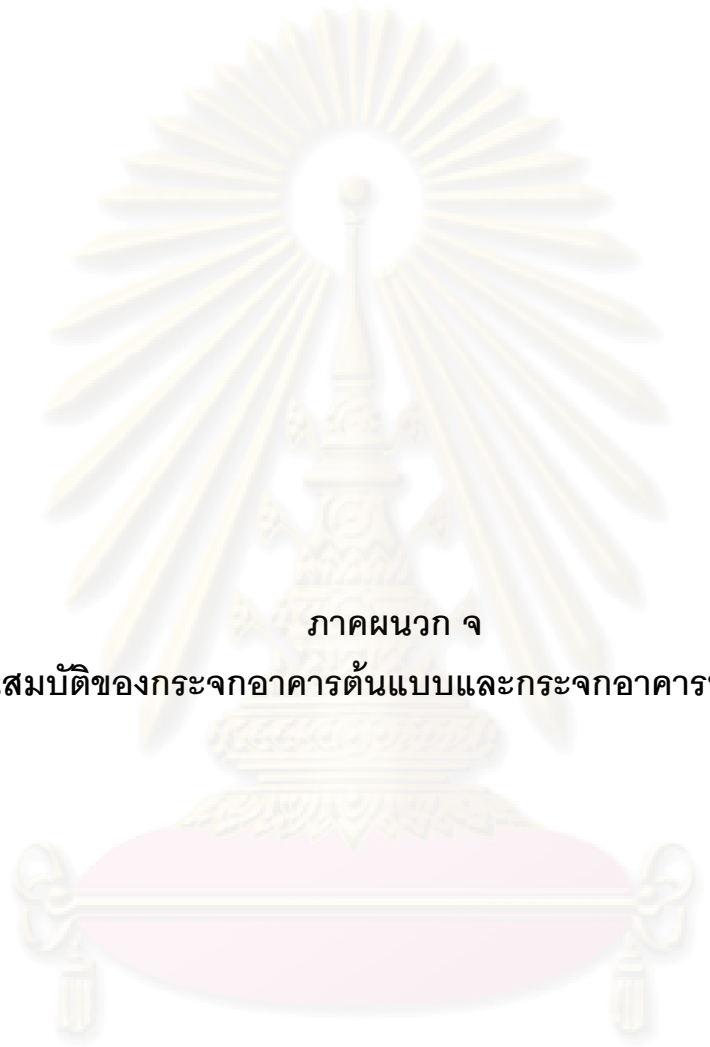


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ส่วนที่ 3</u>: ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม พร้อมภาพประกอบคำอธิบาย *(ถ้ามี)*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่าน



ภาคผนวก จ
คุณสมบัติของกระจกอาคารต้นแบบและกระจกอาคารทางเลือก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PMK-Central Glass CO.,LTD.
บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด

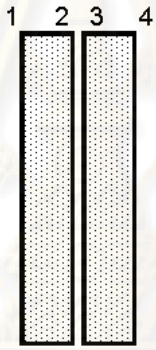
ชื่อผลิตภัณฑ์ (ยี่ห้อ/เครื่องหมายการค้า): PMC LAMSAFE Save Energy (Base Case)

รุ่น (MODEL):

ชนิดกระจก: กระจกลามิเนต

ความหนา: 12.76 มม.

สารเคลือบ: -



6 mm Glass
0.76 mm PVB
6 mm Glass

Performance Data

Product Code			-
Transmittance	ค่าการส่องผ่าน		
	Visible Light	ของแสงธรรมชาติ	**71%**
	Solar Energy	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**35%**
Reflectance	ค่าการสะท้อน		
	Visible Light-Exterior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายนอก	**8%**
	Visible Light-Interior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายใน	**8%**
	Solar Energy-Exterior	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์สู่ภายนอก	**5%**
U-Value	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก		
	Summer	(Unit: W/hr*m2*K)	**5.52**
	Summer	(Unit: Btu/hr*ft2*F)	**0.97**
Shading Coefficient (SC)		ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	**0.60**
Solar Factor (SHGC)	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์		**0.52**
LSG	ค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์		**1.36**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PMK-Central Glass CO.,LTD.
บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด

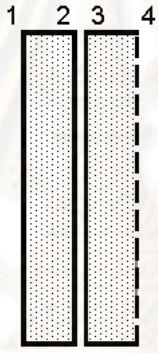
ชื่อผลิตภัณฑ์ (ยี่ห้อ/เครื่องหมายการค้า): PMC LAMSAFE Save Energy (Option A)

รุ่น (MODEL): Green (EXZ02/1/07)

ชนิดกระจก: กระจกลามิเนต

ความหนา: 12.76 มม.

สารเคลือบ: Low-E



6 mm Glass

0.76 mm PVB

6 mm Glass with Low-E #4

Performance Data

Product Code		**EXZ02/1/07**
Transmittance	ค่าการส่องผ่าน	
Visible Light	ของแสงธรรมชาติ	**66%**
Solar Energy	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**33%**
Reflectance	ค่าการสะท้อน	
Visible Light-Exterior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายนอก	**8%**
Visible Light-Interior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายใน	**9%**
Solar Energy-Exterior	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์สู่ภายนอก	**6%**
U-Value	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก	
Summer	(Unit: W/hr*m2*oK)	**3.69**
Summer	(Unit: Btu/hr*ft2*oF)	**0.65**
Shading Coefficient (SC)	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	**0.52**
Solar Factor (SHGC)	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**0.45**
LSG	ค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**1.46**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PMK-Central Glass CO.,LTD.
บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด

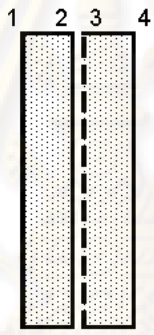
ชื่อผลิตภัณฑ์ (ยี่ห้อ/เครื่องหมายการค้า): PMC LAMSAFE Save Energy (Option B)

รุ่น (MODEL): Green (EX51/2/63B)

ชนิดกระจก: กระจกลามิเนต

ความหนา: 12.76 มม.

สารเคลือบ: Solarsave



6 mm Glass

0.76 mm PVB

6 mm Glass with SOLARSAVE coating #3

Performance Data

Product Code		**EX51/2/63B**
Transmittance	ค่าการส่องผ่าน	
Visible Light	ของแสงธรรมชาติ	**21%**
Solar Energy	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**9%**
Reflectance	ค่าการสะท้อน	
Visible Light-Exterior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายนอก	**16%**
Visible Light-Interior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายใน	**21%**
Solar Energy-Exterior	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์สู่ภายนอก	**10%**
U-Value	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก	
Summer	(Unit: W/hr*m2*K)	**5.52**
Summer	(Unit: Btu/hr*ft2*F)	**0.97**
Shading Coefficient (SC)	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	**0.35**
Solar Factor (SHGC)	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**0.30**
LSG	ค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**0.70**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PMK-Central Glass CO.,LTD.
บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด

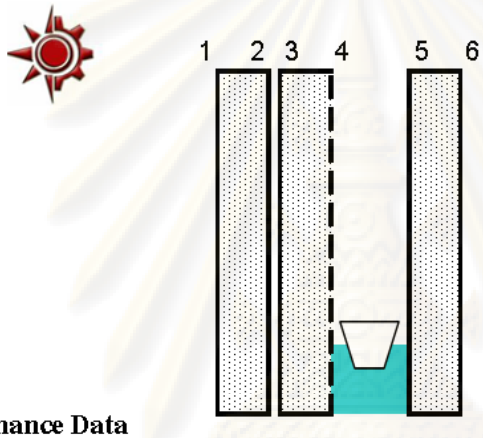
ชื่อผลิตภัณฑ์ (ยี่ห้อ/เครื่องหมายการค้า): PMC LAMSAFE INSULITE Save Energy (Option C)

รุ่น (MODEL): Green (EXZ01/LI/50)

ชนิดกระจก: กระจกลามิเนตอินซูเลต

ความหนา: 30.76 มม.

สารเคลือบ: Low-E



6 mm Glass
0.76 mm PVB
6 mm Glass with Low-E #4
12 mm Airspace (Argon)
6 mm Glass

Performance Data

Product Code		**EXZ01/LI/50**
Transmittance	ค่าการส่องผ่าน	
Visible Light	ของแสงธรรมชาติ	**58%**
Solar Energy	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**26%**
Reflectance	ค่าการสะท้อน	
Visible Light-Exterior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายนอก	**9%**
Visible Light-Interior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายใน	**11%**
Solar Energy-Exterior	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์สู่ภายนอก	**8%**
U-Value	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก	
Summer	(Unit: W/hr*m2*oK)	**1.46**
Summer	(Unit: Btu/hr*ft2*oF)	**0.65**
Shading Coefficient (SC)	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	**0.39**
Solar Factor (SHGC)	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**0.34**
LSG	ค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**1.71**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PMK-Central Glass CO.,LTD.
บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด

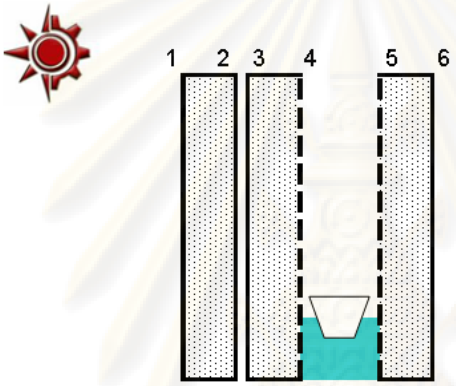
ชื่อผลิตภัณฑ์ (ยี่ห้อ/เครื่องหมายการค้า): PMC LAMSAFE INSULITE Save Energy (Option D)

รุ่น (MODEL): Dark Blue Green (EXZ01/LI/30)

ชนิดกระจก: กระจกลามิเนตอินซูเลต

ความหนา: 30.76 มม.

สารเคลือบ: Low-E



6 mm Glass
0.76 mm PVB
6 mm Glass with Very Low-E #4
12 mm Airspace
6 mm Glass with Very Low-E #5

Performance Data

Product Code		**EXZ01/LI/30**
Transmittance	ค่าการส่องผ่าน	
Visible Light	ของแสงธรรมชาติ	**35%**
Solar Energy	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**13%**
Reflectance	ค่าการสะท้อน	
Visible Light-Exterior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายนอก	**7%**
Visible Light-Interior	ของแสงธรรมชาติสู่ภายใน	**10%**
Solar Energy-Exterior	ของความร้อนจากรังสีอาทิตย์สู่ภายนอก	**6%**
U-Value	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก	
Summer	(Unit: W/hr*m2*oK)	**1.56**
Summer	(Unit: Btu/hr*ft2*oF)	**0.28**
Shading Coefficient (SC)	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	**0.24**
Solar Factor (SHGC)	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**0.21**
LSG	ค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	**1.67**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ
ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารต้นแบบ (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	3,856
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	4,641
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	3,499
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	3,415
	=	**15,411**
อาคารต้นแบบ: กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	95,386
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	95,386
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	74,189
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	74,189
	=	**339,149**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	333,854
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	482,416
	พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	343,109
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	329,148
	=	1,488,527
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	1,843,086 **วัตต์**	120 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารต้นแบบ (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			2.420
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	10.8
ทิศใต้	90	21.192	0.3	13.0
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	12.6
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	12.3

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	7,711
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	9,282
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	6,997
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	6,831
	=	30,821
อาคารต้นแบบ: กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	71,539
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	71,539
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	55,642
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	55,642
	=	254,362
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	250,391
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	361,812
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	257,332
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	246,861
	=	1,116,395
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	1,401,578 **วัตต์**	91 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารต้นแบบ (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,567
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	13,923
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	10,496
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	10,246
	=	**46,232**

อาคารต้นแบบ: กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	47,693
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	47,693
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	37,094
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	37,094
	=	**169,574**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	166,927
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	241,208
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	171,554
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	164,574
	=	**744,263**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 960,070 **วัตต์** 63 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารต้นแบบ (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	15,423
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	18,564
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,661
	=	**61,643**
อาคารต้นแบบ: กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	23,846
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	23,846
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	18,547
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	18,547
	=	**84,787**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	83,464
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	120,604
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	85,777
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	82,287
	=	**372,132**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	518,562 **วัตต์**	34 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารต้นแบบ (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**) =	U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	2,999
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	3,610
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	4,498
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	4,391
	=	**15,498**
อาคารต้นแบบ: กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**) =	U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	74,189
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	74,189
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	95,386
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	95,386
	=	**339,149**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**) =	พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	259,664
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	375,213
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	441,140
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	423,190
	=	1,499,207
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	1,853,853 **วัตต์**	121 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารต้นแบบ (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	5,998
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	7,219
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	8,782
	=	**30,996**

อาคารต้นแบบ: กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	55,642
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	55,642
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	71,539
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	71,539
	=	**254,362**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	194,748
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	281,409
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	330,855
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	317,392
	=	**1,124,405**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = **1,409,762 วัตต์** **92 วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารต้นแบบ (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	10,829
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,495
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,173
	=	**46,494**

อาคารต้นแบบ: กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	37,094
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	37,094
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	47,693
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	47,693
	=	**169,574**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	129,832
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	187,606
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	220,570
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	211,595
	=	**749,603**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 965,672 **วัตต์** 63 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารต้นแบบ (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			2.420
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = 21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	14,439
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	17,993
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	17,565
	=	**61,992**
อาคารต้นแบบ: กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	18,547
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	18,547
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	23,846
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	23,846
	=	**84,787**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	64,916
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	93,803
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	110,285
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	105,797
	=	**374,802**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	521,581 **วัตต์**	34 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก A (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	3,856
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	4,641
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	3,499
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	3,415
	=	**15,411**
อาคารทางเลือก A: กระจกลามิเนต Hard Coated Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	63,763
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	63,763
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	49,594
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	49,594
	=	**226,714**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	287,805
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	415,876
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	295,783
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	283,748
	=	1,283,213
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	1,525,337 **วัตต์**	99 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก A (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	7,711
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	9,282
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	6,997
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	6,831
	=	**30,821**

อาคารทางเลือก A: กระจกลามิเนต Hard Coated Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	47,822
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	47,822
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	37,195
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	37,195
	=	**170,035**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	215,854
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	311,907
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	221,838
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	212,811
	=	**962,410**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 1,163,266 **วัตต์** 76 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก A (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	2.420
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,567
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	13,923
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	10,496
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	10,246
	=	**46,232**

อาคารทางเลือก A: กระจกลามิเนต Hard Coated Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	31,882
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	31,882
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	24,797
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	24,797
	=	**113,357**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	143,903
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	207,938
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	147,892
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	141,874
	=	**641,606**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 801,195 **วัตต์** 52 **วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก A (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	15,423
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	18,564
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,661
	=	**61,643**

อาคารทางเลือก A: กระจกลามิเนต Hard Coated Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	15,941
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	15,941
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	12,398
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	12,398
	=	**56,678**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	71,951
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	103,969
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	73,946
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	70,937
	=	**320,803**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = **439,124 วัตต์** **29 วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก A (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	2,999
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	3,610
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	4,498
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	4,391
	=	**15,498**

อาคารทางเลือก A: กระจกลามิเนต Hard Coated Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	49,594
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	49,594
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	63,763
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	63,763
	=	**226,714**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	223,849
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	323,459
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	380,293
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	364,819
	=	**1,292,420**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = **1,534,631 วัตต์** — **100 วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก A (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	2.420
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = 21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	5,998
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	7,219
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	8,782
	=	**30,996**

อาคารทางเลือก A: กระจกลามิเนต Hard Coated Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	37,195
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	37,195
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	47,822
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	47,822
	=	**170,035**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	167,886
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	242,594
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	285,220
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	273,614
	=	**969,315**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 1,170,346 **วัตต์** 76 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก A (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	10,829
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,495
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,173
	=	**46,494**

อาคารทางเลือก A: กระจกลามิเนต Hard Coated Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	24,797
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	24,797
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	31,882
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	31,882
	=	**113,357**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	111,924
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	161,730
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	190,147
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	182,409
	=	**646,210**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 806,060 **วัตต์** 52 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก A (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	14,439
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	17,993
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	17,565
	=	**61,992**

อาคารทางเลือก A: กระจกลามิเนต Hard Coated Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	12,398
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	12,398
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	15,941
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	15,941
	=	**56,678**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	55,962
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	80,865
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	95,073
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	91,205
	=	323,105

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = **441,775 วัตต์** **29 วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก B (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	3,856
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	4,641
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	3,499
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	3,415
	=	**15,411**
อาคารทางเลือก B: กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	95,386
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	95,386
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	74,189
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	74,189
	=	**339,149**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	191,870
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	277,251
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	197,189
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	189,165
	=	**855,475**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	1,210,035 **วัตต์**	79 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก B (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	2.420
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	7,711
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	9,282
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	6,997
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	6,831
	=	**30,821**

อาคารทางเลือก B: กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	71,539
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	71,539
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	55,642
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	55,642
	=	**254,362**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	143,903
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	207,938
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	147,892
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	141,874
	=	**641,606**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 926,789 **วัตต์** 60 **วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก B (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,567
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	13,923
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	10,496
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	10,246
	=	**46,232**

อาคารทางเลือก B: กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	47,693
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	47,693
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	37,094
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	37,094
	=	**169,574**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	95,935
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	138,625
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	98,594
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	94,583
	=	**427,738**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = **643,544 วัตต์** **42 วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก B (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	15,423
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	18,564
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,661
	=	**61,643**
อาคารทางเลือก B: กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	23,846
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	23,846
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	18,547
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	18,547
	=	**84,787**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	47,968
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	69,313
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	49,297
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	47,291
	=	**213,869**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	360,299 **วัตต์**	23 **วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก B (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	2.420
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	2,999
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	3,610
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	4,498
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	4,391
	=	**15,498**
อาคารทางเลือก B: กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	74,189
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	74,189
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	95,386
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	95,386
	=	**339,149**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	149,232
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	215,639
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	253,529
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	243,213
	=	**861,613**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	1,216,260 **วัตต์**	79 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก B (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	2.420
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ Total DSH = 21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	5,998
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	7,219
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	8,782
	=	**30,996**

อาคารทางเลือก B: กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	55,642
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	55,642
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	71,539
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	71,539
	=	**254,362**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	111,924
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	161,730
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	190,147
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	182,409
	=	**646,210**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 931,567 **วัตต์** 61 **วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก B (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	2.420
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	10,829
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,495
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,173
	=	**46,494**

อาคารทางเลือก B: กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	37,094
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	37,094
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	47,693
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	47,693
	=	**169,574**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	74,616
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	107,820
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	126,764
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	121,606
	=	**430,807**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 646,875 **วัตต์** 42 **วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก B (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	14,439
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	17,993
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	17,565
	=	**61,992**
อาคารทางเลือก B: กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	18,547
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	18,547
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	23,846
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	23,846
	=	**84,787**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	37,308
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	53,910
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	63,382
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	60,803
	=	**215,403**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	362,182 **วัตต์**	24 **วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก C (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	3,856
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	4,641
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	3,499
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	3,415
	=	**15,411**

อาคารทางเลือก C: กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	25,229
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	25,229
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	19,622
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	19,622
	=	**89,702**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	217,453
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	314,217
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	223,481
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	214,387
	=	**969,539**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = **1,074,652 วัตต์** **70 วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก C (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	7,711
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	9,282
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	6,997
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	6,831
	=	**30,821**

อาคารทางเลือก C: กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	18,922
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	18,922
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	14,717
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	14,717
	=	**67,277**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	163,090
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	235,663
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	167,611
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	160,791
	=	**727,154**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = **825,252** **วัตต์** **54** **วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก C (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			2.420
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = 21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,567
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	13,923
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	10,496
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	10,246
	=	**46,232**
อาคารทางเลือก C: กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	12,614
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	12,614
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	9,811
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	9,811
	=	**44,851**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	108,726
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	157,109
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	111,740
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	107,194
	=	**484,769**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	575,852 **วัตต์**	37 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก C (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	15,423
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	18,564
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,661
	=	**61,643**

อาคารทางเลือก C: กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	6,307
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	6,307
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	4,906
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	4,906
	=	**22,426**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	54,363
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	78,554
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	55,870
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	53,597
	=	**242,385**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = **326,453** **วัตต์** **21** **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก C (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			2.420
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = 21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	2,999
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	3,610
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	4,498
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	4,391
	=	**15,498**

อาคารทางเลือก C: กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	19,622
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	19,622
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	25,229
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	25,229
	=	**89,702**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	169,130
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	244,391
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	287,333
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	275,641
	=	**976,495**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 1,081,695 **วัตต์** 70 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก C (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	5,998
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	7,219
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	8,782
	=	**30,996**
อาคารทางเลือก C: กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	14,717
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	14,717
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	18,922
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	18,922
	=	**67,277**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	126,848
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	183,294
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	215,499
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	206,731
	=	**732,371**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	830,644 **วัตต์**	54 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก C (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	10,829
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,495
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,173
	=	**46,494**

อาคารทางเลือก C: กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	9,811
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	9,811
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	12,614
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	12,614
	=	**44,851**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	84,565
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	122,196
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	143,666
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	137,820
	=	**488,247**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	579,592 **วัตต์**	38 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก C (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	14,439
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	17,993
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	17,565
	=	**61,992**
อาคารทางเลือก C: กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	4,906
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	4,906
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	6,307
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	6,307
	=	**22,426**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	42,283
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	61,098
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	71,833
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	68,910
	=	**244,124**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 328,541 **วัตต์** 21 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก D (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	3,856
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	4,641
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	3,499
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	3,415
	=	**15,411**
อาคารทางเลือก D: กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	26,957
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	26,957
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	20,966
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	20,966
	=	**95,846**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	134,309
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	194,075
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	138,032
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	132,416
	=	**598,833**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	710,090 **วัตต์**	46 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก D (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	7,711
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	9,282
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	6,997
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	6,831
	=	**30,821**

อาคารทางเลือก D: กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	20,218
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	20,218
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	15,725
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	15,725
	=	**71,885**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	100,732
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	145,557
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	103,524
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	99,312
	=	**449,124**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	551,831 **วัตต์**	36 **วัตต์/ตร.ม.**	

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก D (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	**2.420**
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,567
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	13,923
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	10,496
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	10,246
	=	**46,232**
อาคารทางเลือก D: กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	13,478
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	13,478
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	10,483
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	10,483
	=	**47,923**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	67,155
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	97,038
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	69,016
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	66,208
	=	**299,416**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 393,571 วัตต์ 26 วัตต์/ตร.ม.

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก D (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (North Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = **21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	15,423
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	18,564
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,661
	=	**61,643**

อาคารทางเลือก D: กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	6,739
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	6,739
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	5,242
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	5,242
	=	**23,962**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	33,577
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	48,519
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	34,508
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	33,104
	=	**149,708**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 235,312 วัตต์ 15 วัตต์/ตร.ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก D (WWR = 80%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			2.420
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	2,999
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	3,610
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	4,498
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	4,391
	=	**15,498**
อาคารทางเลือก D: กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	20,966
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	20,966
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	26,957
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	26,957
	=	**95,846**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	104,463
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	150,948
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	177,470
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	170,249
	=	**603,129**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	714,473 **วัตต์**	47 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก D (WWR = 60%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			**2.420**
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			**0.413**

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	**21.192**

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	5,998
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	7,219
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	8,782
	=	**30,996**
อาคารทางเลือก D: กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K		
Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	15,725
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	15,725
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	20,218
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	20,218
	=	**71,885**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	78,347
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	113,211
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	133,103
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	127,687
	=	**452,347**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	555,228 **วัตต์**	36 **วัตต์/ตร.ม.**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก D (WWR = 40%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =			2.420
U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =			0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464
ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ			Total DSH =	21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (**การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	8,996
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	10,829
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	13,495
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	13,173
	=	**46,494**
อาคารทางเลือก D: กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K		
Q2 (**การนำความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	10,483
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	10,483
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	13,478
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	13,478
	=	**47,923**
Q3 (**การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก**)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	52,231
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	75,474
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	88,735
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	85,124
	=	**301,565**
OTTV = Q1 + Q2 + Q3 =	395,982 **วัตต์**	26 **วัตต์/ตร.ม.**

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV): อาคารทางเลือก D (WWR = 20%)

กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (West Orientation)

ค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) = ความหนาของวัสดุ / ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K)

ชั้นวัสดุของผนังทึบ	ความหนาของวัสดุ (m.)	ค่า K (W/(m.C)	ค่า R ((m2.C)/W)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
2. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	211.000	0.000019
3. ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร (100 มม.)			0.606
4. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	0.035	1.429
5. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	0.282	0.043
6. ฟิล์มอากาศภายใน			0.299
		R Total (**ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ**) =	2.420
		U Value (**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ**) = 1/R Total =	0.413

ชั้นวัสดุของผนังอาคาร	ความหนาของวัสดุ (m.)	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m3)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.C))	ค่า DSH (kJ/(m2.C))
1. แผ่นผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (4 มม.)	0.004	2,672	0.896	9.576
2. ฉนวนใยแก้ว (2 นิ้ว, 24 กก./ลูกบาศก์เมตร)	0.050	24	0.960	1.152
3. แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูป (12 มม.)	0.012	800	1.090	10.464

ค่า DSH = ความหนาของวัสดุ x ความหนาแน่นของวัสดุ x ค่าความร้อนจำเพาะ — Total DSH = 21.192

ทิศทาง	มุมเอียงของผนัง (องศา)	ค่า DSH (kJ/(m2.C))	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Alpha)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDEQ) (C)
ทิศเหนือ	90	21.192	0.3	**10.8**
ทิศใต้	90	21.192	0.3	**13.0**
ทิศตะวันออก	90	21.192	0.3	**12.6**
ทิศตะวันตก	90	21.192	0.3	**12.3**

Q1 (การนำความร้อนผ่านผนังทึบ)	= U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ) x TDEQ (ทิศเหนือ)	11,995
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศใต้) x TDEQ (ทิศใต้)	14,439
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันออก) x TDEQ (ทิศตะวันออก)	17,993
	+ U (ผนังทึบ) x พื้นที่ผนังทึบ (ทิศตะวันตก) x TDEQ (ทิศตะวันตก)	17,565
	=	**61,992**

อาคารทางเลือก D: กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

Q2 (การนำความร้อนผ่านผนังกระจก)	= U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x ΔT	5,242
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x ΔT	5,242
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x ΔT	6,739
	+ U (ผนังกระจก) x พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x ΔT	6,739
	=	**23,962**
Q3 (การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก)	= พื้นที่ผนังกระจก (ทิศเหนือ) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	26,116
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศใต้) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	37,737
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันออก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	44,368
	+ พื้นที่ผนังกระจก (ทิศตะวันตก) x SHGC (ผนังกระจก) x SC (อุปกรณ์บังแดด) x ESR	42,562
	=	**150,782**

OTTV = Q1 + Q2 + Q3 = 236,736 **วัตต์** 15 **วัตต์/ตร.ม.**

ภาคผนวก ช
ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทำแบบจำลอง VisualDOE คำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use)

VISUAL DOE อาคารต้นแบบ (Base Case)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) กรณีมีด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (Base Case: North Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	5,458,717	4,706,752	3,906,174	2,912,317
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	449,474	381,639	320,384	235,525
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	104,110	87,300	70,805	52,465
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,321,584	1,129,567	919,424	693,376
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**9,313,765**	**8,285,138**	**7,196,667**	**5,873,563**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	308	274	238	194
(2) กรณีมีด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (Base Case: West Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	5,754,924	4,945,452	4,078,342	2,930,461
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	474,762	401,919	332,635	236,807
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	110,645	92,551	74,266	52,827
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,403,517	1,195,651	966,369	698,277
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**9,723,728**	**8,615,453**	**7,431,492**	**5,898,252**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	322	285	246	195

VISUAL DOE อาคารทางเลือก A (Option A)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนต HC Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) กรณีมีด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ (Option A: North Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	5,076,770	4,387,698	3,666,628	2,695,488
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	416,673	357,090	303,249	220,688
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	94,755	79,792	65,494	48,006
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,216,684	1,042,617	854,468	635,375
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**8,784,762**	**7,847,077**	**6,869,719**	**5,579,437**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	291	259	227	185
(2) กรณีมีด้านยาวของอาคารทางทิศตะวันตก (Option A: West Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	5,340,093	4,602,178	3,818,372	2,771,224
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	439,140	372,281	314,074	225,585
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	100,568	84,067	68,535	49,405
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,289,643	1,100,985	895,826	654,902
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**9,149,324**	**8,139,391**	**7,076,687**	**5,680,996**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	303	269	234	188

(ต่อ)

ผลการทำแบบจำลอง VisualDOE คำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use)

VISUAL DOE อาคาร ทางเลือก B (Option B)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) กรณีหันด้านยาวของอาคาร ทางทิศเหนือ (Option B: North Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	4,022,342	3,561,626	3,098,682	2,639,930
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	336,292	298,586	263,552	230,156
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	76,227	66,107	56,369	46,316
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	929,296	818,686	701,348	574,251
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**7,344,037**	**6,724,885**	**6,099,831**	**5,470,533**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	**243**	**222**	**202**	**181**
(2) กรณีหันด้านยาวของอาคาร ทางทิศตะวันตก (Option B: West Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	4,203,579	3,708,904	3,205,499	2,480,965
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	349,246	309,086	270,823	205,552
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	79,862	69,046	58,437	44,716
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	978,910	858,798	729,256	576,899
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**7,591,477**	**6,925,714**	**6,243,895**	**5,288,012**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	**251**	**229**	**206**	**175**

VISUAL DOE อาคาร ทางเลือก C (Option C)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) กรณีหันด้านยาวของอาคาร ทางทิศเหนือ (Option C: North Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	4,445,685	3,871,222	3,290,231	2,703,601
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	365,954	320,146	276,282	234,499
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	80,182	68,455	57,305	46,437
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,044,332	902,703	752,185	591,888
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**7,916,033**	**7,142,406**	**6,355,883**	**5,556,305**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	**262**	**236**	**210**	**184**
(2) กรณีหันด้านยาวของอาคาร ทางทิศตะวันตก (Option C: West Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	4,658,138	4,041,142	3,410,702	2,566,540
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	381,079	332,257	284,914	211,174
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	84,417	71,815	59,717	44,905
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,102,132	949,092	785,099	600,092
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**8,205,646**	**7,374,186**	**6,520,312**	**5,402,591**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	**271**	**244**	**216**	**179**

(ต่อ)

ผลการทำแบบจำลอง VisualDOE คำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Electric End Use)

VISUAL DOE อาคาร ทางเลือก D (Option D)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) กรณีหันด้านยาวของอาคาร ทางทิศเหนือ (Option D: North Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	3,460,289	3,103,504	2,780,162	2,477,400
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	295,811	265,584	240,138	218,113
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	61,212	54,198	48,122	42,384
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	777,121	694,369	612,846	529,531
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	**6,574,313**	**6,097,535**	**5,661,148**	**5,247,308**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)	**217**	**202**	**187**	**174**
(2) กรณีหันด้านยาวของอาคาร ทางทิศตะวันตก (Option D: West Orientation)					
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบส่องสว่าง (Lights) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	1,319,920	1,319,920	1,319,920	1,319,920
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	659,960	659,960	659,960	659,960
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (Cool) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	3,593,269	3,211,370	2,841,061	2,304,638
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหอผึ่งเย็น (Tower) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	305,346	273,300	244,600	192,869
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊ม (Pumps) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	63,861	56,328	49,391	40,227
การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม (Fans) =	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	813,484	723,602	630,692	528,342
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	**(กิโลวัตต์ชม./ปี)**	**6,755,840**	**6,244,480**	**5,745,624**	**5,045,956**
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (Total Electric End Uses) =	**(กิโลวัตต์ชม./ตร.ม./ปี)**	**223**	**206**	**190**	**167**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ
ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าการลงทุนเริ่มต้น (ในปีที่ 0) ในการใช้ผนังกระจก (Curtain Wall) ของอาคาร

ค่าการลงทุนเริ่มต้นในการใช้ผนังกระจกของอาคารต้นแบบ (Base Case)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) ค่ากระจก	(บาท/ตร.ม.)	2,345	2,345	2,345	2,345
(2) ค่าติดตั้งกระจกอลูมิเนียม และอุปกรณ์ต่าง ๆ	(บาท/ตร.ม.)	5,985	6,120	7,140	7,310
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท/ตร.ม.)**	**8,330**	**8,465**	**9,485**	**9,655**
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท)**	**102,359,040**	**78,013,440**	**58,275,840**	**29,660,160**

ค่าการลงทุนเริ่มต้นในการใช้ผนังกระจกของอาคารทางเลือก A (Option A)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนต HC Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) ค่ากระจก	(บาท/ตร.ม.)	3,070	3,070	3,070	3,070
(2) ค่าติดตั้งกระจกอลูมิเนียม และอุปกรณ์ต่าง ๆ	(บาท/ตร.ม.)	5,985	6,120	7,140	7,310
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท/ตร.ม.)**	**9,055**	**9,190**	**10,210**	**10,380**
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท)**	**111,267,840**	**84,695,040**	**62,730,240**	**31,887,360**

ค่าการลงทุนเริ่มต้นในการใช้ผนังกระจกของอาคารทางเลือก B (Option B)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) ค่ากระจก	(บาท/ตร.ม.)	2,608	2,608	2,608	2,608
(2) ค่าติดตั้งกระจกอลูมิเนียม และอุปกรณ์ต่าง ๆ	(บาท/ตร.ม.)	5,985	6,120	7,140	7,310
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท/ตร.ม.)**	**8,593**	**8,728**	**9,748**	**9,918**
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท)**	**105,590,784**	**80,437,248**	**59,891,712**	**30,468,096**

ค่าการลงทุนเริ่มต้นในการใช้ผนังกระจกของอาคารทางเลือก C (Option C)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) ค่ากระจก	(บาท/ตร.ม.)	3,930	3,930	3,930	3,930
(2) ค่าติดตั้งกระจกอลูมิเนียม และอุปกรณ์ต่าง ๆ	(บาท/ตร.ม.)	6,190	6,340	7,390	7,545
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท/ตร.ม.)**	**10,120**	**10,270**	**11,320**	**11,475**
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท)**	**124,354,560**	**94,648,320**	**69,550,080**	**35,251,200**

ค่าการลงทุนเริ่มต้นในการใช้ผนังกระจกของอาคารทางเลือก D (Option D)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
(1) ค่ากระจก	(บาท/ตร.ม.)	7,365	7,365	7,365	7,365
(2) ค่าติดตั้งกระจกอลูมิเนียม และอุปกรณ์ต่าง ๆ	(บาท/ตร.ม.)	6,190	6,340	7,390	7,545
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท/ตร.ม.)**	**13,555**	**13,705**	**14,755**	**14,910**
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง	**(บาท)**	**166,563,840**	**126,305,280**	**90,654,720**	**45,803,520**

(ต่อ)

ค่าการลงทุนเริ่มต้น (ในปีที่ 0) ในการใช้ผนังกระจก (Curtain Wall) ของอาคาร

รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารต้นแบบ (Base Case)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร (กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ)	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	9,313,765	8,285,138	7,196,667	5,873,563
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (ค่าไฟฟ้า Ft = 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.)	(บาท)	34,460,931	30,655,011	26,627,668	21,732,183

รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ทางเลือก A (Option A)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนต HC Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร (กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ)	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	8,784,762	7,847,077	6,869,719	5,579,437
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (ค่าไฟฟ้า Ft = 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.)	(บาท)	32,503,619	29,034,185	25,417,960	20,643,917
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ภายในอาคารเทียบกับอาคารต้นแบบ	**(กิโลวัตต์ชม./ปี)**	**529,003**	**438,061**	**326,948**	**294,126**
รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเทียบกับอาคารต้นแบบ	**(บาท)**	**1,957,311**	**1,620,826**	**1,209,708**	**1,088,266**

รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ทางเลือก B (Option B)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร (กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ)	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	7,344,037	6,724,885	6,099,831	5,470,533
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (ค่าไฟฟ้า Ft = 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.)	(บาท)	27,172,937	24,882,075	22,569,375	20,240,972
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ภายในอาคารเทียบกับอาคารต้นแบบ	**(กิโลวัตต์ชม./ปี)**	**1,969,728**	**1,560,253**	**1,096,836**	**403,030**
รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเทียบกับอาคารต้นแบบ	**(บาท)**	**7,287,994**	**5,772,936**	**4,058,293**	**1,491,211**

รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ทางเลือก C (Option C)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตอิพซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร (กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ)	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	7,916,033	7,142,406	6,355,883	5,556,305
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (ค่าไฟฟ้า Ft = 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.)	(บาท)	29,289,322	26,426,902	23,516,767	20,558,329
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ภายในอาคารเทียบกับอาคารต้นแบบ	**(กิโลวัตต์ชม./ปี)**	**1,397,732**	**1,142,732**	**840,784**	**317,258**
รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเทียบกับอาคารต้นแบบ	**(บาท)**	**5,171,608**	**4,228,108**	**3,110,901**	**1,173,855**

รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ทางเลือก D (Option D)		อาคาร 1	อาคาร 2	อาคาร 3	อาคาร 4
กระจกลามิเนตอิพซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K					
อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	WWR (%)	80	60	40	20
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร (กรณีหันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ)	(กิโลวัตต์ชม./ปี)	6,574,313	6,097,535	5,661,148	5,247,308
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (ค่าไฟฟ้า Ft = 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.)	(บาท)	24,324,958	22,560,880	20,946,248	19,415,040
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ภายในอาคารเทียบกับอาคารต้นแบบ	**(กิโลวัตต์ชม./ปี)**	**2,739,452**	**2,187,603**	**1,535,519**	**626,255**
รายได้จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเทียบกับอาคารต้นแบบ	**(บาท)**	**10,135,972**	**8,094,131**	**5,681,420**	**2,317,144**

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 80%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.**: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		*สูตรการคำนวณหา WACC:*
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0315 + 0.06
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	= 0.0915 หรือ 9.15%
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	3,434,957	6,869,914	10,304,870	13,739,827	17,174,784	20,609,741	24,044,698	27,479,654	30,914,611	34,349,568	37,784,525	41,219,482	44,654,438	48,089,395	51,524,352	54,959,309	58,394,266	61,829,222	65,264,179	68,699,136
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	68,699,136	65,264,179	61,829,222	58,394,266	54,959,309	51,524,352	48,089,395	44,654,438	41,219,482	37,784,525	34,349,568	30,914,611	27,479,654	24,044,698	20,609,741	17,174,784	13,739,827	10,304,870	6,869,914	3,434,957	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 80%	(บาท)		10,135,972	10,440,052	10,753,253	11,075,851	11,408,126	11,750,370	12,102,881	12,465,968	12,839,947	13,225,145	13,621,899	14,030,556	14,451,473	14,885,017	15,331,568	15,791,515	16,265,260	16,753,218	17,255,815	17,773,489

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (80%)	D (80%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		102,359,040	166,563,840
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		7,165,133	11,659,469
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	109,524,173	178,223,309
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		68,699,136

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (80%)	D (80%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

218

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 80%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	**ปีที่**	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	**พ.ศ.**	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Initial Investment)		(68,699,136)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			10,135,972	10,440,052	10,753,253	11,075,851	11,408,126	11,750,370	12,102,881	12,465,968	12,839,947	13,225,145	13,621,899	14,030,556	14,451,473	14,885,017	15,331,568	15,791,515	16,265,260	16,753,218	17,255,815	17,773,489
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			6,701,016	7,005,095	7,318,296	7,640,894	7,973,169	8,315,413	8,667,924	9,031,011	9,404,990	9,790,188	10,186,943	10,595,600	11,016,516	11,450,060	11,896,611	12,356,558	12,830,303	13,318,261	13,820,858	14,338,532
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			6,701,016	7,005,095	7,318,296	7,640,894	7,973,169	8,315,413	8,667,924	9,031,011	9,404,990	9,790,188	10,186,943	10,595,600	11,016,516	11,450,060	11,896,611	12,356,558	12,830,303	13,318,261	13,820,858	14,338,532
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(2,010,305)	(2,101,528)	(2,195,489)	(2,292,268)	(2,391,951)	(2,494,624)	(2,600,377)	(2,709,303)	(2,821,497)	(2,937,056)	(3,056,083)	(3,178,680)	(3,304,955)	(3,435,018)	(3,568,983)	(3,706,967)	(3,849,091)	(3,995,478)	(4,146,257)	(4,301,560)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			4,690,711	4,903,566	5,122,807	5,348,626	5,581,219	5,820,789	6,067,547	6,321,708	6,583,493	6,853,132	7,130,860	7,416,920	7,711,561	8,015,042	8,327,628	8,649,591	8,981,212	9,322,783	9,674,600	10,036,973
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957
			8,125,668	8,338,523	8,557,764	8,783,583	9,016,175	9,255,746	9,502,504	9,756,664	10,018,450	10,288,089	10,565,817	10,851,876	11,146,518	11,449,999	11,762,584	12,084,547	12,416,169	12,757,740	13,109,557	13,471,929
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						13,471,929
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(68,699,136)	8,125,668	8,338,523	8,557,764	8,783,583	9,016,175	9,255,746	9,502,504	9,756,664	10,018,450	10,288,089	10,565,817	10,851,876	11,146,518	11,449,999	11,762,584	12,084,547	12,416,169	12,757,740	13,109,557	13,471,929
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(68,699,136)	7,451,237	7,021,036	6,606,594	6,218,776	5,860,514	5,516,425	5,197,870	4,897,845	4,608,487	4,341,573	4,099,537	3,863,268	3,633,765	3,423,550	3,234,711	3,045,306	2,868,135	2,704,641	2,543,254	2,398,003
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(68,699,136)	(61,247,899)	(54,226,862)	(47,620,268)	(41,401,492)	(35,540,978)	(30,024,553)	(24,826,684)	(19,928,838)	(15,320,351)	(10,978,778)	(6,879,241)	(3,015,973)	617,792							

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		12 ปี	10 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	20,851,794	**บาท**
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	13% (< 15%)	

219

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 60%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Very Low-E **(เขียวอมฟ้า) หนา** 30.76 **มม.**: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:		*สูตรการคำนวณหา WACC:*
สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.06
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0915 หรือ 9.15%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	2,583,613	5,167,227	7,750,840	10,334,454	12,918,067	15,501,681	18,085,294	20,668,908	23,252,521	25,836,134	28,419,748	31,003,361	33,586,975	36,170,588	38,754,202	41,337,815	43,921,428	46,505,042	49,088,655	51,672,269
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	51,672,269	49,088,655	46,505,042	43,921,428	41,337,815	38,754,202	36,170,588	33,586,975	31,003,361	28,419,748	25,836,134	23,252,521	20,668,908	18,085,294	15,501,681	12,918,067	10,334,454	7,750,840	5,167,227	2,583,613	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 60%	(บาท)		8,094,131	8,336,955	8,587,064	8,844,676	9,110,016	9,383,316	9,664,816	9,954,760	10,253,403	10,561,005	10,877,835	11,204,170	11,540,296	11,886,504	12,243,100	12,610,393	12,988,704	13,378,365	13,779,716	14,193,108

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (60%)	D (60%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		78,013,440	126,305,280
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		5,460,941	8,841,370
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	83,474,381	135,146,650
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		51,672,269

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (60%)	D (60%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

220

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 60%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(51,672,269)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			8,094,131	8,336,955	8,587,064	8,844,676	9,110,016	9,383,316	9,664,816	9,954,760	10,253,403	10,561,005	10,877,835	11,204,170	11,540,296	11,886,504	12,243,100	12,610,393	12,988,704	13,378,365	13,779,716	14,193,108
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			5,510,518	5,753,342	6,003,450	6,261,062	6,526,402	6,799,703	7,081,202	7,371,147	7,669,790	7,977,392	8,294,222	8,620,557	8,956,682	9,302,891	9,659,486	10,026,779	10,405,091	10,794,752	11,196,103	11,609,494
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			5,510,518	5,753,342	6,003,450	6,261,062	6,526,402	6,799,703	7,081,202	7,371,147	7,669,790	7,977,392	8,294,222	8,620,557	8,956,682	9,302,891	9,659,486	10,026,779	10,405,091	10,794,752	11,196,103	11,609,494
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,653,155)	(1,726,002)	(1,801,035)	(1,878,319)	(1,957,921)	(2,039,911)	(2,124,361)	(2,211,344)	(2,300,937)	(2,393,218)	(2,488,267)	(2,586,167)	(2,687,005)	(2,790,867)	(2,897,846)	(3,008,034)	(3,121,527)	(3,238,426)	(3,358,831)	(3,482,848)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			3,857,362	4,027,339	4,202,415	4,382,744	4,568,482	4,759,792	4,956,842	5,159,803	5,368,853	5,584,174	5,805,955	6,034,390	6,269,677	6,512,024	6,761,640	7,018,745	7,283,564	7,556,326	7,837,272	8,126,646
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613
			6,440,976	6,610,953	6,786,029	6,966,357	7,152,095	7,343,405	7,540,455	7,743,416	7,952,466	8,167,788	8,389,569	8,618,003	8,853,291	9,095,637	9,345,254	9,602,359	9,867,177	10,139,940	10,420,886	10,710,260
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						10,710,260
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(51,672,269)	6,440,976	6,610,953	6,786,029	6,966,357	7,152,095	7,343,405	7,540,455	7,743,416	7,952,466	8,167,788	8,389,569	8,618,003	8,853,291	9,095,637	9,345,254	9,602,359	9,867,177	10,139,940	10,420,886	10,710,260
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(51,672,269)	5,906,375	5,566,422	5,238,814	4,932,181	4,648,862	4,376,670	4,124,629	3,887,195	3,658,134	3,446,806	3,255,153	3,068,009	2,886,173	2,719,595	2,569,945	2,419,794	2,279,318	2,149,667	2,021,652	1,906,426
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(51,672,269)	(45,765,894)	(40,199,472)	(34,960,658)	(30,028,477)	(25,379,615)	(21,002,946)	(16,878,317)	(12,991,122)	(9,332,987)	(5,886,181)	(2,631,028)	436,981								

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		11 ปี	10 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	19,402,576	บาท
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	13% (< 15%)	

221

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:	
ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:		*สูตรการคำนวณหา WACC:*
สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.06
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0915 หรือ 9.15%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	86,449	172,898	259,347	345,797	432,246	518,695	605,144	691,593	778,042	864,492	950,941	1,037,390	1,123,839	1,210,288	1,296,737	1,383,186	1,469,636	1,556,085	1,642,534	1,728,983
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	1,728,983	1,642,534	1,556,085	1,469,636	1,383,186	1,296,737	1,210,288	1,123,839	1,037,390	950,941	864,492	778,042	691,593	605,144	518,695	432,246	345,797	259,347	172,898	86,449	0

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		4,058,293	4,180,042	4,305,443	4,434,607	4,567,645	4,704,674	4,845,814	4,991,189	5,140,924	5,295,152	5,454,007	5,617,627	5,786,156	5,959,740	6,138,533	6,322,689	6,512,369	6,707,740	6,908,973	7,116,242

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (40%)	B (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	59,891,712
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	4,192,420
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	64,084,132
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		1,728,983

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	B (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

222

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	**ปีที่**	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	**พ.ศ.**	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Initial Investment)		(1,728,983)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			4,058,293	4,180,042	4,305,443	4,434,607	4,567,645	4,704,674	4,845,814	4,991,189	5,140,924	5,295,152	5,454,007	5,617,627	5,786,156	5,959,740	6,138,533	6,322,689	6,512,369	6,707,740	6,908,973	7,116,242
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			3,971,844	4,093,593	4,218,994	4,348,157	4,481,196	4,618,225	4,759,365	4,904,740	5,054,475	5,208,703	5,367,558	5,531,178	5,699,707	5,873,291	6,052,083	6,236,239	6,425,920	6,621,291	6,822,523	7,029,793
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			3,971,844	4,093,593	4,218,994	4,348,157	4,481,196	4,618,225	4,759,365	4,904,740	5,054,475	5,208,703	5,367,558	5,531,178	5,699,707	5,873,291	6,052,083	6,236,239	6,425,920	6,621,291	6,822,523	7,029,793
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,191,553)	(1,228,078)	(1,265,698)	(1,304,447)	(1,344,359)	(1,385,467)	(1,427,810)	(1,471,422)	(1,516,343)	(1,562,611)	(1,610,267)	(1,659,353)	(1,709,912)	(1,761,987)	(1,815,625)	(1,870,872)	(1,927,776)	(1,986,387)	(2,046,757)	(2,108,938)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			2,780,291	2,865,515	2,953,296	3,043,710	3,136,837	3,232,757	3,331,556	3,433,318	3,538,133	3,646,092	3,757,290	3,871,824	3,989,795	4,111,304	4,236,458	4,365,368	4,498,144	4,634,904	4,775,766	4,920,855
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449
			2,866,740	2,951,964	3,039,745	3,130,159	3,223,286	3,319,207	3,418,005	3,519,767	3,624,582	3,732,541	3,843,739	3,958,274	4,076,244	4,197,753	4,322,908	4,451,817	4,584,593	4,721,353	4,862,216	5,007,304
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						5,007,304
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(1,728,983)	2,866,740	2,951,964	3,039,745	3,130,159	3,223,286	3,319,207	3,418,005	3,519,767	3,624,582	3,732,541	3,843,739	3,958,274	4,076,244	4,197,753	4,322,908	4,451,817	4,584,593	4,721,353	4,862,216	5,007,304
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงกา**		(1,728,983)	2,628,801	2,485,554	2,346,683	2,216,153	2,095,136	1,978,247	1,869,649	1,766,923	1,667,308	1,575,132	1,491,371	1,409,145	1,328,855	1,255,128	1,188,800	1,121,858	1,059,041	1,000,927	943,270	891,300
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(1,728,983)	899,818																			

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		0 ปี	8 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	30,596,267	**บาท**
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	169%	(> 15%)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

223

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)

= 0.0315 + 0.06

= 0.0915 หรือ 9.15%

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	603,172	1,206,344	1,809,516	2,412,687	3,015,859	3,619,031	4,222,203	4,825,375	5,428,547	6,031,718	6,634,890	7,238,062	7,841,234	8,444,406	9,047,578	9,650,749	10,253,921	10,857,093	11,460,265	12,063,437
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	12,063,437	11,460,265	10,857,093	10,253,921	9,650,749	9,047,578	8,444,406	7,841,234	7,238,062	6,634,890	6,031,718	5,428,547	4,825,375	4,222,203	3,619,031	3,015,859	2,412,687	1,809,516	1,206,344	603,172	0

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		3,110,901	3,204,228	3,300,355	3,399,365	3,501,346	3,606,387	3,714,578	3,826,016	3,940,796	4,059,020	4,180,791	4,306,214	4,435,401	4,568,463	4,705,517	4,846,682	4,992,083	5,141,845	5,296,100	5,454,983

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (40%)	C (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	69,550,080
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	4,868,506
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	74,418,586
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		12,063,437

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	C (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

224

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Initial Investment)		(12,063,437)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			3,110,901	3,204,228	3,300,355	3,399,365	3,501,346	3,606,387	3,714,578	3,826,016	3,940,796	4,059,020	4,180,791	4,306,214	4,435,401	4,568,463	4,705,517	4,846,682	4,992,083	5,141,845	5,296,100	5,454,983
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			2,507,729	2,601,056	2,697,183	2,796,193	2,898,174	3,003,215	3,111,406	3,222,844	3,337,624	3,455,848	3,577,619	3,703,042	3,832,229	3,965,291	4,102,345	4,243,510	4,388,911	4,538,673	4,692,929	4,851,812
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			2,507,729	2,601,056	2,697,183	2,796,193	2,898,174	3,003,215	3,111,406	3,222,844	3,337,624	3,455,848	3,577,619	3,703,042	3,832,229	3,965,291	4,102,345	4,243,510	4,388,911	4,538,673	4,692,929	4,851,812
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(752,319)	(780,317)	(809,155)	(838,858)	(869,452)	(900,964)	(933,422)	(966,853)	(1,001,287)	(1,036,754)	(1,073,286)	(1,110,913)	(1,149,669)	(1,189,587)	(1,230,703)	(1,273,053)	(1,316,673)	(1,361,602)	(1,407,879)	(1,455,543)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,755,410	1,820,739	1,888,028	1,957,335	2,028,722	2,102,250	2,177,984	2,255,991	2,336,337	2,419,094	2,504,333	2,592,130	2,682,560	2,775,704	2,871,641	2,970,457	3,072,237	3,177,071	3,285,050	3,396,268
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172
			2,358,582	2,423,911	2,491,200	2,560,507	2,631,894	2,705,422	2,781,156	2,859,162	2,939,509	3,022,266	3,107,505	3,195,302	3,285,732	3,378,875	3,474,813	3,573,629	3,675,409	3,780,243	3,888,222	3,999,440
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						3,999,440
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(12,063,437)	2,358,582	2,423,911	2,491,200	2,560,507	2,631,894	2,705,422	2,781,156	2,859,162	2,939,509	3,022,266	3,107,505	3,195,302	3,285,732	3,378,875	3,474,813	3,573,629	3,675,409	3,780,243	3,888,222	3,999,440
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงกา**		(12,063,437)	2,162,820	2,040,933	1,923,206	1,812,839	1,710,731	1,612,432	1,521,293	1,435,300	1,352,174	1,275,396	1,205,712	1,137,527	1,071,149	1,010,284	955,574	900,555	849,020	801,412	754,315	711,900
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(12,063,437)	(9,900,617)	(7,859,684)	(5,936,478)	(4,123,639)	(2,412,907)	(800,476)	720,817													

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		6 ปี	6 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	14,185,958	บาท
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	22% (> 15%)	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

225

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Very Low-E **(เขียวอมฟ้า) หนา** 30.76 **มม.**: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.06
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0915 หรือ 9.15%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	1,732,270	3,464,540	5,196,810	6,929,080	8,661,350	10,393,620	12,125,891	13,858,161	15,590,431	17,322,701	19,054,971	20,787,241	22,519,511	24,251,781	25,984,051	27,716,321	29,448,591	31,180,861	32,913,132	34,645,402
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	34,645,402	32,913,132	31,180,861	29,448,591	27,716,321	25,984,051	24,251,781	22,519,511	20,787,241	19,054,971	17,322,701	15,590,431	13,858,161	12,125,891	10,393,620	8,661,350	6,929,080	5,196,810	3,464,540	1,732,270	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		5,681,420	5,851,863	6,027,419	6,208,241	6,394,489	6,586,323	6,783,913	6,987,430	7,197,053	7,412,965	7,635,354	7,864,414	8,100,347	8,343,357	8,593,658	8,851,468	9,117,012	9,390,522	9,672,238	9,962,405

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (40%)	D (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	90,654,720
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	6,345,830
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	97,000,550
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		34,645,402

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	D (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

226

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(34,645,402)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			5,681,420	5,851,863	6,027,419	6,208,241	6,394,489	6,586,323	6,783,913	6,987,430	7,197,053	7,412,965	7,635,354	7,864,414	8,100,347	8,343,357	8,593,658	8,851,468	9,117,012	9,390,522	9,672,238	9,962,405
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			3,949,150	4,119,593	4,295,149	4,475,971	4,662,219	4,854,053	5,051,643	5,255,160	5,464,783	5,680,695	5,903,084	6,132,144	6,368,077	6,611,087	6,861,388	7,119,198	7,384,742	7,658,252	7,939,968	8,230,135
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			3,949,150	4,119,593	4,295,149	4,475,971	4,662,219	4,854,053	5,051,643	5,255,160	5,464,783	5,680,695	5,903,084	6,132,144	6,368,077	6,611,087	6,861,388	7,119,198	7,384,742	7,658,252	7,939,968	8,230,135
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,184,745)	(1,235,878)	(1,288,545)	(1,342,791)	(1,398,666)	(1,456,216)	(1,515,493)	(1,576,548)	(1,639,435)	(1,704,208)	(1,770,925)	(1,839,643)	(1,910,423)	(1,983,326)	(2,058,416)	(2,135,759)	(2,215,422)	(2,297,476)	(2,381,990)	(2,469,040)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			2,764,405	2,883,715	3,006,604	3,133,180	3,263,553	3,397,837	3,536,150	3,678,612	3,825,348	3,976,486	4,132,159	4,292,501	4,457,654	4,627,761	4,802,972	4,983,438	5,169,319	5,360,776	5,557,977	5,761,094
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270
			4,496,675	4,615,985	4,738,874	4,865,450	4,995,823	5,130,107	5,268,420	5,410,882	5,557,618	5,708,756	5,864,429	6,024,771	6,189,924	6,360,031	6,535,242	6,715,708	6,901,589	7,093,046	7,290,247	7,493,364
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						7,493,364
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(34,645,402)	4,496,675	4,615,985	4,738,874	4,865,450	4,995,823	5,130,107	5,268,420	5,410,882	5,557,618	5,708,756	5,864,429	6,024,771	6,189,924	6,360,031	6,535,242	6,715,708	6,901,589	7,093,046	7,290,247	7,493,364
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(34,645,402)	4,123,451	3,886,659	3,658,411	3,444,739	3,247,285	3,057,544	2,881,826	2,716,263	2,556,504	2,409,095	2,275,398	2,144,819	2,017,915	1,901,649	1,797,191	1,692,359	1,594,267	1,503,726	1,414,308	1,333,819
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(34,645,402)	(30,521,950)	(26,635,291)	(22,976,880)	(19,532,142)	(16,284,857)	(13,227,313)	(10,345,487)	(7,629,224)	(5,072,719)	(2,663,624)	(388,226)	1,756,593								

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		11 ปี	2 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	15,020,931	**บาท**
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	14% (< 15%)	

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก A เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option A vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): **กระจกลามิเนต** HC Low-E **เขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:	
ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital)
เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:		*สูตรการคำนวณหา WACC:*
สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.06
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0915 หรือ 9.15%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	119,155	238,310	357,466	476,621	595,776	714,931	834,086	953,242	1,072,397	1,191,552	1,310,707	1,429,862	1,549,018	1,668,173	1,787,328	1,906,483	2,025,638	2,144,794	2,263,949	2,383,104
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	2,383,104	2,263,949	2,144,794	2,025,638	1,906,483	1,787,328	1,668,173	1,549,018	1,429,862	1,310,707	1,191,552	1,072,397	953,242	834,086	714,931	595,776	476,621	357,466	238,310	119,155	0

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,088,266	1,120,914	1,154,542	1,189,178	1,224,853	1,261,599	1,299,447	1,338,430	1,378,583	1,419,941	1,462,539	1,506,415	1,551,607	1,598,156	1,646,100	1,695,483	1,746,348	1,798,738	1,852,700	1,908,281

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (20%)	A (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	31,887,360
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,232,115
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	34,119,475
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		2,383,104

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	A (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

228

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก A เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option A vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): กระจกลามิเนต HC Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Initial Investment)		(2,383,104)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,088,266	1,120,914	1,154,542	1,189,178	1,224,853	1,261,599	1,299,447	1,338,430	1,378,583	1,419,941	1,462,539	1,506,415	1,551,607	1,598,156	1,646,100	1,695,483	1,746,348	1,798,738	1,852,700	1,908,281
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			969,111	1,001,759	1,035,386	1,070,023	1,105,698	1,142,444	1,180,292	1,219,275	1,259,428	1,300,785	1,343,384	1,387,260	1,432,452	1,479,000	1,526,945	1,576,328	1,627,193	1,679,583	1,733,545	1,789,126
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			969,111	1,001,759	1,035,386	1,070,023	1,105,698	1,142,444	1,180,292	1,219,275	1,259,428	1,300,785	1,343,384	1,387,260	1,432,452	1,479,000	1,526,945	1,576,328	1,627,193	1,679,583	1,733,545	1,789,126
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(290,733)	(300,528)	(310,616)	(321,007)	(331,709)	(342,733)	(354,087)	(365,782)	(377,828)	(390,236)	(403,015)	(416,178)	(429,736)	(443,700)	(458,084)	(472,898)	(488,158)	(503,875)	(520,064)	(536,738)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			678,378	701,231	724,770	749,016	773,989	799,711	826,204	853,492	881,600	910,550	940,368	971,082	1,002,717	1,035,300	1,068,862	1,103,430	1,139,035	1,175,708	1,213,482	1,252,388
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155
			797,533	820,386	843,926	868,171	893,144	918,866	945,359	972,648	1,000,755	1,029,705	1,059,524	1,090,237	1,121,872	1,154,455	1,188,017	1,222,585	1,258,190	1,294,863	1,332,637	1,371,544
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						1,371,544
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(2,383,104)	797,533	820,386	843,926	868,171	893,144	918,866	945,359	972,648	1,000,755	1,029,705	1,059,524	1,090,237	1,121,872	1,154,455	1,188,017	1,222,585	1,258,190	1,294,863	1,332,637	1,371,544
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(2,383,104)	731,338	690,765	651,511	614,665	580,543	547,644	517,112	488,269	460,347	434,535	411,095	388,124	365,730	345,182	326,705	308,091	290,642	274,511	258,532	244,135
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(2,383,104)	(1,651,766)	(961,001)	(309,490)	305,175																

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		3 ปี	6 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	6,548,018	บาท
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	36% (> 15%)	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

229

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K**

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K**

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.06
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0915 หรือ 9.15%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	43,225	86,449	129,674	172,898	216,123	259,347	302,572	345,797	389,021	432,246	475,470	518,695	561,919	605,144	648,369	691,593	734,818	778,042	821,267	864,492
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	864,492	821,267	778,042	734,818	691,593	648,369	605,144	561,919	518,695	475,470	432,246	389,021	345,797	302,572	259,347	216,123	172,898	129,674	86,449	43,225	0

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,491,211	1,535,947	1,582,026	1,629,487	1,678,371	1,728,722	1,780,584	1,834,001	1,889,021	1,945,692	2,004,063	2,064,185	2,126,110	2,189,894	2,255,590	2,323,258	2,392,956	2,464,745	2,538,687	2,614,848

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (20%)	B (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	30,468,096
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,132,767
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	32,600,863
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		864,492

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	B (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

230

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	**ปีที่**	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	**พ.ศ.**	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Initial Investment)		(864,492)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,491,211	1,535,947	1,582,026	1,629,487	1,678,371	1,728,722	1,780,584	1,834,001	1,889,021	1,945,692	2,004,063	2,064,185	2,126,110	2,189,894	2,255,590	2,323,258	2,392,956	2,464,745	2,538,687	2,614,848
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			1,447,986	1,492,723	1,538,801	1,586,262	1,635,147	1,685,498	1,737,359	1,790,777	1,845,797	1,902,468	1,960,838	2,020,960	2,082,886	2,146,669	2,212,366	2,280,034	2,349,731	2,421,520	2,495,462	2,571,623
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			1,447,986	1,492,723	1,538,801	1,586,262	1,635,147	1,685,498	1,737,359	1,790,777	1,845,797	1,902,468	1,960,838	2,020,960	2,082,886	2,146,669	2,212,366	2,280,034	2,349,731	2,421,520	2,495,462	2,571,623
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(434,396)	(447,817)	(461,640)	(475,879)	(490,544)	(505,649)	(521,208)	(537,233)	(553,739)	(570,740)	(588,251)	(606,288)	(624,866)	(644,001)	(663,710)	(684,010)	(704,919)	(726,456)	(748,639)	(771,487)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,013,590	1,044,906	1,077,161	1,110,383	1,144,603	1,179,848	1,216,152	1,253,544	1,292,058	1,331,727	1,372,587	1,414,672	1,458,020	1,502,668	1,548,656	1,596,024	1,644,812	1,695,064	1,746,824	1,800,136
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225
			1,056,815	1,088,131	1,120,385	1,153,608	1,187,827	1,223,073	1,259,376	1,296,768	1,335,282	1,374,952	1,415,811	1,457,897	1,501,245	1,545,893	1,591,881	1,639,248	1,688,036	1,738,289	1,790,048	1,843,361
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						1,843,361
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(864,492)	1,056,815	1,088,131	1,120,385	1,153,608	1,187,827	1,223,073	1,259,376	1,296,768	1,335,282	1,374,952	1,415,811	1,457,897	1,501,245	1,545,893	1,591,881	1,639,248	1,688,036	1,738,289	1,790,048	1,843,361
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(864,492)	969,099	916,206	864,938	816,754	772,088	728,951	688,879	650,978	614,230	580,230	549,335	519,011	489,406	462,222	437,767	413,091	389,936	368,517	347,269	328,118
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(864,492)	104,608																			

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		0 ปี	11 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	11,044,732	**บาท**
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	125% (> 15%)	

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Low-E (Argon) **(เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.**: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.06
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0915 หรือ 9.15%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	299,121	598,241	897,362	1,196,483	1,495,603	1,794,724	2,093,844	2,392,965	2,692,086	2,991,206	3,290,327	3,589,448	3,888,568	4,187,689	4,486,810	4,785,930	5,085,051	5,384,172	5,683,292	5,982,413
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	5,982,413	5,683,292	5,384,172	5,085,051	4,785,930	4,486,810	4,187,689	3,888,568	3,589,448	3,290,327	2,991,206	2,692,086	2,392,965	2,093,844	1,794,724	1,495,603	1,196,483	897,362	598,241	299,121	0

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,173,855	1,209,070	1,245,342	1,282,703	1,321,184	1,360,819	1,401,644	1,443,693	1,487,004	1,531,614	1,577,562	1,624,889	1,673,636	1,723,845	1,775,560	1,828,827	1,883,692	1,940,203	1,998,409	2,058,361

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (20%)	C (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	35,251,200
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,467,584
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	37,718,784
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		5,982,413

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	C (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

232

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(5,982,413)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,173,855	1,209,070	1,245,342	1,282,703	1,321,184	1,360,819	1,401,644	1,443,693	1,487,004	1,531,614	1,577,562	1,624,889	1,673,636	1,723,845	1,775,560	1,828,827	1,883,692	1,940,203	1,998,409	2,058,361
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			874,734	909,950	946,222	983,582	1,022,063	1,061,699	1,102,523	1,144,572	1,187,883	1,232,493	1,278,442	1,325,769	1,374,515	1,424,724	1,476,440	1,529,707	1,584,571	1,641,082	1,699,288	1,759,241
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			874,734	909,950	946,222	983,582	1,022,063	1,061,699	1,102,523	1,144,572	1,187,883	1,232,493	1,278,442	1,325,769	1,374,515	1,424,724	1,476,440	1,529,707	1,584,571	1,641,082	1,699,288	1,759,241
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(262,420)	(272,985)	(283,867)	(295,075)	(306,619)	(318,510)	(330,757)	(343,372)	(356,365)	(369,748)	(383,533)	(397,731)	(412,355)	(427,417)	(442,932)	(458,912)	(475,371)	(492,325)	(509,786)	(527,772)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			612,314	636,965	662,355	688,507	715,444	743,189	771,766	801,201	831,518	862,745	894,909	928,038	962,161	997,307	1,033,508	1,070,795	1,109,200	1,148,758	1,189,502	1,231,468
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121
			911,434	936,085	961,476	987,628	1,014,565	1,042,310	1,070,887	1,100,321	1,130,639	1,161,866	1,194,030	1,227,159	1,261,281	1,296,428	1,332,628	1,369,915	1,408,321	1,447,878	1,488,622	1,530,589
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						1,530,589
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(5,982,413)	911,434	936,085	961,476	987,628	1,014,565	1,042,310	1,070,887	1,100,321	1,130,639	1,161,866	1,194,030	1,227,159	1,261,281	1,296,428	1,332,628	1,369,915	1,408,321	1,447,878	1,488,622	1,530,589
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(5,982,413)	835,785	788,184	742,259	699,241	659,467	621,217	585,775	552,361	520,094	490,307	463,284	436,868	411,178	387,632	366,473	345,219	325,322	306,950	288,793	272,445
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(5,982,413)	(5,146,627)	(4,358,444)	(3,616,184)	(2,916,944)	(2,257,476)	(1,636,260)	(1,050,485)	(498,124)	21,970											

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)	8 ปี	11 เดือน
NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ		4,118,295 บาท
IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ		17% (> 15%)

233

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 9% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	15%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 3% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:		*สูตรการคำนวณหา WACC:*
สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.15)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.06
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0915 หรือ 9.15%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	15%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	863,670	1,727,340	2,591,009	3,454,679	4,318,349	5,182,019	6,045,688	6,909,358	7,773,028	8,636,698	9,500,367	10,364,037	11,227,707	12,091,377	12,955,046	13,818,716	14,682,386	15,546,056	16,409,725	17,273,395
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	17,273,395	16,409,725	15,546,056	14,682,386	13,818,716	12,955,046	12,091,377	11,227,707	10,364,037	9,500,367	8,636,698	7,773,028	6,909,358	6,045,688	5,182,019	4,318,349	3,454,679	2,591,009	1,727,340	863,670	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.81	3.93	4.04	4.16	4.29	4.42	4.55	4.69	4.83	4.97	5.12	5.28	5.43	5.60	5.76	5.94	6.12	6.30	6.49
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		2,317,144	2,386,658	2,458,258	2,532,005	2,607,965	2,686,204	2,766,791	2,849,794	2,935,288	3,023,347	3,114,047	3,207,469	3,303,693	3,402,803	3,504,887	3,610,034	3,718,335	3,829,885	3,944,782	4,063,125

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (20%)	D (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	45,803,520
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	3,206,246
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	49,009,766
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		17,273,395

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	D (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

234

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่น่าจะเป็น (Most Likely Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(17,273,395)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			2,317,144	2,386,658	2,458,258	2,532,005	2,607,965	2,686,204	2,766,791	2,849,794	2,935,288	3,023,347	3,114,047	3,207,469	3,303,693	3,402,803	3,504,887	3,610,034	3,718,335	3,829,885	3,944,782	4,063,125
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			1,453,474	1,522,988	1,594,588	1,668,336	1,744,296	1,822,535	1,903,121	1,986,124	2,071,618	2,159,677	2,250,377	2,343,799	2,440,023	2,539,134	2,641,218	2,746,364	2,854,665	2,966,215	3,081,112	3,199,455
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			1,453,474	1,522,988	1,594,588	1,668,336	1,744,296	1,822,535	1,903,121	1,986,124	2,071,618	2,159,677	2,250,377	2,343,799	2,440,023	2,539,134	2,641,218	2,746,364	2,854,665	2,966,215	3,081,112	3,199,455
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(436,042)	(456,896)	(478,376)	(500,501)	(523,289)	(546,760)	(570,936)	(595,837)	(621,485)	(647,903)	(675,113)	(703,140)	(732,007)	(761,740)	(792,365)	(823,909)	(856,400)	(889,865)	(924,334)	(959,837)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,017,432	1,066,092	1,116,211	1,167,835	1,221,007	1,275,774	1,332,185	1,390,287	1,450,133	1,511,774	1,575,264	1,640,659	1,708,016	1,777,394	1,848,852	1,922,455	1,998,266	2,076,351	2,156,778	2,239,619
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670
			1,881,101	1,929,761	1,979,881	2,031,505	2,084,677	2,139,444	2,195,854	2,253,957	2,313,803	2,375,444	2,438,934	2,504,329	2,571,686	2,641,063	2,712,522	2,786,125	2,861,935	2,940,021	3,020,448	3,103,289
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						3,103,289
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(17,273,395)	1,881,101	1,929,761	1,979,881	2,031,505	2,084,677	2,139,444	2,195,854	2,253,957	2,313,803	2,375,444	2,438,934	2,504,329	2,571,686	2,641,063	2,712,522	2,786,125	2,861,935	2,940,021	3,020,448	3,103,289
PVIF (9%, 20 ปี)		1.000	0.917	0.842	0.772	0.708	0.650	0.596	0.547	0.502	0.460	0.422	0.388	0.356	0.326	0.299	0.275	0.252	0.231	0.212	0.194	0.178
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(17,273,395)	1,724,970	1,624,859	1,528,468	1,438,305	1,355,040	1,275,109	1,201,132	1,131,486	1,064,349	1,002,437	946,306	891,541	838,370	789,678	745,944	702,103	661,107	623,284	585,967	552,385
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(17,273,395)	(15,548,425)	(13,923,566)	(12,395,098)	(10,956,793)	(9,601,753)	(8,326,644)	(7,125,512)	(5,994,025)	(4,929,676)	(3,927,239)	(2,980,933)	(2,089,392)	(1,251,022)	(461,344)	284,599					

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		14 ปี	7 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	3,413,233 บาท	
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	11% (< 15%)	

235

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 80%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Very Low-E **(เขียวอมฟ้า) หนา** 30.76 **มม.**: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)

= 0.0315 + 0.048

= 0.0795 หรือ 7.95%

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	3,434,957	6,869,914	10,304,870	13,739,827	17,174,784	20,609,741	24,044,698	27,479,654	30,914,611	34,349,568	37,784,525	41,219,482	44,654,438	48,089,395	51,524,352	54,959,309	58,394,266	61,829,222	65,264,179	68,699,136
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	68,699,136	65,264,179	61,829,222	58,394,266	54,959,309	51,524,352	48,089,395	44,654,438	41,219,482	37,784,525	34,349,568	30,914,611	27,479,654	24,044,698	20,609,741	17,174,784	13,739,827	10,304,870	6,869,914	3,434,957	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 80%	(บาท)		10,135,972	10,642,771	11,174,910	11,733,655	12,320,338	12,936,355	13,583,172	14,262,331	14,975,448	15,724,220	16,510,431	17,335,953	18,202,750	19,112,888	20,068,532	21,071,959	22,125,557	23,231,834	24,393,426	25,613,097

เงินลงทุนเริ่มแรก (Initial Investment)		Base (80%)	D (80%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		102,359,040	166,563,840
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		7,165,133	11,659,469
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	109,524,173	178,223,309
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		68,699,136

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ (Terminal Cash Flow)		Base (80%)	D (80%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

236

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 80%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(68,699,136)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			10,135,972	10,642,771	11,174,910	11,733,655	12,320,338	12,936,355	13,583,172	14,262,331	14,975,448	15,724,220	16,510,431	17,335,953	18,202,750	19,112,888	20,068,532	21,071,959	22,125,557	23,231,834	24,393,426	25,613,097
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			6,701,016	7,207,814	7,739,953	8,298,698	8,885,381	9,501,398	10,148,216	10,827,374	11,540,491	12,289,263	13,075,474	13,900,996	14,767,793	15,677,931	16,633,575	17,637,002	18,690,600	19,796,878	20,958,469	22,178,141
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			6,701,016	7,207,814	7,739,953	8,298,698	8,885,381	9,501,398	10,148,216	10,827,374	11,540,491	12,289,263	13,075,474	13,900,996	14,767,793	15,677,931	16,633,575	17,637,002	18,690,600	19,796,878	20,958,469	22,178,141
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(2,010,305)	(2,162,344)	(2,321,986)	(2,489,609)	(2,665,614)	(2,850,419)	(3,044,465)	(3,248,212)	(3,462,147)	(3,686,779)	(3,922,642)	(4,170,299)	(4,430,338)	(4,703,379)	(4,990,073)	(5,291,101)	(5,607,180)	(5,939,063)	(6,287,541)	(6,653,442)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			4,690,711	5,045,470	5,417,967	5,809,089	6,219,767	6,650,979	7,103,751	7,579,162	8,078,344	8,602,484	9,152,832	9,730,697	10,337,455	10,974,552	11,643,503	12,345,901	13,083,420	13,857,814	14,670,929	15,524,698
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957
			8,125,668	8,480,427	8,852,924	9,244,046	9,654,724	10,085,935	10,538,708	11,014,119	11,513,300	12,037,441	12,587,789	13,165,654	13,772,412	14,409,508	15,078,459	15,780,858	16,518,377	17,292,771	18,105,885	18,959,655
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						18,959,655
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(68,699,136)	8,125,668	8,480,427	8,852,924	9,244,046	9,654,724	10,085,935	10,538,708	11,014,119	11,513,300	12,037,441	12,587,789	13,165,654	13,772,412	14,409,508	15,078,459	15,780,858	16,518,377	17,292,771	18,105,885	18,959,655
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(68,699,136)	7,524,368	7,267,726	7,029,221	6,794,373	6,574,867	6,354,139	6,144,067	5,947,624	5,756,650	5,573,335	5,400,161	5,226,765	5,068,248	4,899,233	4,749,715	4,608,011	4,459,962	4,323,193	4,200,565	4,076,326
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(68,699,136)	(61,174,768)	(53,907,042)	(46,877,821)	(40,083,447)	(33,508,580)	(27,154,441)	(21,010,374)	(15,062,750)	(9,306,100)	(3,732,765)	1,667,396									

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period) 10 ปี 8 เดือน

NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ 43,290,879 บาท

IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ 14% (> 12%)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 60%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Very Low-E **(เขียวอมฟ้า) หนา** 30.76 **มม.**: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.048
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0795 หรือ 7.95%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	2,583,613	5,167,227	7,750,840	10,334,454	12,918,067	15,501,681	18,085,294	20,668,908	23,252,521	25,836,134	28,419,748	31,003,361	33,586,975	36,170,588	38,754,202	41,337,815	43,921,428	46,505,042	49,088,655	51,672,269
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	51,672,269	49,088,655	46,505,042	43,921,428	41,337,815	38,754,202	36,170,588	33,586,975	31,003,361	28,419,748	25,836,134	23,252,521	20,668,908	18,085,294	15,501,681	12,918,067	10,334,454	7,750,840	5,167,227	2,583,613	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 60%	(บาท)		8,094,131	8,498,838	8,923,780	9,369,969	9,838,467	10,330,390	10,846,910	11,389,255	11,958,718	12,556,654	13,184,487	13,843,711	14,535,897	15,262,691	16,025,826	16,827,117	17,668,473	18,551,897	19,479,492	20,453,466

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (60%)	D (60%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		78,013,440	126,305,280
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		5,460,941	8,841,370
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	83,474,381	135,146,650
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		51,672,269

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (60%)	D (60%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

238

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 60%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(51,672,269)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			8,094,131	8,498,838	8,923,780	9,369,969	9,838,467	10,330,390	10,846,910	11,389,255	11,958,718	12,556,654	13,184,487	13,843,711	14,535,897	15,262,691	16,025,826	16,827,117	17,668,473	18,551,897	19,479,492	20,453,466
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			5,510,518	5,915,224	6,340,166	6,786,355	7,254,854	7,746,777	8,263,296	8,805,642	9,375,105	9,973,041	10,600,873	11,260,098	11,952,283	12,679,078	13,442,212	14,243,504	15,084,860	15,968,283	16,895,878	17,869,853
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			5,510,518	5,915,224	6,340,166	6,786,355	7,254,854	7,746,777	8,263,296	8,805,642	9,375,105	9,973,041	10,600,873	11,260,098	11,952,283	12,679,078	13,442,212	14,243,504	15,084,860	15,968,283	16,895,878	17,869,853
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,653,155)	(1,774,567)	(1,902,050)	(2,035,907)	(2,176,456)	(2,324,033)	(2,478,989)	(2,641,693)	(2,812,531)	(2,991,912)	(3,180,262)	(3,378,029)	(3,585,685)	(3,803,723)	(4,032,664)	(4,273,051)	(4,525,458)	(4,790,485)	(5,068,763)	(5,360,956)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			3,857,362	4,140,657	4,438,116	4,750,449	5,078,397	5,422,744	5,784,307	6,163,949	6,562,573	6,981,128	7,420,611	7,882,068	8,366,598	8,875,355	9,409,549	9,970,453	10,559,402	11,177,798	11,827,115	12,508,897
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613
			6,440,976	6,724,270	7,021,730	7,334,062	7,662,011	8,006,357	8,367,921	8,747,563	9,146,187	9,564,742	10,004,225	10,465,682	10,950,212	11,458,968	11,993,162	12,554,066	13,143,015	13,761,412	14,410,728	15,092,510
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						15,092,510
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(51,672,269)	6,440,976	6,724,270	7,021,730	7,334,062	7,662,011	8,006,357	8,367,921	8,747,563	9,146,187	9,564,742	10,004,225	10,465,682	10,950,212	11,458,968	11,993,162	12,554,066	13,143,015	13,761,412	14,410,728	15,092,510
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(51,672,269)	5,964,344	5,762,700	5,575,253	5,390,536	5,217,829	5,044,005	4,878,498	4,723,684	4,573,093	4,428,475	4,291,812	4,154,876	4,029,678	3,896,049	3,777,846	3,665,787	3,548,614	3,440,353	3,343,289	3,244,890
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(51,672,269)	(45,707,925)	(39,945,225)	(34,369,972)	(28,979,437)	(23,761,607)	(18,717,602)	(13,839,104)	(9,115,420)	(4,542,327)	(113,852)	4,177,961									

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		10 ปี	0 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	37,288,444	**บาท**
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	15% (> 12%)	

239

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0795 หรือ 7.95%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)

= 0.0315 + 0.048

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	86,449	172,898	259,347	345,797	432,246	518,695	605,144	691,593	778,042	864,492	950,941	1,037,390	1,123,839	1,210,288	1,296,737	1,383,186	1,469,636	1,556,085	1,642,534	1,728,983
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	1,728,983	1,642,534	1,556,085	1,469,636	1,383,186	1,296,737	1,210,288	1,123,839	1,037,390	950,941	864,492	778,042	691,593	605,144	518,695	432,246	345,797	259,347	172,898	86,449	0

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		4,058,293	4,261,208	4,474,268	4,697,982	4,932,881	5,179,525	5,438,501	5,710,426	5,995,947	6,295,745	6,610,532	6,941,059	7,288,112	7,652,517	8,035,143	8,436,900	8,858,745	9,301,682	9,766,766	10,255,105

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (40%)	B (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	59,891,712
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	4,192,420
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	64,084,132
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		1,728,983

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	B (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

240

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(1,728,983)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			4,058,293	4,261,208	4,474,268	4,697,982	4,932,881	5,179,525	5,438,501	5,710,426	5,995,947	6,295,745	6,610,532	6,941,059	7,288,112	7,652,517	8,035,143	8,436,900	8,858,745	9,301,682	9,766,766	10,255,105
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			3,971,844	4,174,759	4,387,819	4,611,533	4,846,432	5,093,076	5,352,052	5,623,977	5,909,498	6,209,296	6,524,083	6,854,609	7,201,662	7,566,068	7,948,694	8,350,451	8,772,296	9,215,233	9,680,317	10,168,656
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			3,971,844	4,174,759	4,387,819	4,611,533	4,846,432	5,093,076	5,352,052	5,623,977	5,909,498	6,209,296	6,524,083	6,854,609	7,201,662	7,566,068	7,948,694	8,350,451	8,772,296	9,215,233	9,680,317	10,168,656
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,191,553)	(1,252,428)	(1,316,346)	(1,383,460)	(1,453,929)	(1,527,923)	(1,605,616)	(1,687,193)	(1,772,849)	(1,862,789)	(1,957,225)	(2,056,383)	(2,160,499)	(2,269,820)	(2,384,608)	(2,505,135)	(2,631,689)	(2,764,570)	(2,904,095)	(3,050,597)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			2,780,291	2,922,331	3,071,473	3,228,073	3,392,502	3,565,153	3,746,436	3,936,784	4,136,649	4,346,507	4,566,858	4,798,227	5,041,164	5,296,248	5,564,086	5,845,316	6,140,607	6,450,663	6,776,222	7,118,059
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449
			2,866,740	3,008,780	3,157,923	3,314,522	3,478,951	3,651,602	3,832,885	4,023,233	4,223,098	4,432,956	4,653,307	4,884,676	5,127,613	5,382,697	5,650,535	5,931,765	6,227,056	6,537,112	6,862,671	7,204,508
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						7,204,508
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(1,728,983)	2,866,740	3,008,780	3,157,923	3,314,522	3,478,951	3,651,602	3,832,885	4,023,233	4,223,098	4,432,956	4,653,307	4,884,676	5,127,613	5,382,697	5,650,535	5,931,765	6,227,056	6,537,112	6,862,671	7,204,508
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(1,728,983)	2,654,601	2,578,525	2,507,390	2,436,174	2,369,166	2,300,509	2,234,572	2,172,546	2,111,549	2,052,459	1,996,269	1,939,216	1,886,962	1,830,117	1,779,918	1,732,075	1,681,305	1,634,278	1,592,140	1,548,969
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(1,728,983)	925,618																			

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)	**0 ปี**	**8 เดือน**
NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	**39,313,905 บาท**	
IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	**171% (> 12%)**	

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Low-E (Argon) **(เขียว+ใส) หนา** 30.76 **มม.**: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0795 หรือ 7.95%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)

= 0.0315 + 0.048

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	603,172	1,206,344	1,809,516	2,412,687	3,015,859	3,619,031	4,222,203	4,825,375	5,428,547	6,031,718	6,634,890	7,238,062	7,841,234	8,444,406	9,047,578	9,650,749	10,253,921	10,857,093	11,460,265	12,063,437
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	12,063,437	11,460,265	10,857,093	10,253,921	9,650,749	9,047,578	8,444,406	7,841,234	7,238,062	6,634,890	6,031,718	5,428,547	4,825,375	4,222,203	3,619,031	3,015,859	2,412,687	1,809,516	1,206,344	603,172	0

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		3,110,901	3,266,446	3,429,768	3,601,257	3,781,319	3,970,385	4,168,905	4,377,350	4,596,217	4,826,028	5,067,330	5,320,696	5,586,731	5,866,067	6,159,371	6,467,339	6,790,706	7,130,242	7,486,754	7,861,091

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (40%)	C (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	69,550,080
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	4,868,506
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	74,418,586
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		12,063,437

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	C (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

242

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(12,063,437)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			3,110,901	3,266,446	3,429,768	3,601,257	3,781,319	3,970,385	4,168,905	4,377,350	4,596,217	4,826,028	5,067,330	5,320,696	5,586,731	5,866,067	6,159,371	6,467,339	6,790,706	7,130,242	7,486,754	7,861,091
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			2,507,729	2,663,274	2,826,596	2,998,085	3,178,148	3,367,213	3,565,733	3,774,178	3,993,045	4,222,856	4,464,158	4,717,524	4,983,559	5,262,896	5,556,199	5,864,167	6,187,534	6,527,070	6,883,582	7,257,920
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			2,507,729	2,663,274	2,826,596	2,998,085	3,178,148	3,367,213	3,565,733	3,774,178	3,993,045	4,222,856	4,464,158	4,717,524	4,983,559	5,262,896	5,556,199	5,864,167	6,187,534	6,527,070	6,883,582	7,257,920
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(752,319)	(798,982)	(847,979)	(899,425)	(953,444)	(1,010,164)	(1,069,720)	(1,132,253)	(1,197,914)	(1,266,857)	(1,339,247)	(1,415,257)	(1,495,068)	(1,578,869)	(1,666,860)	(1,759,250)	(1,856,260)	(1,958,121)	(2,065,075)	(2,177,376)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,755,410	1,864,292	1,978,617	2,098,659	2,224,703	2,357,049	2,496,013	2,641,925	2,795,132	2,955,999	3,124,910	3,302,267	3,488,491	3,684,027	3,889,339	4,104,917	4,331,274	4,568,949	4,818,507	5,080,544
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172
			2,358,582	2,467,464	2,581,789	2,701,831	2,827,875	2,960,221	3,099,185	3,245,096	3,398,304	3,559,171	3,728,082	3,905,439	4,091,663	4,287,199	4,492,511	4,708,089	4,934,446	5,172,121	5,421,679	5,683,716
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						5,683,716
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(12,063,437)	2,358,582	2,467,464	2,581,789	2,701,831	2,827,875	2,960,221	3,099,185	3,245,096	3,398,304	3,559,171	3,728,082	3,905,439	4,091,663	4,287,199	4,492,511	4,708,089	4,934,446	5,172,121	5,421,679	5,683,716
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(12,063,437)	2,184,047	2,114,616	2,049,941	1,985,846	1,925,783	1,864,939	1,806,825	1,752,352	1,699,152	1,647,896	1,599,347	1,550,459	1,505,732	1,457,648	1,415,141	1,374,762	1,332,300	1,293,030	1,257,830	1,221,999
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(12,063,437)	(9,879,390)	(7,764,773)	(5,714,833)	(3,728,987)	(1,803,204)	61,735														

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)	5 ปี	12 เดือน
NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	20,979,572 บาท	
IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	24% (> 12%)	

243

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)

= 0.0315 + 0.048

= 0.0795 หรือ 7.95%

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	1,732,270	3,464,540	5,196,810	6,929,080	8,661,350	10,393,620	12,125,891	13,858,161	15,590,431	17,322,701	19,054,971	20,787,241	22,519,511	24,251,781	25,984,051	27,716,321	29,448,591	31,180,861	32,913,132	34,645,402
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	34,645,402	32,913,132	31,180,861	29,448,591	27,716,321	25,984,051	24,251,781	22,519,511	20,787,241	19,054,971	17,322,701	15,590,431	13,858,161	12,125,891	10,393,620	8,661,350	6,929,080	5,196,810	3,464,540	1,732,270	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		5,681,420	5,965,491	6,263,766	6,576,954	6,905,802	7,251,092	7,613,647	7,994,329	8,394,045	8,813,748	9,254,435	9,717,157	10,203,015	10,713,165	11,248,824	11,811,265	12,401,828	13,021,919	13,673,015	14,356,666

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (40%)	D (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	90,654,720
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	6,345,830
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	97,000,550
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		34,645,402

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	D (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

244

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(34,645,402)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			5,681,420	5,965,491	6,263,766	6,576,954	6,905,802	7,251,092	7,613,647	7,994,329	8,394,045	8,813,748	9,254,435	9,717,157	10,203,015	10,713,165	11,248,824	11,811,265	12,401,828	13,021,919	13,673,015	14,356,666
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			3,949,150	4,233,221	4,531,496	4,844,684	5,173,532	5,518,822	5,881,376	6,262,059	6,661,775	7,081,478	7,522,165	7,984,887	8,470,745	8,980,895	9,516,554	10,078,995	10,669,558	11,289,649	11,940,745	12,624,396
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			3,949,150	4,233,221	4,531,496	4,844,684	5,173,532	5,518,822	5,881,376	6,262,059	6,661,775	7,081,478	7,522,165	7,984,887	8,470,745	8,980,895	9,516,554	10,078,995	10,669,558	11,289,649	11,940,745	12,624,396
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,184,745)	(1,269,966)	(1,359,449)	(1,453,405)	(1,552,060)	(1,655,647)	(1,764,413)	(1,878,618)	(1,998,533)	(2,124,443)	(2,256,649)	(2,395,466)	(2,541,223)	(2,694,269)	(2,854,966)	(3,023,698)	(3,200,867)	(3,386,895)	(3,582,224)	(3,787,319)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			2,764,405	2,963,255	3,172,047	3,391,279	3,621,472	3,863,175	4,116,964	4,383,441	4,663,243	4,957,034	5,265,515	5,589,421	5,929,521	6,286,627	6,661,587	7,055,296	7,468,691	7,902,755	8,358,522	8,837,077
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270
			4,496,675	4,695,525	4,904,317	5,123,549	5,353,742	5,595,445	5,849,234	6,115,711	6,395,513	6,689,304	6,997,786	7,321,691	7,661,791	8,018,897	8,393,858	8,787,566	9,200,961	9,635,025	10,090,792	10,569,347
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						10,569,347
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(34,645,402)	4,496,675	4,695,525	4,904,317	5,123,549	5,353,742	5,595,445	5,849,234	6,115,711	6,395,513	6,689,304	6,997,786	7,321,691	7,661,791	8,018,897	8,393,858	8,787,566	9,200,961	9,635,025	10,090,792	10,569,347
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(34,645,402)	4,163,921	4,024,065	3,894,028	3,765,808	3,645,899	3,525,131	3,410,103	3,302,484	3,197,756	3,097,148	3,002,050	2,906,711	2,819,539	2,726,425	2,644,065	2,565,969	2,484,259	2,408,756	2,341,064	2,272,410
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(34,645,402)	(30,481,480)	(26,457,415)	(22,563,388)	(18,797,579)	(15,151,681)	(11,626,550)	(8,216,447)	(4,913,963)	(1,716,206)	1,380,942										

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period) 9 ปี 7 เดือน

NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ 27,558,551 บาท

IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ 16% (> 12%)

245

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก A เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option A vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): **กระจกลามิเนต HC Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0795 หรือ 7.95%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)

= 0.0315 + 0.048

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	119,155	238,310	357,466	476,621	595,776	714,931	834,086	953,242	1,072,397	1,191,552	1,310,707	1,429,862	1,549,018	1,668,173	1,787,328	1,906,483	2,025,638	2,144,794	2,263,949	2,383,104
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	2,383,104	2,263,949	2,144,794	2,025,638	1,906,483	1,787,328	1,668,173	1,549,018	1,429,862	1,310,707	1,191,552	1,072,397	953,242	834,086	714,931	595,776	476,621	357,466	238,310	119,155	0

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,088,266	1,142,680	1,199,813	1,259,804	1,322,794	1,388,934	1,458,381	1,531,300	1,607,865	1,688,258	1,772,671	1,861,305	1,954,370	2,052,088	2,154,693	2,262,427	2,375,549	2,494,326	2,619,042	2,749,994

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (20%)	A (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	31,887,360
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,232,115
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	34,119,475
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		2,383,104

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	A (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

246

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก A เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option A vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): กระจกลามิเนต HC Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	**ปีที่**	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	**พ.ศ.**	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Initial Investment)		(2,383,104)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,088,266	1,142,680	1,199,813	1,259,804	1,322,794	1,388,934	1,458,381	1,531,300	1,607,865	1,688,258	1,772,671	1,861,305	1,954,370	2,052,088	2,154,693	2,262,427	2,375,549	2,494,326	2,619,042	2,749,994
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			969,111	1,023,524	1,080,658	1,140,649	1,203,639	1,269,779	1,339,226	1,412,145	1,488,710	1,569,103	1,653,516	1,742,149	1,835,215	1,932,933	2,035,537	2,143,272	2,256,393	2,375,171	2,499,887	2,630,839
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			969,111	1,023,524	1,080,658	1,140,649	1,203,639	1,269,779	1,339,226	1,412,145	1,488,710	1,569,103	1,653,516	1,742,149	1,835,215	1,932,933	2,035,537	2,143,272	2,256,393	2,375,171	2,499,887	2,630,839
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(290,733)	(307,057)	(324,197)	(342,195)	(361,092)	(380,934)	(401,768)	(423,643)	(446,613)	(470,731)	(496,055)	(522,645)	(550,564)	(579,880)	(610,661)	(642,982)	(676,918)	(712,551)	(749,966)	(789,252)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			678,378	716,467	756,461	798,454	842,547	888,845	937,458	988,501	1,042,097	1,098,372	1,157,461	1,219,505	1,284,650	1,353,053	1,424,876	1,500,290	1,579,475	1,662,620	1,749,921	1,841,588
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155
			797,533	835,622	875,616	917,609	961,703	1,008,000	1,056,613	1,107,656	1,161,252	1,217,527	1,276,616	1,338,660	1,403,805	1,472,208	1,544,031	1,619,446	1,698,631	1,781,775	1,869,076	1,960,743
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						1,960,743
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(2,383,104)	797,533	835,622	875,616	917,609	961,703	1,008,000	1,056,613	1,107,656	1,161,252	1,217,527	1,276,616	1,338,660	1,403,805	1,472,208	1,544,031	1,619,446	1,698,631	1,781,775	1,869,076	1,960,743
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(2,383,104)	738,515	716,128	695,239	674,443	654,919	635,040	616,005	598,134	580,626	563,715	547,668	531,448	516,600	500,551	486,370	472,878	458,630	445,444	433,626	421,560
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(2,383,104)	(1,644,589)	(928,460)	(233,221)	441,222																

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)	**3 ปี**	**4 เดือน**
NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	**8,905,583 บาท**	
IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	**38% (> 12%)**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

247

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.0795 หรือ 7.95%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)

= 0.0315 + 0.048

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	43,225	86,449	129,674	172,898	216,123	259,347	302,572	345,797	389,021	432,246	475,470	518,695	561,919	605,144	648,369	691,593	734,818	778,042	821,267	864,492
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	864,492	821,267	778,042	734,818	691,593	648,369	605,144	561,919	518,695	475,470	432,246	389,021	345,797	302,572	259,347	216,123	172,898	129,674	86,449	43,225	0

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,491,211	1,565,772	1,644,060	1,726,263	1,812,576	1,903,205	1,998,365	2,098,284	2,203,198	2,313,358	2,429,026	2,550,477	2,678,001	2,811,901	2,952,496	3,100,121	3,255,127	3,417,883	3,588,777	3,768,216

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (20%)	B (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	30,468,096
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,132,767
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	32,600,863
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		864,492

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	B (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

248

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(864,492)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,491,211	1,565,772	1,644,060	1,726,263	1,812,576	1,903,205	1,998,365	2,098,284	2,203,198	2,313,358	2,429,026	2,550,477	2,678,001	2,811,901	2,952,496	3,100,121	3,255,127	3,417,883	3,588,777	3,768,216
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			1,447,986	1,522,547	1,600,836	1,683,039	1,769,352	1,859,981	1,955,141	2,055,059	2,159,973	2,270,133	2,385,801	2,507,252	2,634,776	2,768,676	2,909,271	3,056,896	3,211,902	3,374,658	3,545,552	3,724,991
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			1,447,986	1,522,547	1,600,836	1,683,039	1,769,352	1,859,981	1,955,141	2,055,059	2,159,973	2,270,133	2,385,801	2,507,252	2,634,776	2,768,676	2,909,271	3,056,896	3,211,902	3,374,658	3,545,552	3,724,991
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(434,396)	(456,764)	(480,251)	(504,912)	(530,806)	(557,994)	(586,542)	(616,518)	(647,992)	(681,040)	(715,740)	(752,176)	(790,433)	(830,603)	(872,781)	(917,069)	(963,571)	(1,012,398)	(1,063,666)	(1,117,497)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,013,590	1,065,783	1,120,585	1,178,127	1,238,546	1,301,986	1,368,599	1,438,541	1,511,981	1,589,093	1,670,061	1,755,077	1,844,343	1,938,073	2,036,490	2,139,827	2,248,331	2,362,261	2,481,887	2,607,494
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225
			1,056,815	1,109,007	1,163,809	1,221,352	1,281,771	1,345,211	1,411,823	1,481,766	1,555,206	1,632,318	1,713,285	1,798,301	1,887,568	1,981,298	2,079,714	2,183,052	2,291,556	2,405,485	2,525,111	2,650,719
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						2,650,719
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(864,492)	1,056,815	1,109,007	1,163,809	1,221,352	1,281,771	1,345,211	1,411,823	1,481,766	1,555,206	1,632,318	1,713,285	1,798,301	1,887,568	1,981,298	2,079,714	2,183,052	2,291,556	2,405,485	2,525,111	2,650,719
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(864,492)	978,611	950,419	924,065	897,693	872,886	847,483	823,093	800,154	777,603	755,763	734,999	713,926	694,625	673,641	655,110	637,451	618,720	601,371	585,826	569,904
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(864,492)	114,119																			

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)	0 ปี	11 เดือน
NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ		14,250,380 บาท
IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ		127% (> 12%)

249

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Low-E (Argon) **(เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.**: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)

= 0.0315 + 0.048

= 0.0795 หรือ 7.95%

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	299,121	598,241	897,362	1,196,483	1,495,603	1,794,724	2,093,844	2,392,965	2,692,086	2,991,206	3,290,327	3,589,448	3,888,568	4,187,689	4,486,810	4,785,930	5,085,051	5,384,172	5,683,292	5,982,413
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	5,982,413	5,683,292	5,384,172	5,085,051	4,785,930	4,486,810	4,187,689	3,888,568	3,589,448	3,290,327	2,991,206	2,692,086	2,392,965	2,093,844	1,794,724	1,495,603	1,196,483	897,362	598,241	299,121	0

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,173,855	1,232,547	1,294,175	1,358,883	1,426,828	1,498,169	1,573,077	1,651,731	1,734,318	1,821,034	1,912,085	2,007,690	2,108,074	2,213,478	2,324,152	2,440,359	2,562,377	2,690,496	2,825,021	2,966,272

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (20%)	C (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	35,251,200
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,467,584
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	37,718,784
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		5,982,413

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	C (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

250

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(5,982,413)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,173,855	1,232,547	1,294,175	1,358,883	1,426,828	1,498,169	1,573,077	1,651,731	1,734,318	1,821,034	1,912,085	2,007,690	2,108,074	2,213,478	2,324,152	2,440,359	2,562,377	2,690,496	2,825,021	2,966,272
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			874,734	933,427	995,054	1,059,763	1,127,707	1,199,048	1,273,957	1,352,611	1,435,197	1,521,913	1,612,965	1,708,569	1,808,954	1,914,357	2,025,031	2,141,239	2,263,257	2,391,376	2,525,900	2,667,151
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			874,734	933,427	995,054	1,059,763	1,127,707	1,199,048	1,273,957	1,352,611	1,435,197	1,521,913	1,612,965	1,708,569	1,808,954	1,914,357	2,025,031	2,141,239	2,263,257	2,391,376	2,525,900	2,667,151
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(262,420)	(280,028)	(298,516)	(317,929)	(338,312)	(359,715)	(382,187)	(405,783)	(430,559)	(456,574)	(483,889)	(512,571)	(542,686)	(574,307)	(607,509)	(642,372)	(678,977)	(717,413)	(757,770)	(800,145)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			612,314	653,399	696,538	741,834	789,395	839,334	891,770	946,827	1,004,638	1,065,339	1,129,075	1,195,998	1,266,267	1,340,050	1,417,522	1,498,867	1,584,280	1,673,963	1,768,130	1,867,006
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121
			911,434	952,519	995,658	1,040,955	1,088,516	1,138,454	1,190,890	1,245,948	1,303,759	1,364,460	1,428,196	1,495,119	1,565,388	1,639,171	1,716,642	1,797,988	1,883,400	1,973,084	2,067,251	2,166,127
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						2,166,127
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(5,982,413)	911,434	952,519	995,658	1,040,955	1,088,516	1,138,454	1,190,890	1,245,948	1,303,759	1,364,460	1,428,196	1,495,119	1,565,388	1,639,171	1,716,642	1,797,988	1,883,400	1,973,084	2,067,251	2,166,127
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(5,982,413)	843,988	816,309	790,553	765,102	741,279	717,226	694,289	672,812	651,879	631,745	612,696	593,562	576,063	557,318	540,742	525,012	508,518	493,271	479,602	465,717
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(5,982,413)	(5,138,425)	(4,322,115)	(3,531,563)	(2,766,461)	(2,025,182)	(1,307,956)	(613,667)	59,145												

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)	7 ปี	11 เดือน
NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	6,696,566 บาท	
IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	19% (> 12%)	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

251

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 8% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	12%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน	
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%
เงินทุนของเจ้าของ	40%
ต้นทุนของเงินทุน	
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	12%
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.12)

= 0.0315 + 0.048

= 0.0795 หรือ 7.95%

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	863,670	1,727,340	2,591,009	3,454,679	4,318,349	5,182,019	6,045,688	6,909,358	7,773,028	8,636,698	9,500,367	10,364,037	11,227,707	12,091,377	12,955,046	13,818,716	14,682,386	15,546,056	16,409,725	17,273,395
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	17,273,395	16,409,725	15,546,056	14,682,386	13,818,716	12,955,046	12,091,377	11,227,707	10,364,037	9,500,367	8,636,698	7,773,028	6,909,358	6,045,688	5,182,019	4,318,349	3,454,679	2,591,009	1,727,340	863,670	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.89	4.08	4.28	4.50	4.72	4.96	5.21	5.47	5.74	6.03	6.33	6.64	6.98	7.33	7.69	8.08	8.48	8.90	9.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		2,317,144	2,433,001	2,554,651	2,682,383	2,816,502	2,957,328	3,105,194	3,260,454	3,423,476	3,594,650	3,774,383	3,963,102	4,161,257	4,369,320	4,587,786	4,817,175	5,058,034	5,310,935	5,576,482	5,855,306

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (20%)	D (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	45,803,520
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	3,206,246
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	49,009,766
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		17,273,395

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	D (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

252

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่ดีที่สุด (Best Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	**ปีที่**	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	**พ.ศ.**	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น**	บาท	(17,273,395)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			2,317,144	2,433,001	2,554,651	2,682,383	2,816,502	2,957,328	3,105,194	3,260,454	3,423,476	3,594,650	3,774,383	3,963,102	4,161,257	4,369,320	4,587,786	4,817,175	5,058,034	5,310,935	5,576,482	5,855,306
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			1,453,474	1,569,331	1,690,981	1,818,713	1,952,833	2,093,658	2,241,524	2,396,784	2,559,807	2,730,980	2,910,713	3,099,432	3,297,587	3,505,650	3,724,116	3,953,505	4,194,364	4,447,266	4,712,812	4,991,636
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			1,453,474	1,569,331	1,690,981	1,818,713	1,952,833	2,093,658	2,241,524	2,396,784	2,559,807	2,730,980	2,910,713	3,099,432	3,297,587	3,505,650	3,724,116	3,953,505	4,194,364	4,447,266	4,712,812	4,991,636
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(436,042)	(470,799)	(507,294)	(545,614)	(585,850)	(628,097)	(672,457)	(719,035)	(767,942)	(819,294)	(873,214)	(929,830)	(989,276)	(1,051,695)	(1,117,235)	(1,186,052)	(1,258,309)	(1,334,180)	(1,413,844)	(1,497,491)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,017,432	1,098,532	1,183,687	1,273,099	1,366,983	1,465,560	1,569,067	1,677,749	1,791,865	1,911,686	2,037,499	2,169,602	2,308,311	2,453,955	2,606,881	2,767,454	2,936,055	3,113,086	3,298,969	3,494,146
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670
			1,881,101	1,962,201	2,047,356	2,136,769	2,230,653	2,329,230	2,432,737	2,541,418	2,655,534	2,775,356	2,901,169	3,033,272	3,171,981	3,317,625	3,470,551	3,631,123	3,799,724	3,976,756	4,162,638	4,357,815
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						4,357,815
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(17,273,395)	1,881,101	1,962,201	2,047,356	2,136,769	2,230,653	2,329,230	2,432,737	2,541,418	2,655,534	2,775,356	2,901,169	3,033,272	3,171,981	3,317,625	3,470,551	3,631,123	3,799,724	3,976,756	4,162,638	4,357,815
PVIF (8%, 20 ปี)		1.000	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681	0.630	0.583	0.540	0.500	0.463	0.429	0.397	0.368	0.340	0.315	0.292	0.270	0.250	0.232	0.215
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(17,273,395)	1,741,900	1,681,607	1,625,601	1,570,525	1,519,074	1,467,415	1,418,285	1,372,366	1,327,767	1,284,990	1,244,601	1,204,209	1,167,289	1,127,992	1,093,224	1,060,288	1,025,926	994,189	965,732	936,930
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(17,273,395)	(15,531,495)	(13,849,889)	(12,224,288)	(10,653,762)	(9,134,688)	(7,667,273)	(6,248,987)	(4,876,621)	(3,548,854)	(2,263,864)	(1,019,263)	184,946								

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		11 ปี	10 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	8,559,164	**บาท**
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	13% (> 12%)	

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 80%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)

= 0.0315 + 0.072

= 0.1035 หรือ 10.35%

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	3,434,957	6,869,914	10,304,870	13,739,827	17,174,784	20,609,741	24,044,698	27,479,654	30,914,611	34,349,568	37,784,525	41,219,482	44,654,438	48,089,395	51,524,352	54,959,309	58,394,266	61,829,222	65,264,179	68,699,136
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	68,699,136	65,264,179	61,829,222	58,394,266	54,959,309	51,524,352	48,089,395	44,654,438	41,219,482	37,784,525	34,349,568	30,914,611	27,479,654	24,044,698	20,609,741	17,174,784	13,739,827	10,304,870	6,869,914	3,434,957	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452	2,739,452
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 80%	(บาท)		10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (80%)	D (80%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		102,359,040	166,563,840
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		7,165,133	11,659,469
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	109,524,173	178,223,309
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		68,699,136

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (80%)	D (80%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

254

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 80%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 80%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(68,699,136)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972	10,135,972
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)	(3,434,957)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016	6,701,016
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)	(2,010,305)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711	4,690,711
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957	3,434,957
			8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						8,125,668
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(68,699,136)	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668	8,125,668
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(68,699,136)	7,386,232	6,711,802	6,102,376	5,549,831	5,046,040	4,582,877	4,168,468	3,794,687	3,445,283	3,136,508	2,843,984	2,592,088	2,356,444	2,137,051	1,942,035	1,771,396	1,608,882	1,462,620	1,332,610	1,210,724
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(68,699,136)	(61,312,904)	(54,601,103)	(48,498,726)	(42,948,895)	(37,902,855)	(33,319,979)	(29,151,511)	(25,356,824)	(21,911,541)	(18,775,034)	(15,931,050)	(13,338,962)	(10,982,518)	(8,845,468)	(6,903,433)	(5,132,037)	(3,523,155)	(2,060,535)	(727,926)	482,799

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		19 ปี	7 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	479,254 บาท	
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	10% (< 20%)	

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 60%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Very Low-E **(เขียวอมฟ้า) หนา** 30.76 **มม.**: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)

= 0.0315 + 0.072

= 0.1035 หรือ 10.35%

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	2,583,613	5,167,227	7,750,840	10,334,454	12,918,067	15,501,681	18,085,294	20,668,908	23,252,521	25,836,134	28,419,748	31,003,361	33,586,975	36,170,588	38,754,202	41,337,815	43,921,428	46,505,042	49,088,655	51,672,269
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	51,672,269	49,088,655	46,505,042	43,921,428	41,337,815	38,754,202	36,170,588	33,586,975	31,003,361	28,419,748	25,836,134	23,252,521	20,668,908	18,085,294	15,501,681	12,918,067	10,334,454	7,750,840	5,167,227	2,583,613	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603	2,187,603
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 60%	(บาท)		8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (60%)	D (60%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		78,013,440	126,305,280
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		5,460,941	8,841,370
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	83,474,381	135,146,650
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		51,672,269

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (60%)	D (60%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

256

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 60%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 60%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(51,672,269)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131	8,094,131
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)	(2,583,613)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518	5,510,518
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)	(1,653,155)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362	3,857,362
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613	2,583,613
			6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						6,440,976
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(51,672,269)	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976	6,440,976
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(51,672,269)	5,854,847	5,320,246	4,837,173	4,399,186	3,999,846	3,632,710	3,304,221	3,007,936	2,730,974	2,486,217	2,254,342	2,054,671	1,867,883	1,693,977	1,539,393	1,404,133	1,275,313	1,159,376	1,056,320	959,705
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(51,672,269)	(45,817,422)	(40,497,176)	(35,660,003)	(31,260,816)	(27,260,971)	(23,628,260)	(20,324,040)	(17,316,104)	(14,585,130)	(12,098,913)	(9,844,572)	(7,789,901)	(5,922,018)	(4,228,041)	(2,688,648)	(1,284,515)	(9,202)	1,150,174		

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		17 ปี	0 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	3,163,389 บาท	
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	11% (< 20%)	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

257

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน	
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%
เงินทุนของเจ้าของ	40%
ต้นทุนของเงินทุน	
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)

= 0.0315 + 0.072

= 0.1035 หรือ 10.35%

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	86,449	172,898	259,347	345,797	432,246	518,695	605,144	691,593	778,042	864,492	950,941	1,037,390	1,123,839	1,210,288	1,296,737	1,383,186	1,469,636	1,556,085	1,642,534	1,728,983
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	1,728,983	1,642,534	1,556,085	1,469,636	1,383,186	1,296,737	1,210,288	1,123,839	1,037,390	950,941	864,492	778,042	691,593	605,144	518,695	432,246	345,797	259,347	172,898	86,449	0

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836	1,096,836
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (40%)	B (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	59,891,712
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	4,192,420
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	64,084,132
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		1,728,983

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	B (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.**: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	**ปีที่**	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	**พ.ศ.**	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Initial Investment)		(1,728,983)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293	4,058,293
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)	(86,449)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844	3,971,844
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)	(1,191,553)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291	2,780,291
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449	86,449
			2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						2,866,740
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(1,728,983)	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740	2,866,740
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(1,728,983)	2,605,867	2,367,927	2,152,922	1,957,983	1,780,246	1,616,841	1,470,638	1,338,768	1,215,498	1,106,562	1,003,359	914,490	831,355	753,953	685,151	624,949	567,615	516,013	470,145	427,144
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(1,728,983)	876,884																			

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)	**0 ปี**	**8 เดือน**
NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ	**22,677,190 บาท**	
IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ	166% (> 20%)	

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Low-E (Argon) **(เขียว+ใส) หนา** 30.76 **มม.**: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:	
ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:		*สูตรการคำนวณหา WACC:*
สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.072
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.1035 หรือ 10.35%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	603,172	1,206,344	1,809,516	2,412,687	3,015,859	3,619,031	4,222,203	4,825,375	5,428,547	6,031,718	6,634,890	7,238,062	7,841,234	8,444,406	9,047,578	9,650,749	10,253,921	10,857,093	11,460,265	12,063,437
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	12,063,437	11,460,265	10,857,093	10,253,921	9,650,749	9,047,578	8,444,406	7,841,234	7,238,062	6,634,890	6,031,718	5,428,547	4,825,375	4,222,203	3,619,031	3,015,859	2,412,687	1,809,516	1,206,344	603,172	0

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784	840,784
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (40%)	C (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	69,550,080
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	4,868,506
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	74,418,586
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		12,063,437

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	C (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

260

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 40%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	**ปีที่**	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	**พ.ศ.**	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. **เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Initial Investment)		(12,063,437)																				
2. **กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901	3,110,901
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)	(603,172)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729	2,507,729
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)	(752,319)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410	1,755,410
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172	603,172
			2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582
3. **กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น** (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						2,358,582
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(12,063,437)	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582	2,358,582
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(12,063,437)	2,143,951	1,948,189	1,771,295	1,610,912	1,464,679	1,330,240	1,209,953	1,101,458	1,000,039	910,413	825,504	752,388	683,989	620,307	563,701	514,171	466,999	424,545	386,807	351,429
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(12,063,437)	(9,919,486)	(7,971,297)	(6,200,002)	(4,589,090)	(3,124,411)	(1,794,170)	(584,218)	517,240												

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period) 7 ปี 6 เดือน

NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ 8,016,502 บาท

IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ 19% (< 20%)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Very Low-E **(เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.**: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:		*สูตรการคำนวณหา WACC:*
สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.072
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.1035 หรือ 10.35%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	1,732,270	3,464,540	5,196,810	6,929,080	8,661,350	10,393,620	12,125,891	13,858,161	15,590,431	17,322,701	19,054,971	20,787,241	22,519,511	24,251,781	25,984,051	27,716,321	29,448,591	31,180,861	32,913,132	34,645,402
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	34,645,402	32,913,132	31,180,861	29,448,591	27,716,321	25,984,051	24,251,781	22,519,511	20,787,241	19,054,971	17,322,701	15,590,431	13,858,161	12,125,891	10,393,620	8,661,350	6,929,080	5,196,810	3,464,540	1,732,270	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519	1,535,519
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 40%	(บาท)		5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (40%)	D (40%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		58,275,840	90,654,720
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		4,079,309	6,345,830
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	62,355,149	97,000,550
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		34,645,402

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (40%)	D (40%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	#REF!
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	#REF!
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		#REF!

262

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 40%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 40%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(34,645,402)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420	5,681,420
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	(1,732,270)	-1,732,270	-1,732,270	-1,732,270
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150	3,949,150
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)	(1,184,745)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405	2,764,405
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270	1,732,270
			4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						4,496,675
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(34,645,402)	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675	4,496,675
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) **ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ**		(34,645,402)	4,087,478	3,714,254	3,377,003	3,071,229	2,792,435	2,536,125	2,306,794	2,099,947	1,906,590	1,735,717	1,573,836	1,434,439	1,304,036	1,182,626	1,074,705	980,275	890,342	809,402	737,455	670,005
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(34,645,402)	(30,557,924)	(26,843,670)	(23,466,667)	(20,395,438)	(17,603,002)	(15,066,878)	(12,760,083)	(10,660,136)	(8,753,546)	(7,017,829)	(5,443,993)	(4,009,553)	(2,705,517)	(1,522,892)	(448,186)	532,089				

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period) 15 ปี 5 เดือน

NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ 3,637,330 บาท

IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ 12% (< 20%)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก A เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option A vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): **กระจกลามิเนต** HC Low-E **เขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:	
ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rat

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:		*สูตรการคำนวณหา WACC:*
สัดส่วนของเงินลงทุน		WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)
เงินทุนของเจ้าของ	40%	= 0.0315 + 0.072
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.1035 หรือ 10.35%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	119,155	238,310	357,466	476,621	595,776	714,931	834,086	953,242	1,072,397	1,191,552	1,310,707	1,429,862	1,549,018	1,668,173	1,787,328	1,906,483	2,025,638	2,144,794	2,263,949	2,383,104
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	2,383,104	2,263,949	2,144,794	2,025,638	1,906,483	1,787,328	1,668,173	1,549,018	1,429,862	1,310,707	1,191,552	1,072,397	953,242	834,086	714,931	595,776	476,621	357,466	238,310	119,155	0

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126	294,126
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (20%)	A (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	31,887,360
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,232,115
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	34,119,475
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		2,383,104

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	A (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

264

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก A เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option A vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก A (WWR = 20%): กระจกลามิเนต HC Low-E เขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 66%, SC = 0.52, SHGC = 0.45, LSG = 1.46, U = 3.69 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(2,383,104)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266	1,088,266
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)	(119,155)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111	969,111
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)	(290,733)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378	678,378
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155	119,155
			797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						797,533
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(2,383,104)	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533	797,533
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(2,383,104)	724,957	658,762	598,947	544,715	495,268	449,809	409,134	372,448	338,154	307,848	279,137	254,413	231,285	209,751	190,610	173,862	157,912	143,556	130,795	118,832
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(2,383,104)	(1,658,147)	(999,384)	(400,437)	144,278																

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		3 ปี	9 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ		4,406,743 บาท
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ		33% (> 20%)

265

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		= 0.1035 หรือ 10.35%
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)

= 0.0315 + 0.072

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	43,225	86,449	129,674	172,898	216,123	259,347	302,572	345,797	389,021	432,246	475,470	518,695	561,919	605,144	648,369	691,593	734,818	778,042	821,267	864,492
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	864,492	821,267	778,042	734,818	691,593	648,369	605,144	561,919	518,695	475,470	432,246	389,021	345,797	302,572	259,347	216,123	172,898	129,674	86,449	43,225	0

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030	403,030
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (20%)	B (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	30,468,096
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,132,767
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	32,600,863
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		864,492

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	B (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก B เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option B vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก B (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียวสะท้อนแสง (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 21%, SC = 0.35, SHGC = 0.30, LSG = 0.7, U = 5.52 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(864,492)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211	1,491,211
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)	(43,225)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986	1,447,986
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)	(434,396)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590	1,013,590
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225	43,225
			1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						1,056,815
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(864,492)	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815	1,056,815
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(864,492)	960,645	872,929	793,668	721,805	656,282	596,044	542,146	493,533	448,090	407,931	369,885	337,124	306,476	277,942	252,579	230,386	209,249	190,227	173,318	157,465
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(864,492)	96,153																			

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period)		0 ปี	11 เดือน
NPV	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ		8,132,771 บาท
IRR	ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ		122% (> 20%)

267

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.**: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke

= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)

= 0.0315 + 0.072

= 0.1035 หรือ 10.35%

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	299,121	598,241	897,362	1,196,483	1,495,603	1,794,724	2,093,844	2,392,965	2,692,086	2,991,206	3,290,327	3,589,448	3,888,568	4,187,689	4,486,810	4,785,930	5,085,051	5,384,172	5,683,292	5,982,413
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	5,982,413	5,683,292	5,384,172	5,085,051	4,785,930	4,486,810	4,187,689	3,888,568	3,589,448	3,290,327	2,991,206	2,692,086	2,392,965	2,093,844	1,794,724	1,495,603	1,196,483	897,362	598,241	299,121	0

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258	317,258
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855

***เงินลงทุนเริ่มแรก** (Initial Investment)*		Base (20%)	C (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	35,251,200
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	2,467,584
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	37,718,784
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		5,982,413

***กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ** (Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	C (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก C เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option C vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก C (WWR = 20%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Low-E (Argon) (เขียว+ใส) หนา 30.76 มม.: VT = 58%, SC = 0.39, SHGC = 0.34, LSG = 1.71, U = 1.46 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(5,982,413)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855	1,173,855
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)	(299,121)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734	874,734
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)	(262,420)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314	612,314
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121	299,121
			911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						911,434
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(5,982,413)	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434	911,434
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(5,982,413)	828,494	752,845	684,487	622,510	566,001	514,049	467,566	425,640	386,448	351,814	319,002	290,748	264,316	239,707	217,833	198,693	180,464	164,058	149,475	135,804
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(5,982,413)	(5,153,919)	(4,401,074)	(3,716,587)	(3,094,077)	(2,528,076)	(2,014,027)	(1,546,462)	(1,120,822)	(734,373)	(382,560)	(63,558)	227,190								

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period) 11 ปี 3 เดือน

NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ 1,777,142 บาท

IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ 14% (< 20%)

269

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) **จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร** (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา** 12.76 **มม.**: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): **กระจกลามิเนตอินซูเลต** Very Low-E **(เขียวอมฟ้า) หนา** 30.76 **มม.**: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

สมมติฐานการคำนวณหา NPV:

ทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร	หันด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ
อายุการใช้งานอาคาร	20 ปี
Discount Rate (WACC)	คงที่ 10% ต่อปี
อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับ	20%
ค่าไฟฟ้า Ft (คงที่ปีแรก)	3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม.
อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้า Ft	คงที่ 3.7 บาท/กิโลวัตต์ชม. ต่อปี
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%
เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น	0 บาท
ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น	0 บาท

การคำนวณหาต้นทุนของเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ WACC (Weighted Cost of Capital) เพื่อใช้เป็น Discount Rate

สมมติฐานการคำนวณหา WACC:

สัดส่วนของเงินลงทุน		
เงินกู้จากสถาบันการเงิน	60%	
เงินทุนของเจ้าของ	40%	
ต้นทุนของเงินทุน		
ต้นทุนของเงินกู้	7.5%	
ต้นทุนของเงินทุนของเจ้าของ	18%	
ภาษีเงินได้นิติบุคคล	30%	

สูตรการคำนวณหา WACC:

WACC = Wd*Kd(1-T) + We*Ke
= (0.6)(0.075)(1-0.3) + (0.4)(0.18)
= 0.0315 + 0.072
= 0.1035 หรือ 10.35%

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ (คำนวณแบบเส้นตรง 20 ปี)

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์ = 5% ต่อปี	(บาท)	-	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670
ค่าเสื่อมของสินทรัพย์สะสม (Accum. Depreciation)	(บาท)	-	863,670	1,727,340	2,591,009	3,454,679	4,318,349	5,182,019	6,045,688	6,909,358	7,773,028	8,636,698	9,500,367	10,364,037	11,227,707	12,091,377	12,955,046	13,818,716	14,682,386	15,546,056	16,409,725	17,273,395
มูลค่าคงเหลือของสินทรัพย์ (Book Value)	(บาท)	17,273,395	16,409,725	15,546,056	14,682,386	13,818,716	12,955,046	12,091,377	11,227,707	10,364,037	9,500,367	8,636,698	7,773,028	6,909,358	6,045,688	5,182,019	4,318,349	3,454,679	2,591,009	1,727,340	863,670	0

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ

ปีที่		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าไฟฟ้า Ft	(บาท/กิโลวัตต์ชม.)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(กิโลวัตต์ชม.)		626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255	626,255
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้: WWR = 20%	(บาท)		2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144

เงินลงทุนเริ่มแรก *(Initial Investment)*		Base (20%)	D (20%)
ค่าการลงทุนในการซื้อกระจกและติดตั้ง		29,660,160	45,803,520
บวก: ภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT (7%)		2,076,211	3,206,246
หัก: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมเงินลงทุนเริ่มแรก	(บาท)	31,736,371	49,009,766
เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเทียบกับอาคารต้นแบบ	(บาท)		17,273,395

กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ *(Terminal Cash Flow)*		Base (20%)	D (20%)
รายได้จากการขายซากผนังกระจกอลูมิเนียม		0	0
หัก: ภาษีที่เกิดจากการขายซาก (30%)		0	0
บวกกลับ: เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		0	0
รวมกระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ	(บาท)	0	0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น	(บาท)		0

270

(ต่อ)

การคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow) จากการลงทุนใช้กระจกประหยัดพลังงานเป็นผนังอาคาร (Curtain Wall)

กรณีอาคารทางเลือก D เทียบกับอาคารต้นแบบ (Option D vs. Base Case)

กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case Scenario)

อาคารต้นแบบ (WWR = 20%): กระจกลามิเนตเขียว (เขียว+ใส) หนา 12.76 มม.: VT = 71%, SC = 0.60, SHGC = 0.522, LSG = 1.36, U = 5.52 W/m2.K

อาคารทางเลือก D (WWR = 20%): กระจกลามิเนตอินซูเลต Very Low-E (เขียวอมฟ้า) หนา 30.76 มม.: VT = 35%, SC = 0.24, SHGC = 0.21, LSG = 1.67, U = 1.56 W/m2.K

การคิดลดกระแสเงินสด	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(Discounted Cash Flow)	พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573
(หน่วย: บาท)																						
1. เงินลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น (Incremental Initial Investment)		(17,273,395)																				
2. กระแสเงินสดดำเนินการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Operating Cash Flow)																						
รายได้จากการประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เพิ่มขึ้น			2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144	2,317,144
หัก: ค่าทำความสะอาดผนังกระจก (Curtain Wall) ที่เพิ่มขึ้น			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หัก: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)	(863,670)
รายได้ก่อนหักภาษีและดอกเบี้ยจ่าย (EBIT)			1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474
หัก: ดอกเบี้ยจ่าย			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รายได้ก่อนหักภาษี (EBT)			1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474	1,453,474
หัก: ภาษีเงินได้นิติบุคคล (30%)			(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)	(436,042)
กำไรหลังหักภาษี (After Tax Profit)			1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432	1,017,432
บวกกลับ: ค่าเสื่อมของกระจกพร้อมโครงกรอบอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น			863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670	863,670
			1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101
3. กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการที่เพิ่มขึ้น (Incremental Terminal Cash Flow)																						0
กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดโครงการ																						1,881,101
สรุปกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(17,273,395)	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101	1,881,101
PVIF (10%, 20 ปี)		1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
ค่าปัจจุบัน (Present Value) ของกระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งโครงการ		(17,273,395)	1,709,921	1,553,790	1,412,707	1,284,792	1,168,164	1,060,941	965,005	878,474	797,587	726,105	658,385	600,071	545,519	494,730	449,583	410,080	372,458	338,598	308,501	280,284
มูลค่ากระแสเงินสดที่เพิ่มขึ้นสะสม (Cummulative Incremental Cash Flow)		(17,273,395)	(15,563,474)	(14,009,684)	(12,596,977)	(11,312,185)	(10,144,021)	(9,083,080)	(8,118,075)	(7,239,600)	(6,442,013)	(5,715,908)	(5,057,523)	(4,457,452)	(3,911,932)	(3,417,202)	(2,967,619)	(2,557,539)	(2,185,081)	(1,846,483)	(1,537,982)	(1,257,698)

ระยะเวลาคืนทุนปัจจุบัน (Discounted Payback Period) > 20 ปี 0 เดือน

NPV มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดที่ได้รับจากการลงทุนนี้คือ (1,258,519) บาท

IRR ตลอดระยะเวลาการลงทุนนี้ อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ได้รับคือ 9% (< 20%)

271

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวสวิชญา ดาวประกายมงคล

เกิด วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522

การศึกษา

- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนนานาชาติ ISB (International School Bangkok)
- ระดับปริญญาตรี คณะเศรษฐศาสตร์ ภาคภาษาอังกฤษ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2545
- ระดับปริญญาโท Master of Business Administration (MBA), Kogod School of Business, American University, Washington, D.C., USA พ.ศ. 2550
- เข้าศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต กลุ่มวิชานวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตย์ (iDea รุ่นที่ 1) สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551

การทำงาน

- ผู้ประสานงานฝ่ายบริหาร บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย