ประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังด้วยฉนวน โดยพิจารณาอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

น.ส.จิราภา เดชจิระกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THERMAL INSULATION PERFORMANCE OF REDUCING HEAT TRANSFER IN WALL SYSTEM BY CONSIDERING WINDOW TO WALL RATIO

Miss Jirapa Dechjirakul

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังด้วยฉนวน โดยพิจารณาอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด
โดย	น.ส.จิราภา เดชจิระกุล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค)

..... กรรมการ
(ดร.ภัทร์ สีอัมพรโรจน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิจชัย จิตขจรวานิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จิราภา เดชจิระกุล : ประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังด้วยฉนวน โดยพิจารณาอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด. (THERMAL INSULATION PERFORMANCE OF REDUCING HEAT TRANSFER IN WALL SYSTEM BY CONSIDERING WINDOW TO WALL RATIO) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.ธนิต จินดาวณิค

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของผนังภายนอกอาคาร เพื่อวางแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประเมินความคุ้มค่าด้านการลงทุนในฉนวนความร้อนแต่ละชนิด โดยแบ่งอาคารเป็น 3 ประเภทตามกฎกระทรวง และมีช่วงระยะอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดแบ่งเป็น 6 ระยะ เริ่มจาก 10% ไปถึง 35% มีช่วงระยะห่างของแต่ละทางเลือกที่ 5% การศึกษาใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code Software, BEC) ทำการศึกษาระบบผนัง 4 ประเภท คือผนังก่ออิฐฉาบปูน, ผนังก่ออิฐมวลเบา, ผนังคอนกรีต และผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่าสำหรับอาคารที่มีการใช้งาน 9 และ 12 ชั่วโมงต่อวัน หากใช้วัสดุคอนกรีตเป็นผนังภายนอกอาคาร สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15%, 20% และ 25% จำเป็นจะต้องติดตั้งฉนวนความร้อน ในขณะที่อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15%, 20%, 25% และ 30% จึงสรุปได้ว่าผนังคอนกรีตมีความจำเป็นมากที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่อนการติดตั้งฉนวนความร้อนที่ไม่ผ่านเกณฑ์เป็นจำนวนมากหากเปรียบเทียบกับระบบผนังประเภทอื่นๆ เมื่อวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Life cycle Cost) ผนังคอนกรีตอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ควรติดตั้งฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. สำหรับผนังคอนกรีตอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10% และ 15% ควรติดตั้งฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 20% และ 25% ควรติดตั้งฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. และสำหรับผนังคอนกรีตยอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15% และ 25% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 20% และ 30% ควรติดตั้งฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. จึงจะมีความคุ้มค่ามากที่สุด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6073306825 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD: Thermal insulation, Wall systems, Energy efficiency, OTTV, WWR

Jirapa Dechjirakul : THERMAL INSULATION PERFORMANCE OF REDUCING HEAT TRANSFER IN WALL SYSTEM BY CONSIDERING WINDOW TO WALL RATIO. Advisor: Assoc. Prof. THANIT CHINDAVANIG

The objective of this research is to study the thermal resistance values of exterior walls for establishing guidelines for improving building energy efficiency. This study also evaluates the value of investment in each type of thermal insulation. The simulated buildings are categorized into 3 types according to the ministerial regulations. Each case will be tested with 6 ranges of translucent wall area ratios per total wall space (WWR), starting from 10% to 35% with an increased interval of 5% for each alternative. The study uses heat transfer value analysis method by using computer program, in order to assess building energy (Building Energy Code Software, BEC). 4 types of wall systems were tested, including brick wall, plaster, lightweight brick wall, concrete wall and brick wall with 10 centimeters air gap in between.

The findings show that, there is a need to install heat insulation for the buildings which operates 9 and 12 hours per day, if using concrete materials as exterior walls, with the window-to-wall ratio of 10%, 15%, 20% and 25%. While the building that operates 24 hours per day requires the installation of thermal insulation, when the ratio of the translucent wall to the total wall area is 15%, 20%, 25% and 30%. Therefore, it can be concluded that the installation of thermal insulation on the concrete wall is necessary for the building to meet the energy efficiency criteria. When analyzing the present value of the concrete wall that is used for 9 hours per day, the installation of fiberglass insulation 32 kg / m³, with the thickness of 50 mm. is recommended. For concrete walls, buildings that are active for 12 hours per day with the WWR of 10% and 15% should install a 50 mm thick polystyrene insulation or a fiber glass insulation 32 kg / m³ of 50 mm thickness. While the building with the WWR ratio of 20% and 30% should install Poly Styrene insulation with thickness of 50 mm. for the best economic value.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Architecture	Student's Signature .....
Academic Year:	2018	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้มีอุปการคุณทุกท่านดังต่อไปนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. ธนิต จินดาวณิค อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้และให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาการศึกษาในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. ภัทร์ สีอัมพรโรจน์ อาจารย์ผู้ให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา และ ผศ. ดร. กิจชัย จิตขจรวานิช กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในหลายๆด้าน

ขอขอบพระคุณ ศ. ดร. บัณฑิต จุลาสัย อาจารย์ผู้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา รศ. พรรณชลัท สุริโยธิน ผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้และให้คำแนะนำในการเรียน และ ผศ.ดร. อรรจน์ เศรษญบุตร อาจารย์ผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้และให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณพระคุณบิดา - มารดา และครอบครัวเดชจิระกุล ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนทั้งทุนทรัพย์และกำลังใจที่ดีตลอดมา ขอขอบคุณนายธนพนธ์ เดชจิระกุล พี่ชายผู้สละเวลาช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ และนางสาวอัญมณี เดชจิระกุล น้องสาวผู้มีส่วนช่วยให้การวิจัยราบรื่น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการดำเนินการและประสานงานการทำวิทยานิพนธ์ตลอดการศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาสนับสนุนและให้คำแนะนำในการดำเนินการวิทยานิพนธ์

จิราภา เดชจิระกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 4

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 แนวคิดการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร 6

2.2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการกนุรักษ์พลังงานในประเทศไทย 7

2.2.1 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน 7

2.2.2 กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 8

2.3 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง 8

2.3.1 เกณฑ์การแบ่งกลุ่มอาคาร 9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.2 นิยามศัพท์ 9
2.4 สมการที่เกี่ยวข้อง 10
2.4.1 สมการคำนวณ OTTV 10
2.4.2 สมการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุน 11
2.5 ชนิดพื้นฐานของฉนวนความร้อน 11
2.5.1 การแบ่งประเภทของฉนวนตามชนิดของวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในการผลิต 11
2.5.2 การแบ่งตามคุณสมบัติฉนวนความร้อนหาได้จากองค์ประกอบของฉนวน 12
2.6 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 15
3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 15
3.2 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 17
3.2.1 การเลือกวัสดุในการวิจัย 17
3.2.2 โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย 17
3.2.3 อาคารต้นแบบที่ใช้ในการวิจัย 19
3.3 การคัดเลือกตัวแปรต้นที่ใช้ในการวิจัย 21
3.3.1 วัสดุผนัง 21
3.3.2 อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio, WWR) 23
3.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient, SC) 23
3.3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนังอาคาร 23
บทที่ 4 ผลการวิจัย 25
4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) 25
4.1.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 25
4.1.2 ผนังก่ออิฐมวลเบา 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 ผนังคอนกรีต 43
4.1.4 ผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร 52
4.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน (Economic Analysis) 61
4.2.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 61
4.2.2 ผนังก่ออิฐมวลเบา 68
4.2.3 ผนังคอนกรีต 73
4.2.4 ผนังก่ออิฐมอญ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร 82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 87
5.1 แนวทางการเลือกใช้ฉนวนในระบบผนังแต่ละประเภท 87
5.1.1 ผลการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังก่ออิฐฉาบปูน 87
5.1.2 ผลการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังก่ออิฐมวลเบา 93
5.1.3 ผลการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังคอนกรีต 99
5.1.4 ผลการจำลองการติดตั้งฉนวนความร้อนที่ผนังก่ออิฐ 2 ด้าน ช่องอากาศ 10 เซนติเมตร 105
5.2 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 111
ภาคผนวก 114
บรรณานุกรม 118
ประวัติผู้เขียน 121

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 วัสดุผนังที่ใช้ในการวิจัย 21

ตารางที่ 2 วัสดุฉนวนกันความร้อน 22

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอก 24

ตารางที่ 4 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวนในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 25

ตารางที่ 5 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวนในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 28

ตารางที่ 6 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 31

ตารางที่ 7 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 34

ตารางที่ 8 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 37

ตารางที่ 9 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 40

ตารางที่ 10 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 43

ตารางที่ 11 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 46

ตารางที่ 12 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 49

ตารางที่ 13 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่อก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 14 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 55

ตารางที่ 15 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 58

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 61

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 64

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง..... 66

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 68

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 70

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง..... 72

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 73

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 76

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง..... 79

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 82

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 84

ตารางที่ 27 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 88

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 89

ตารางที่ 29 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 90

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 91

ตารางที่ 31 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 92

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง..... 93

ตารางที่ 33 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาเพิ่มฉนวนอาคารใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 94

ตารางที่ 34 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 35 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 96
ตารางที่ 36 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 97
ตารางที่ 37 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 98
ตารางที่ 38 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง..... 99
ตารางที่ 39 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ... 100
ตารางที่ 40 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 101
ตารางที่ 41 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตเพิ่มฉนวน อาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 102
ตารางที่ 42 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 103
ตารางที่ 43 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 104
ตารางที่ 44 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง..... 105
ตารางที่ 45 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่อก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 106
ตารางที่ 46 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 107
ตารางที่ 47 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 108
ตารางที่ 48 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 109
ตารางที่ 49 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 สถิติการตรวจแบบประเมินอาคาร 2
รูปที่ 2 อาคารต้นแบบที่จำลองอาคารสำหรับการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง 14
รูปที่ 3 อาคารต้นแบบที่จำลอง..... 14
รูปที่ 4 ตัวอย่างโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร BEC 18
รูปที่ 5 อาคารต้นแบบที่จำลองอาคารสำหรับการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง 20
รูปที่ 6 ตัวเลือกอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนัง 23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 สรุปข้อมูลสถิติการขออนุญาตก่อสร้างอาคารตั้งแต่ปี พ.ศ.2549 - 2560 3

แผนภูมิที่ 2 กฎหมายควบคุมอาคาร 8

แผนภูมิที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 16

แผนภูมิที่ 4 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 27

แผนภูมิที่ 5 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 30

แผนภูมิที่ 6 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 33

แผนภูมิที่ 7 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 36

แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 39

แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 42

แผนภูมิที่ 10 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 45

แผนภูมิที่ 11 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 48

แผนภูมิที่ 12 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง 51

แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตรและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตรและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 57

แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตรและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 60

แผนภูมิที่ 16 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 62

แผนภูมิที่ 17 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 63

แผนภูมิที่ 18 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 63

แผนภูมิที่ 19 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 65

แผนภูมิที่ 20 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 65

แผนภูมิที่ 21 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 66

แผนภูมิที่ 22 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 67

แผนภูมิที่ 23 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 68

แผนภูมิที่ 24 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐมวลเบาที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน 69

แผนภูมิที่ 25 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐมวลเบาที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 71

แผนภูมิที่ 26 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐมวลเบาที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง 73

แผนภูมิที่ 27 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 74

แผนภูมิที่ 28 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 75

แผนภูมิที่ 29 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 75

แผนภูมิที่ 30 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 76

แผนภูมิที่ 31 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 77

แผนภูมิที่ 32 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 78

แผนภูมิที่ 33 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 78

แผนภูมิที่ 34 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน..... 79

แผนภูมิที่ 35 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 36 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 81
แผนภูมิที่ 37 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 81
แผนภูมิที่ 38 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง..... 82
แผนภูมิที่ 39 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 83
แผนภูมิที่ 40 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน..... 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาวะแวดล้อมทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว จากปัจจัยสำคัญอาทิการพัฒนาของเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วในทุกสาขา กระแส Climate Change ที่ส่งผลให้ทุกภาคส่วนมุ่งไปสู่เศรษฐกิจและสังคมสีเขียว คณะกรรมการปฏิรูปประเทศด้านพลังงาน เห็นว่าต้องเตรียมความพร้อมระบบพลังงานปรับปรุงวิธีการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (กระทรวงพลังงาน, 2558a) ที่ต้องนำปัจจัยด้านการอนุรักษ์พลังงานมาร่วมพิจารณา เพราะปัจจุบันสภาวะอากาศและสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยมีความเปลี่ยนแปลงจากอดีตเป็นอย่างมาก อุณหภูมิความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบ ต่อทุกภาคส่วน สร้างความเสียหายต่อเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากการใช้พลังงานในภาคอาคารมีสัดส่วนการใช้พลังงานค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มที่จะมีการใช้พลังงานมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร จึงเป็นวิธีการที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งที่ทำให้มั่นใจได้ว่าประเทศไทยจะลดการใช้พลังงานลง และจะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในอนาคต ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอนาคตที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง Building Energy Code (BEC) เป็นเครื่องมือสำคัญที่จะทำให้ศักยภาพการประหยัดพลังงานเกิดขึ้นได้จริงในภาคอาคาร (กระทรวงพลังงาน, 2559)

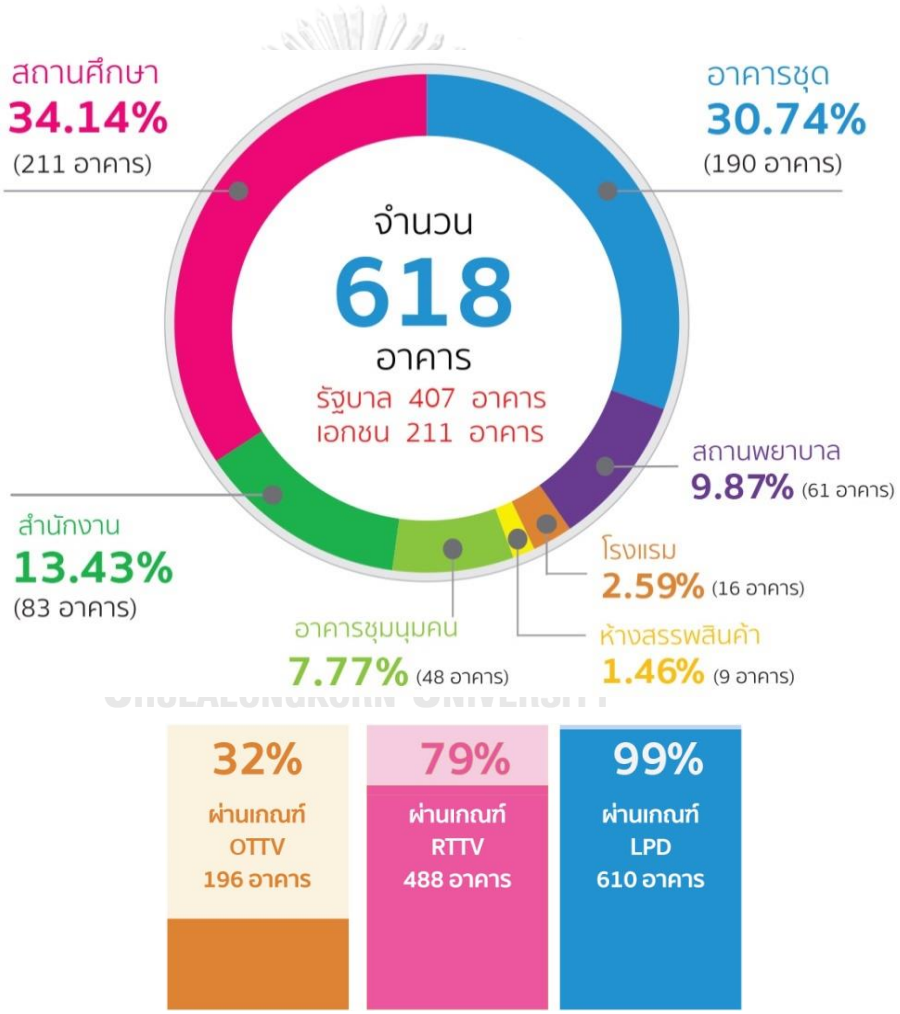
สภาพภูมิอากาศมีความแตกต่างกันตามพื้นที่ ใน การออกแบบหรือปรับปรุงอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจำเป็นต้องศึกษาอาคาร เพื่อให้โครงการมีประสิทธิภาพและเห็นผลที่ชัดเจน เนื่องจากพื้นที่รับอุณหภูมิความร้อนจากสภาวะแวดล้อมภายนอกคือระบบเปลือกอาคาร ซึ่งประกอบด้วยระบบหลังคาและระบบผนังอาคาร ทั้งสองส่วนมีความสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศ ทั้งนี้ประเภทและลักษณะอาคาร งานระบบภายในอาคาร เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร ยังส่งผลถึงการถ่ายเทความร้อนของอาคาร และวัสดุต่างๆที่นำมาใช้ในส่วนของผนังอาคารมีคุณสมบัติและมวลสารที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ต่างกัน

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานในภาคอาคารค่อนข้างสูงโดยคิดเป็นร้อยละ 17.6 ของความต้องการพลังงานรวมของประเทศ ดังนั้น ภาคอาคารจึงมีบทบาทสำคัญที่จะช่วยทำให้แผนอนุรักษ์พลังงานบรรลุตามเป้าหมายได้ โดยเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร หรือ Building Energy Code (BEC) สามารถเข้ามามีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอาคารได้ตั้งแต่เริ่มต้นออกแบบอาคาร BEC คือเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

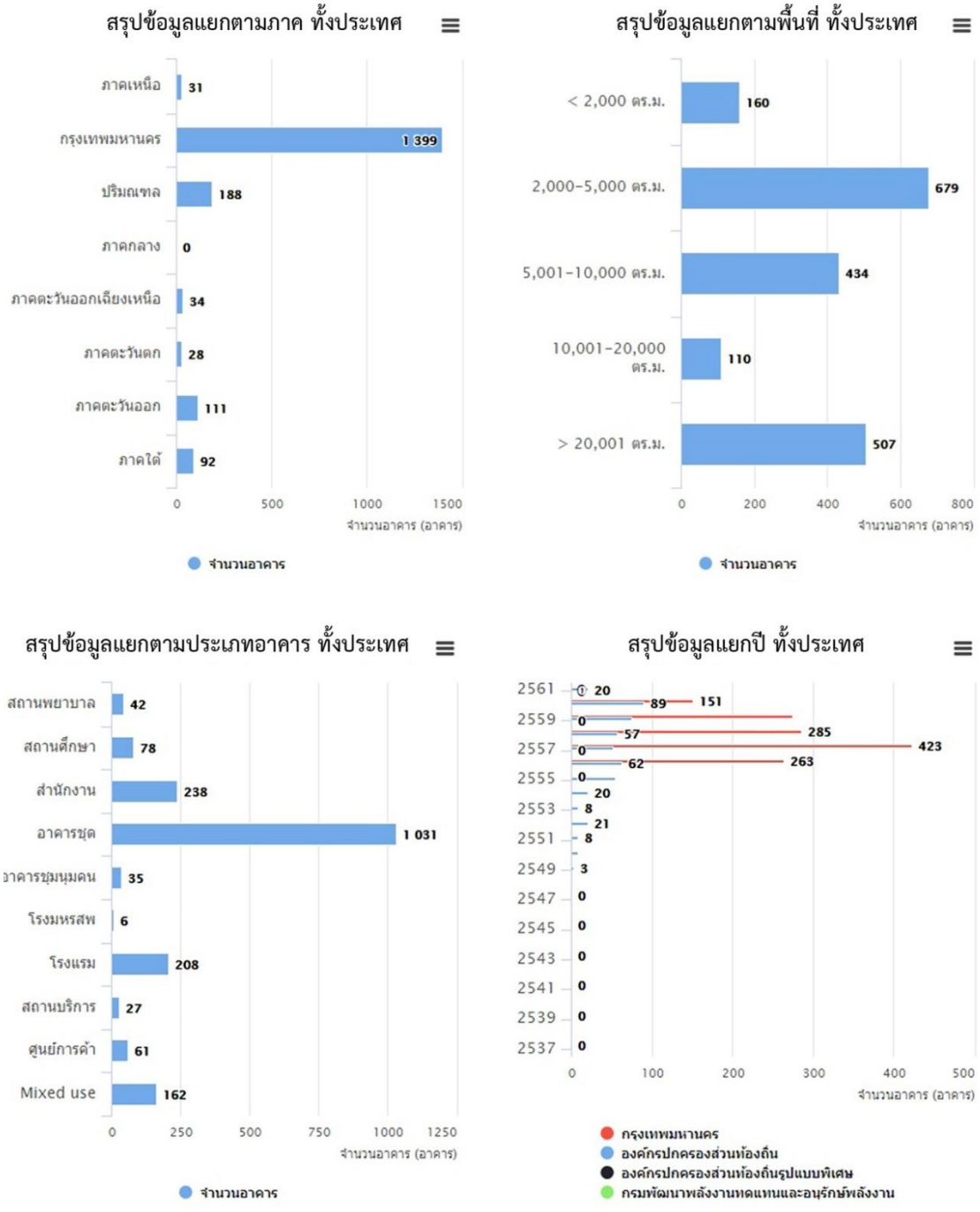
ขั้นต่ำในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง ออกโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งออกเป็นกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 (กระทรวงพลังงาน, 2558b)

ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานให้บริการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 (มาตรฐาน Building Energy Code, BEC) ตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนถึงปัจจุบัน (พ.ศ. 2560) จำนวน 618 อาคาร จากผลการตรวจประเมินพบว่าอาคารผ่านเกณฑ์ OTTV จำนวน 196 อาคาร (32%)ผ่านเกณฑ์ RTTV จำนวน 488 อาคาร (79%) และผ่านเกณฑ์ LPD จำนวน 610 อาคาร (99%) ดังภาพที่ 1-1



รูปที่ 1 สถิติการตรวจแบบประเมินอาคาร

ที่มา : http://old.2e-building.com/list.php?cat=download&page=1



แผนภูมิที่ 1 สรุปข้อมูลสถิติการขออนุญาตก่อสร้างอาคารตั้งแต่ปี พ.ศ.2549 - 2560
ที่มา : http://bec.dede.go.th/becdb/#home

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลมวลสารและค่าความต้านทานความร้อนของผนังภายนอกอาคาร เพื่อการวางแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดย

วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนในโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (BEC) สัมประสิทธิ์ในสมการการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารตามกฎหมายกระทรวงพลังงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารด้วยการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารให้สามารถลดใช้พลังงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนของระบบผนังด้วยวัสดุฉนวนกันความร้อน

1.2.2 วิเคราะห์แนวทางการออกแบบผนังภายนอกของอาคารเพื่อการลดใช้พลังงานในอาคาร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานของฉนวนกันความร้อน ในที่นี้ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ฉนวนกันความร้อนในประเทศไทยเท่านั้น

1.3.2 ทำการศึกษาระบบผนังโดยใช้เกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารควบคุมตามประกาศกระทรวงพลังงาน กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552

1.3.3 ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนเฉพาะระบบผนังทึบตันเท่านั้น

1.3.4 ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของการปรับปรุงวัสดุฉนวนกันความร้อนและการลดใช้พลังงานของผนัง

1.3.5 ทำการศึกษาโดยกำหนดอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด โดยแบ่งเป็น **6** ทางเลือก เริ่มจาก **10%** ไปถึง **35%** โดยมีช่วงระยะห่างของแต่ละทางเลือกที่ **5%**

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษาใช้วิธีการจำลองค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (BEC) และนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ และตรวจสอบผลของการใช้พลังงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและสมการที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของระบบผนังอาคาร

1.4.2 ศึกษาข้อมูลวัสดุผนังภายนอกอาคารได้แก่ มวลสาร และค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

1.4.3 กำหนดกรณีศึกษา และประเมินผลด้วยวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนในโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (BEC) 3 ประเภท ตามกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552

1.4.4 วิเคราะห์การลงทุนด้านการเงินของค่าการลงทุนติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบผลรวมของพลังงานไฟฟ้า, ค่าไฟฟ้ารายปีกับค่าเงินลงทุน และระยะเวลาในการคืนทุน

1.4.5 สรุปผลการศึกษา เพื่อใช้แนวทางการนำไปออกแบบอาคารให้เหมาะสม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการเลือกฉนวนกันความร้อนในการก่อสร้างผนังอาคาร และทราบถึงแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร

1.5.2 สามารถใช้เป็นแนวทางการศึกษาปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบผนังอาคารทั้งสามประเภทตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552

1.5.3 เพื่อใช้เป็นแนวทางการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงินของการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนของผนังอาคาร และการลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

ตามที่กระทรวงพลังงานได้มีการประกาศใช้กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและหลักเกณฑ์วิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 โดยกำหนดให้อาคาร 9 ประเภท ในแต่ละอาคารที่มีขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป จะต้องมีการออกแบบอาคารและระบบต่างๆ ที่ใช้พลังงานให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงฯ อย่างไรก็ตาม กฎกระทรวงฯ นี้ไม่สามารถบังคับได้ตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากอำนาจในการอนุญาตแบบอยู่ที่พนักงานท้องถิ่นภายใต้ พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร โดยมาตรา 20 แห่ง พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน จึงได้ระบุให้คณะกรรมการควบคุมอาคารพิจารณาให้ความเห็นชอบกฎกระทรวงฯ ดังกล่าวก่อนมีผลบังคับใช้ โดยให้ถือเสมือนเป็นกฎกระทรวงฯ ที่ออกตามมาตรา 8 แห่ง พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร

ช่วงปลายปี พ.ศ. 2553 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ภายใต้กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2554 – 2573 ภายใต้แผนดังกล่าวประเทศไทยมีเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ต่อ GDP ลงร้อยละ 25 ภายในปี พ.ศ. 2573 โดยเทียบกับ พ.ศ. 2553 ต่อมาในปี พ.ศ. 2558 ได้มีการปรับปรุงแผนอนุรักษ์พลังงานโดยขยายเป้าหมายการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานให้ลดความเข้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2579 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2553 นำไปสู่สัญญาณที่ดีในการตระหนักถึงการออกแบบ สำนึกเรื่องพลังงาน (Energy Conscious Design) มากขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ตามเจตนารมณ์ของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ที่มีเป้าหมายในการลดความเข้มข้น การใช้พลังงาน (Energy Intensity) ลงร้อยละ 25 ในปี พ.ศ. 2573 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2548 หรือเทียบเท่าการลดการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายลงร้อยละ 20 ในปี พ.ศ. 2573 หรือประมาณ 30,000 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) (กระทรวงพลังงาน, 2558b) ซึ่งจากการวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในอาคารพบว่า ระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงาน 65% และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 25% ดังนั้นการประหยัดพลังงานในอาคารส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปที่การลดใช้พลังงานในการดำเนินกิจกรรมในอาคาร (Operation) และการออกแบบระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูง แต่อย่างไรก็ตามหากตัวอาคารเองไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนแล้วนั้น การประหยัดพลังงานก็ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้อย่างยั่งยืน (กระทรวงพลังงาน, 2558c)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการกนุรักษ์พลังงานในประเทศไทย

2.2.1 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

การขยายตัวของเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องในช่วงปี พ.ศ. 2530 – 2535 ในภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจ เกิดการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่งผลถึงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารส่วนใหญ่อยู่ที่ระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การออกแบบอาคารโดยคำนึงถึงผลการใช้พลังงานภายในอาคารจึงเป็นสิ่งสำคัญที่หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องคือ กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (ปัจจุบันคือ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน) ให้ความสำคัญ ดังนั้น พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 จึงเกิดขึ้น เริ่มบังคับใช้เมื่อ พ.ศ. 2538 และมีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) ถูกตราขึ้นในปี พ.ศ. 2550 นอกจากนี้ได้มีพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 และกฎกระทรวงตามความในพระราชบัญญัติฯ ดังกล่าวอีก 8 ฉบับ (พรรณจิรา ศรีสุธาพรรณ และ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2556) คือ

1. กฎกระทรวง พ.ศ. 2538 มาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการที่เจ้าของอาคารควบคุมต้องอนุรักษ์พลังงาน ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารของตน

2. กฎกระทรวง ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2538 หลักเกณฑ์ วิธีการ และแบบสำหรับการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน การติดตั้งหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีผลต่อการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน และระยะเวลาที่เจ้าของอาคารควบคุมมีหน้าที่ต้องส่งข้อมูลดังกล่าวแก่ กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

3. กฎกระทรวง ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2538 หลักเกณฑ์ วิธีการ และระยะเวลาในการกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานที่เจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดทำตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติการตามเป้าหมายและแผนดังกล่าวและจัดส่งแก่กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

4. กฎกระทรวง ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2538 กำหนดแบบบัตรประจำตัวเจ้าหน้าที่

5. กฎกระทรวง ฉบับที่ 5 พ.ศ. 2538 กำหนดแบบและระยะเวลาที่เจ้าของโรงงานควบคุมต้องส่งข้อมูลการใช้และอนุรักษ์พลังงาน และกำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการในการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน การติดตั้งหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีผลต่อการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน

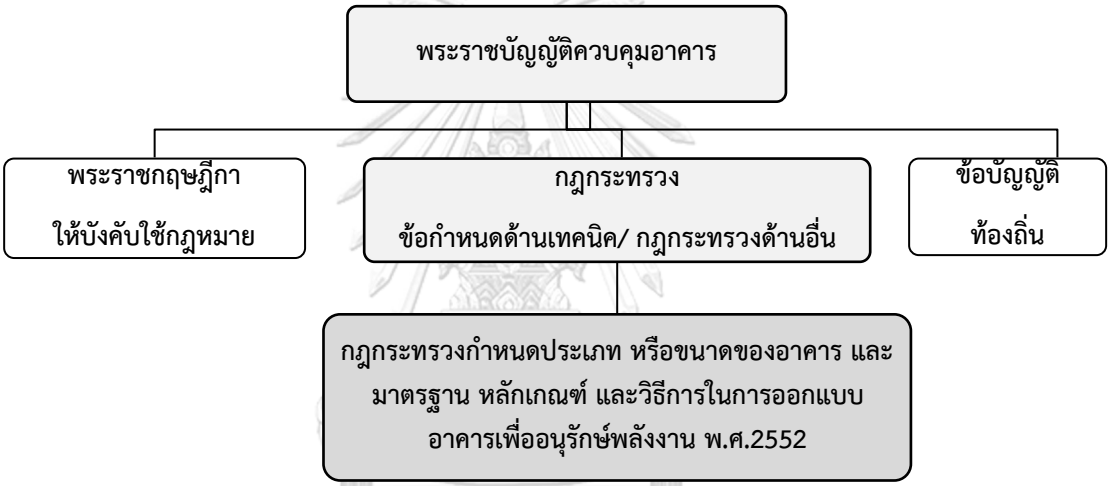
6. กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2538 กำหนดให้เจ้าของโรงงานควบคุมมีหน้าที่กำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานตามหลักเกณฑ์ วิธีการและระยะเวลาที่กำหนดและต้องการตรวจสอบวิเคราะห์ การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานดังกล่าว

7. กฎกระทรวงว่าด้วยหลักเกณฑ์ วิธีการ และระยะเวลาในการส่งข้อมูลและการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2547

8. กฎกระทรวงว่าด้วยหลักเกณฑ์ วิธีการ และระยะเวลาในการกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานควบคุม และอาคารควบคุม พ.ศ. 2547

และพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2550

2.2.2 กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552



แผนภูมิที่ 2 กฎหมายควบคุมอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง

BEC คือเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง ซึ่งได้รับการบรรจุในกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 กระทรวงพลังงาน ประกอบด้วยการออกแบบระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร หรือ Overall Thermal Transfer Value (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา หรือ Roof Thermal Transfer Value (RTTV) เป็นตัวแสดงประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานของกรอบอาคาร ค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อตารางเมตร หรือ Lighting Power Density (LPD) เป็นตัวเลขแสดงประสิทธิภาพในการส่องสว่าง ค่าสัมประสิทธิ

สมรรถนะ หรือ Coefficient of Performance (COP) เป็นตัวเลขแสดงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ

2.3.1 เกณฑ์การแบ่งกลุ่มอาคาร

เกณฑ์ BEC ของไทย มีสมมติฐานในการแบ่งอาคารออกเป็น 3 กลุ่มตามช่วงเวลาการใช้ เนื่องจากระยะเวลาการใช้งานอาคารที่แตกต่างกันจพมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหนังคาจากภายนอกอาคารที่แตกต่างกัน ทั้ง 3 กลุ่ม (กระทรวงพลังงาน, 2559) จำแนกได้ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 ใช้งานวันละ 9 ชั่วโมง (เวลา 8.00 - 17.00) ได้แก่ สถานศึกษา สำนักงาน

กลุ่มที่ 2 ใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง (เวลา 10.00 - 22.00) ได้แก่ โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ และอาคารชุมนุมคน

กลุ่มที่ 3 ใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง ได้แก่ สถานพยาบาล อาคารชุด โรงแรม

2.3.2 นิยามศัพท์

1. สถานศึกษา (Educational Institution) หมายความว่า สถานพัฒนาเด็กปฐมวัย โรงเรียน ศูนย์การเรียน วิทยาลัย สถาบัน มหาวิทยาลัย หน่วยงานการศึกษาหรือหน่วยงานอื่นของรัฐหรือของเอกชนที่มีอำนาจหน้าที่ หรือมีวัตถุประสงค์ในการจัดการศึกษา

2. อาคารห้างสรรพสินค้า (Department Store or Shopping Center) หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นอาคารพาณิชย์สำหรับแสดงหรือขายสินค้าต่างๆ

3. สถานพยาบาล (Infirmary) หมายความว่า สถานที่รวมตลอดถึงยานพาหนะซึ่งจัดไว้เพื่อ การประกอบโรคศิลปะ การประกอบวิชาชีพเวชกรรม การประกอบวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ การประกอบวิชาชีพทันตกรรม การประกอบวิชาชีพกายภาพบำบัด หรือการประกอบวิชาชีพเทคนิคการแพทย์ ทั้งนี้ โดยกระทำเป็นปกติธุระไม่ว่าจะได้รับประโยชน์ตอบแทนหรือไม่ แต่ไม่รวมถึงสถานที่ขายยา ซึ่งประกอบธุรกิจการขายยาโดยเฉพาะ

4. โรงแรม (Hotel) หมายความว่า สถานที่พักที่จัดตั้งขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ในทางธุรกิจ เพื่อให้บริการที่พักชั่วคราวสำหรับคนเดินทางหรือบุคคลอื่นใดโดยมีค่าตอบแทน ทั้งนี้ไม่รวมถึงสถานที่พักที่จัดตั้งขึ้นเพื่อให้บริการที่พักชั่วคราวซึ่งดำเนินการโดยส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การมหาชน หรือหน่วยงานอื่นของรัฐ และสถานที่พักที่จัดตั้งขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้บริการที่พักอาศัย โดยคิดค่าบริการเป็นรายเดือน

5. อาคารชุมนุมคน (Conventional building) หมายความว่า อาคารหรือส่วนใดของอาคารที่บุคคลอาจเข้าไปภายใน เพื่อประโยชน์ในการชุมนุมคนที่มีพื้นที่ตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป หรือชุมนุมคนได้ตั้งแต่ห้าร้อยคนขึ้นไป

6. โรงมหรสพ (Theater or Caterer) หมายความว่า อาคารหรือส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นสถานที่ สำหรับฉายภาพยนตร์ แสดงละคร แสดงดนตรี หรือการแสดงรื่นเริงอื่นใด และมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปิดให้สาธารณชน เข้าชมการแสดงนั้นเป็นปกติธุระ โดยจะมีค่าตอบแทนหรือไม่ก็ตาม

7. สถานบริการ (Entertainment Establishment) หมายความว่า สถานที่ที่ตั้งขึ้นเพื่อให้บริการโดยหวังประโยชน์ในทางการค้า เช่น สถานเต้นรำ รำวง หรือรองเง็งสถานที่ที่มีอาหาร สุรา น้ำชา หรือหรือเครื่องดื่มอย่างอื่น จำหน่ายหรือให้บริการ และสถานอาบน้ำ นวด หรืออบตัว

8. อาคารชุด (Condominium) หมายความว่า อาคารที่บุคคลสามารถแยกการถือกรรมสิทธิ์ออกได้เป็นส่วนๆ โดยแต่ละส่วนประกอบด้วยกรรมสิทธิ์ในทรัพย์ส่วนบุคคลและกรรมสิทธิ์ร่วมในทรัพย์ส่วนกลาง

9. สำนักงาน (Office) หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นสำนักงานหรือที่ทำการที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 300 ตารางเมตร ขึ้นไปแต่ละส่วนประกอบด้วยกรรมสิทธิ์ในทรัพย์ส่วนบุคคลและกรรมสิทธิ์ร่วมในทรัพย์ส่วนกลาง

2.4 สมการที่เกี่ยวข้อง

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Internal Heat Gain) เกิดได้จากตัวคนหรือผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น หลอดไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ ตู้เย็น โทรทัศน์ เป็นต้น และความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคาร (External Heat Gain) เกิดจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ด้วยกระบวนการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. การนำความร้อน (Conduction) จากภายนอกเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางผนังภายนอก ทั้งผนังทึบ ผนังโปร่งแสง พื้น ฝ้าเพดาน และหลังคา

2. การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) โดยตรงผ่านพื้นที่ผนังโปร่งแสง เช่น หน้าต่างกระจก หลังคาโปร่งแสง หรือ Skylight ซึ่งประเทศไทยได้รับผลกระทบอย่างมาก เนื่องจากที่ตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรของโลก

3. การพาความร้อน (Convection) เป็นความร้อนที่มากับอากาศภายนอกที่นำ เข้ามา เพื่อการระบายอากาศภายใน (Ventilation) รวมถึงอากาศภายนอกที่แทรกซึมเข้ามาภายในอาคารตามช่องเปิดต่างๆ

2.4.1 สมการคำนวณ OTTV

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) คำนวณได้การสมการดังนี้

$$OTTV = \frac{(Aw_1)(OTTV_1) + (Aw_2)(OTTV_2) + \ldots + (Aw_i)(OTTV_i)}{(Aw_1) + (Aw_2) + \ldots + Aw_1}$$

A_i = พื้นที่หน้าต่างทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (m^2) ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง

$OTTV_1$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m^2) ซึ่งคำนวณได้จากสมการข้างต้น

2.4.2 สมการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุน

Present Worth มีหน่วยเป็นบาท

$$P = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right]$$

Present Woth ใช้ค่า Annual to Present Value (A→P) ตัวแปรที่ใช้เปลี่ยนเงินรายปีมาเป็นปัจจุบันคือ Uniform Present Worth (UPW) ค่าจาก Factor A เป็น P = 6.7101

n = Life in Years (อายุการใช้งานของฉนวนเฉลี่ยที่ 10 ปี)

i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7%

2.5 ชนิดพื้นฐานของฉนวนความร้อน

ฉนวนโดยทั่วไปหมายถึงวัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุใดๆ หรือการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ระหว่างวัตถุสามารถเกิดขึ้นได้ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองมีความแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนนั้น มี 3 วิธี โดยอาจเกิดขึ้นจากวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายๆวิธีพร้อมกัน ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

ในการจำแนกประเภทของฉนวนกันความร้อนสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้หรือกำหนดขึ้น เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปอ้างอิงถึง วิธีการหนึ่งที่แบ่งฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation) ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ฉนวนมวลสาร และฉนวนสะท้อนความร้อน

2.5.1 การแบ่งประเภทของฉนวนตามชนิดของวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในการผลิต

1. วัสดุประเภทใยแร่ (Mineral Fibrous Material) เช่น ใยหิน (Rock Wool) ขี้โลหะที่ได้จากการถลุงโลหะ (Slag) ใยแก้ว (Glass Fiber or Glass Wool)

2. วัสดุประเภทเส้นใยธรรมชาติ (Organic Fibrous Material) เช่น ไม้ (Wood) ชานอ้อย (Cane) ฝ้าย (Cotton) ขนสัตว์ (Hair) เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) ใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber)

3. วัสดุประเภทเซลล์ธรรมชาติ (Organic Cellular Material) เช่น ไม้ก๊อก (Cork) โฟมยาง (Foamed Rubber) โพลีสไตรีน (Polystyrene) โพลียูรีเทน (Polyurethane)

4. วัสดุประเภทเซลล์แร่ (Mineral Cellular Material) เช่น แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate) เพอร์ไลท์ (Perlite) เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) โฟมคอนกรีต (Foamed Concrete) (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2554)

2.5.2 การแบ่งตามคุณสมบัติฉนวนความร้อนหาได้จากองค์ประกอบของฉนวน

1. ฉนวนชั้นอากาศหรือฟิล์มอากาศ อาจถูกประกอบเป็นพื้นผิวเดียวอย่างง่ายหรืออาจเป็นพื้นผิวหลายๆชั้น ซึ่งมีอากาศอยู่ระหว่างชั้นของพื้นผิวความต้านทานความร้อนจะเกิดจากชั้นของพื้นผิวเองและชั้นของอากาศ ในลักษณะนำความร้อนหรือพาความร้อนค่อมระหว่างชั้นอากาศนี้

2. ฉนวนแบบเซลล์ (Cellular meterial) ประกอบไปด้วยเซลล์เล็กๆที่ผลึกติดกับเซลล์อื่นๆ ฉนวนแบบเซลล์ผลิตขึ้นจาก แก้ว พลาสติก และยาง ตัวอย่างของฉนวนชนิดนี้ เช่น เซลล์ลูลาร์กลาส (Cellular glass)โฟมอิแลซโตเมริคแบบขยายตัว โฟมโพลิสไตรีน โฟมโพลิไอโซยารนูเรต โพลิยูรีเทน และโฟมยูเรียฟอร์มาลดีไรด์

3. ฉนวนแบบเส้นใย (Fibrous meterial) ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กๆจำนวนมาก เส้นใยเหล่านี้อาจทำมาจากวัสดุอินทรีย์ อย่างเช่น เส้นผม ใยพืชต่างๆ หรืออาจทำจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยหิน ใยขี้โลหะ ใยอะลูมินาซิลิกา ใยแร่ใยหิน (Asbestos) หรือใยคาร์บอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ฉนวนแบบเกล็ด (Flake meterial) ประกอบไปด้วยอนุภาคขนาดเล็ก อนุภาคหรือเกล็ดเหล่านี้อาจถูกเทเข้าไปในช่องอากาศ หรือทำให้เกาะตัวเข้าด้วยกัน เพื่อทำเป็นรูปทรงฉนวนที่แข็ง ฉนวนแบบเกล็ดที่มีรูปทรงแข็งสามารถใช้งานเป็นฉนวนท่อหรือการใช้งานด้านอื่นๆในลักษณะเป็นบล็อกหรือแผ่นอัด ฉนวนแบบเกล็ดที่รู้จักกันทั่วไป คือ เพอร์ไลต์ และเวอร์มิคูไลต์

5. ฉนวนแบบเกรนนูลาร์ (Granular meterial) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็นโพรงหรือกลวง ซึ่งช่องกลวงเหล่านี้สามารถถ่ายเทอากาศระหว่างกันและกันได้ จึงทำให้แตกต่างจากฉนวนแบบเซลล์ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนชนิดนี้อาจเป็นทแมกนีเซียม แคลเซียมซิลิเกต ดินไดอะตอม (Diatomaccous earth) หรือ ไม้ก๊อกพืช (Vegetable cork) วัสดุ 3 ชนิดแรกส่วนใหญ่จะใช้เป็นฉนวนในระบบท่อทางด้านอุตสาหกรรม ส่วนไม้ก๊อกจะใช้งานกับการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ

6. ฉนวนแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี (Reflective foils) ประกอบด้วยแผ่นบางขนาดที่มีสภาพการสะท้อนรังสีความร้อนสูง หรือสภาพการแผนรังสีต่ำทโดยแผ่นบางเหล่านี้จะเป็นช่องเพื่อ

สะท้อนรังสีความร้อนกลับ เนื่องจากแต่ละแผ่นที่แยกจากกันจะทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการนำความร้อน และการพาความร้อนลดลง การประยุกต์ใช้ฉนวนแผ่นบางส่วนใหญ่จะใช้เป็นระบบมากกว่าใช้วัสดุชนิดเดียว โดยจะใช้งานกับวัตถุที่อุณหภูมิสูง เมื่อการถ่ายเทความร้อนชนิดแผ่รังสีความร้อน มีปริมาณมากกว่าการถ่ายเทความร้อนอีก 2 แบบคือ การนำและการพา เนื่องจากฉนวนแบบแผ่นบางมักจะถูกใช้ผิดที่ หรือใช้งานไม่เหมาะสม จึงทำให้ผลที่ได้ในระบบฉนวนของอาคารจำกัดลงมาก การใช้งานที่จะก่อให้เกิดประสิทธิผลต้องใช้แผ่นบาง ผิวสะท้อนรังสีร่วมกับช่องอากาศที่มีสภาวะในลักษณะอากาศอยู่นิ่งไม่เคลื่อนที่ (ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2521)

2.6 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 กษิดา ชำนาญดี

ได้ทำงานวิจัยศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ เมื่อมีสภาวะใช้งานปรับอากาศที่มีรูปแบบแตกต่างกัน (กษิดา ชำนาญดี, 2554)

1. งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศและสภาวะที่มีการปรับอากาศ ด้วยการสร้างห้องทดลอง ขนาด 3.00x3.00 เมตร สูง 2.50 เมตร จำนวน 2 ห้อง

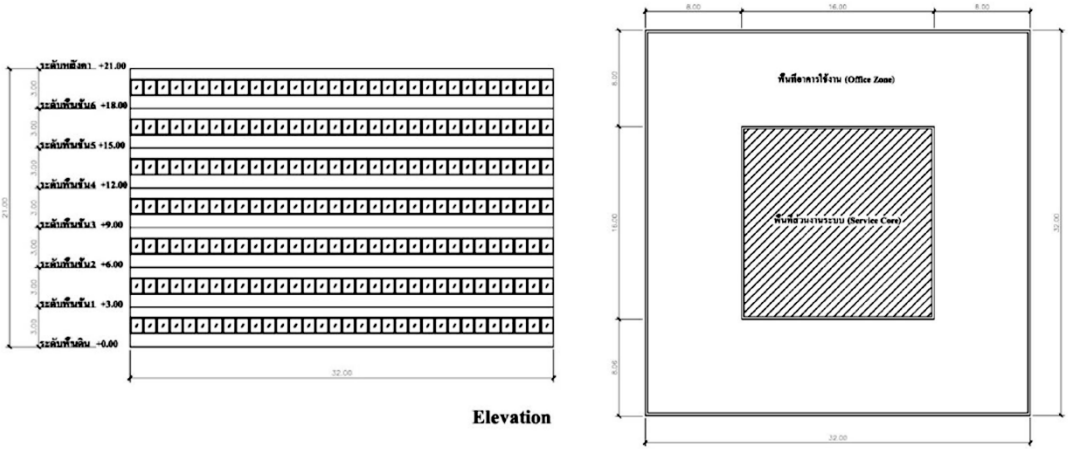
2. ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ หรือสภาวะที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง การติดตั้งฉนวนภายนอกเป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสม เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดี ทำให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต่ำและมีความคงที่ ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ

3. ส่วนในสภาวะที่มีการเปิด–ปิดเครื่องปรับอากาศเป็นช่วงเวลา การติดตั้งฉนวนภายในเป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสม เนื่องจากใช้พลังงานปรับอากาศช่วงเริ่มต้นน้อย

2.6.2 อรรจน์ เศรษฐบุตร

ได้ทำการวิจัยอาคารต้นแบบที่จำลองอาคารสำหรับการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังในงานวิจัยการจัดทำมาตรฐานค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนต่อหัวของผู้ใช้อาคารสำหรับอาคารสำนักงานในประเทศไทย ด้วยวิธี Life Cycle Assessment (LCA) โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

พบว่าอาคารสี่เหลี่ยมจัสตุรัสซึ่งมีจำนวนมากในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล โดยเป็นอาคารที่มีพื้นที่ไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร ความสูงไม่เกิน 7 ชั้น มีความสูงไม่เกิน 23 เมตร เป็นอาคารที่เหมาะสมในการนำมาวิจัย (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2555)



รูปที่ 2 อาคารต้นแบบที่จำลองอาคารสำหรับการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง

2.6.3 ชนิกานต์ ยิ้มประยูร

กล่าวถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคาร หรือที่เรียกว่า Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) คือวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ที่พิจารณาค่าใช้จ่ายตั้งแต่เริ่มต้นของโครงการ การใช้งาน การบำรุงรักษา (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558)

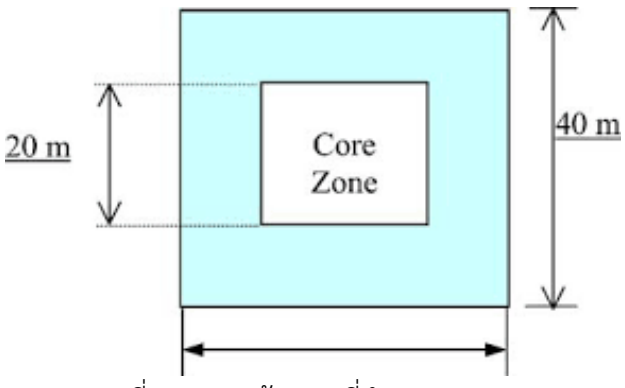
การเลือกช่วงเวลาในการศึกษาหรืออายุของโครงการต้องเท่ากัน อาจจะสั้น 5-10 ปี หรือยาว แต่ไม่ควรเกิน 40 ปี ระเวลาเวลาที่เลือกนี้จะมีผลอย่างมากต่อการวิเคราะห์

2.6.4 Surapong Chirarattananon และ Juntakan Taveekun

ได้ทำงานวิจัย An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand โดยการใช้ OTTV เป็นตัวชี้วัดการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยทั่วทั้งอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล่าวถึงรายงานอาคารสำานักงานต้นแบบเพื่อพัฒนาสูตรการคำานวณ OTTV และสมการพลังงาน มีการใช้อาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังรูป (Chirarattananon & Taveekun, 2004)



รูปที่ 3 อาคารต้นแบบที่จำลอง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

งานวิจัยประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังด้วยฉนวน เป็นการศึกษาอิทธิพลของวัสดุฉนวนแต่ละชนิด และอัตราส่วนพื้นที่ช่องปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ที่มีผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคาร 3 ประเภทตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยทำการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Building Energy Code (BEC) มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแผนภูมิที่ 3-1

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผนังอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร

ระบบกรอบอาคาร ประกอบด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall thermal transfer value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof thermal transfer value, RTTV) มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ดังนี้

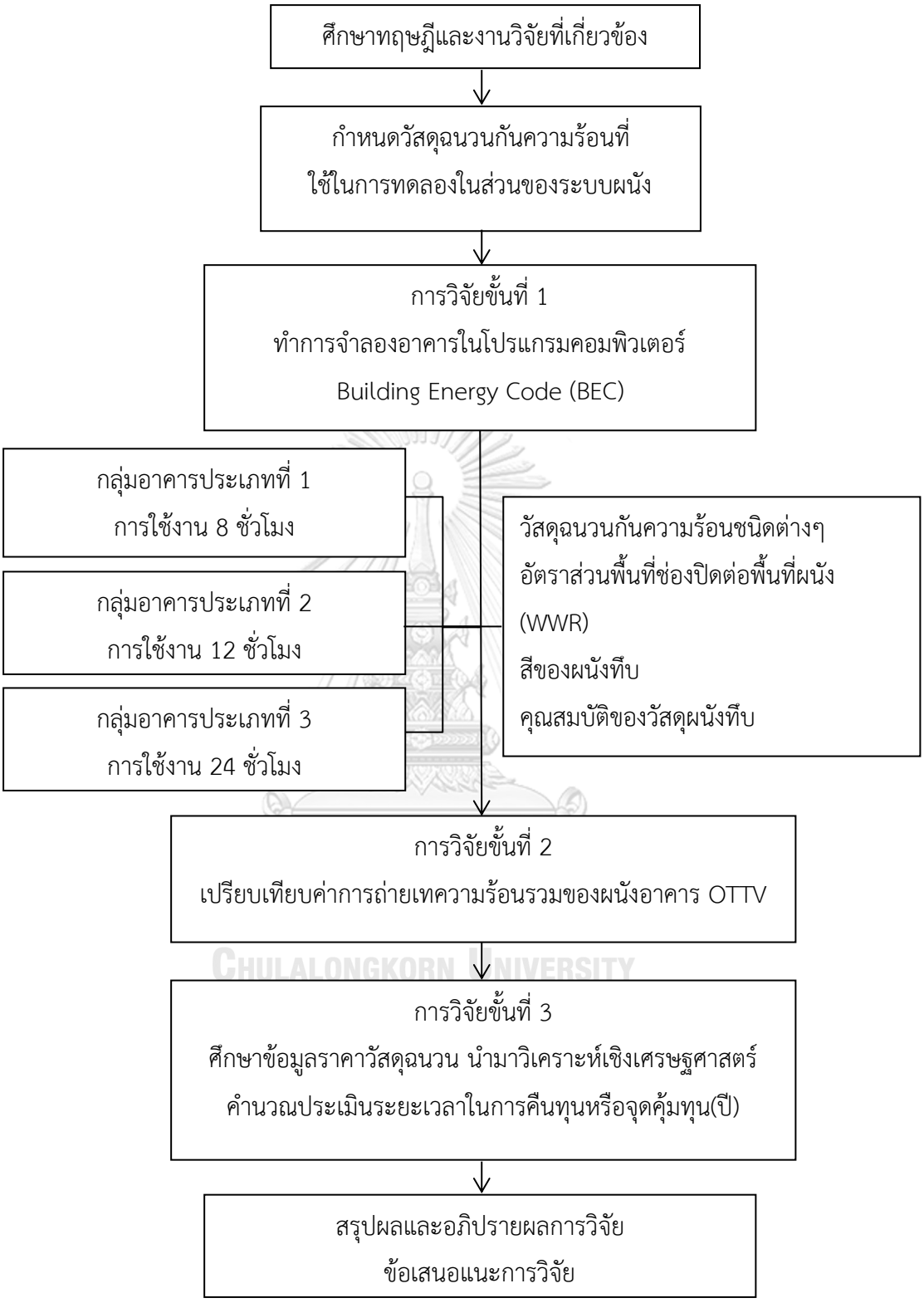
1. คุณสมบัติของวัสดุผนังทึบและวัสดุผนังโปร่งแสง ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (p) ความจุความร้อนจำเพาะ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์(Solar heat gain coefficient, SHGC) เป็นต้น

2. อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio, WWR)

3. ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient, SC) มีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยที่ค่า SC=1 หมายถึงผนังไม่มีการบังของอุปกรณ์บังแดด

4. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนังอาคาร อ้างอิงตามสีอ่อน-สีเข้ม (ราชกิจจานุเบกษา, 2552, 20 กุมภาพันธ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 การเลือกวัสดุในการวิจัย

การเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนในการทดลองจากการที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศ และข้อมูลฃจากเอกสารต่างๆดังนี้

1. เอกสารประกอบหลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงาน[1]

2. แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม[2]

3. ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ฉนวนกันความร้อน[3]

4. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลฉนวนกันความร้อนจากผู้ประกอบการภายในประเทศ

3.2.2 โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร Building Energy Code Software: BEC Software เป็นโปรแกรมที่อำนวยความสะดวกในการตรวจและประเมินการออกแบบอาคาร ว่าเป็นไปตามที่กฎกระทรวงกำหนดหรือไม่ รวมทั้งช่วยสถาปนิก/วิศวกร ในการกำหนดแบบอาคารให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน โดยนำค่าต่างๆที่จำเป็นป้อนลงในโปรแกรม โดยโครงสร้างโปรแกรม BEC แบ่งเป็นส่วนต่างๆดังนี้ (กระทรวงพลังงาน)

1. ฐานข้อมูล (Database)
   - ข้อมูลกรอบอาคาร (Envelope)
   - ข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting System)
   - ข้อมูลระบบปรับอากาศ (A/C System)
   - ข้อมูลระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV System)
   - ข้อมูลระบบทำความร้อน (Hot Water System)
   - ข้อมูลอุปกรณ์การใช้ไฟฟ้าอื่นๆ (Other)
2. แบบจำลองอาคาร(Building Model)
   - การสร้างแบบจำลองอาคาร (Building Zone)
   - การป้อนข้อมูลระบบอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับอาคาร
3. รายงานผลวิเคราะห์การใช้พลังงาน(Report)

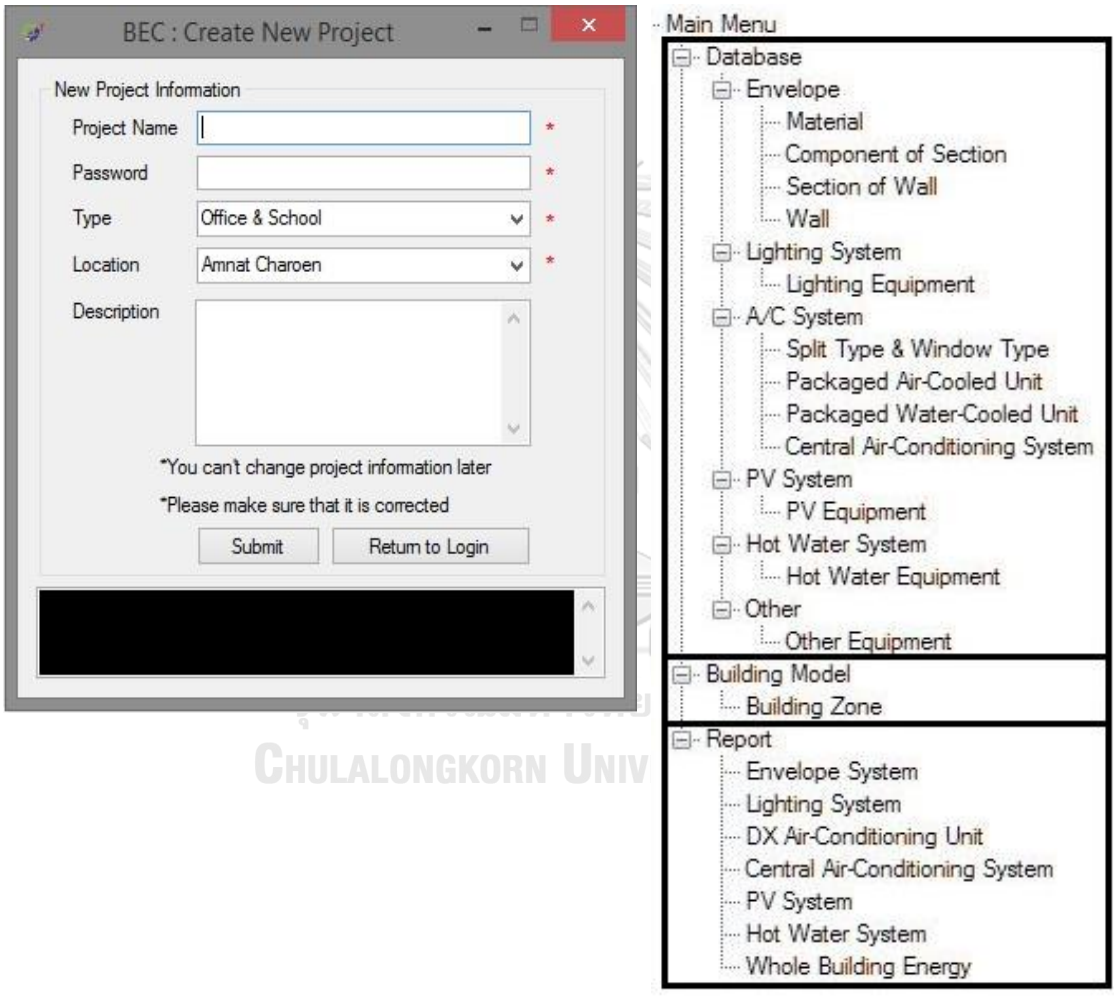
---

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. การเลือกใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. (กรุงเทพฯ 2548).

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม, หน้า 19. (กรุงเทพฯ 2559).

[3] สำงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ฉนวนกันความร้อน, หน้า 31-33. (กรุงเทพฯ 2554)

- ระบบกรอบอาคาร (Envelope System)
- ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting System)
- ระบบปรับอากาศ (Air-Conditioning System)
- ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV System)
- ระบบทำความร้อน (Hot Water System)
- การใช้พลังงานรวมของอาคาร (Whole Building Energy)



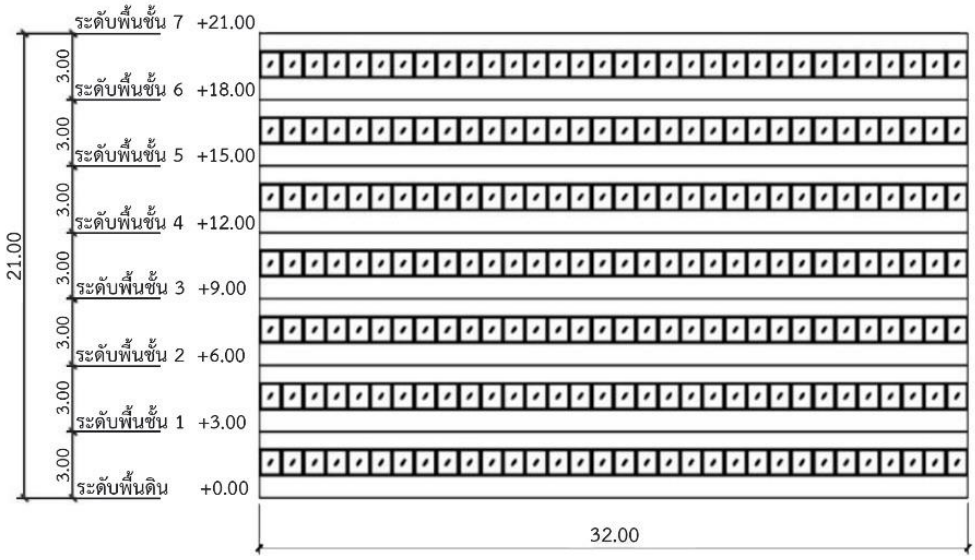
รูปที่ 4 ตัวอย่างโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร BEC

3.2.3 อาคารต้นแบบที่ใช้ในการวิจัย

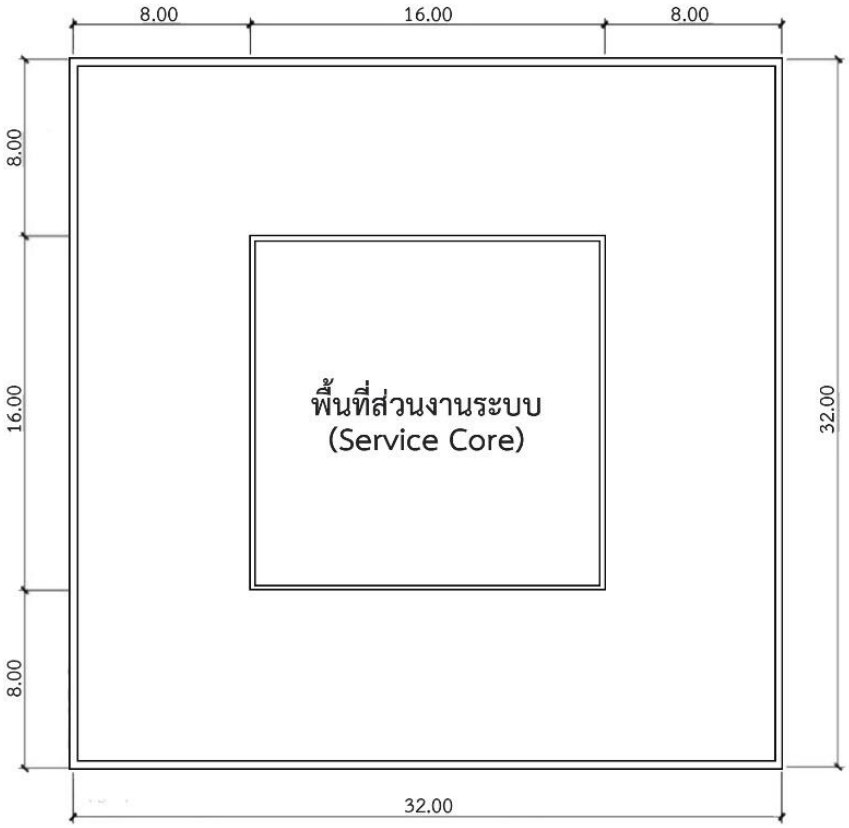
งานวิจัยนี้ศึกษาโดยวิธีการจำลองค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code Software, BEC) จากนั้นนำผลของค่าการถ่ายเทความร้อนมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ และทำการประเมินความคุ้มค่าด้านการเงินของการลงทุนติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆเปรียบเทียบผลรวมของพลังงานไฟฟ้า ค่าไฟฟ้ารายปีกับค่าเงินลงทุนในการปรับปรุงฉนวน ทำการหา Life cycle Cost และสรุปผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบอาคารที่เหมาะสม

กรณีศึกษาที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นอาคารต้นแบบที่จำลองอาคารสำหรับการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังในงานวิจัยการจัดทำมาตรฐานค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนต่อหัวของผู้ใช้อาคารสำหรับอาคารในประเทศไทย ด้วยวิธี Life Cycle Assessment (LCA) โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2555) และลักษณะรูปทรงอาคารเช่นเดียวกับงานวิจัย An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand รายงานอาคารสำนักงานต้นแบบเพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV และสมการพลังงาน (Chirarattananon & Taveekun, 2004)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



Elevation



Ground floor plan

รูปที่ 5 อาคารต้นแบบที่จำลองอาคารสำหรับการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง

3.3 การคัดเลือกตัวแปรต้นที่ใช้ในการวิจัย

คุณสมบัติของวัสดุผนังที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานในการวิจัยนี้ ได้แก่ ชนิดของฉนวนกันความร้อน ชนิดของผนัง ทั้งผนังทึบแสง และผนังโปร่งแสง โดย

เกณฑ์ในการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ในการคัดเลือกเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

1. เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนที่มีในประเทศไทย
2. เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน
3. เป็นวัสดุพื้นฐานที่มีราคาถูกที่สุด (กรณีฉนวนหลังคา)
4. เป็นวัสดุพื้นฐานที่มีราคาถูก (กรณีกระจก)

เมื่อนำเกณฑ์ที่ตั้งนำมาวิเคราะห์วัสดุ เพื่อหาตัวแทนของผนังทึบ สามารถคัดเลือกวัสดุออกมาได้ 4 วัสดุ ที่มีมวลสารและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน ได้แก่ ผนังคอนกรีต ผนังอิฐมวลเบา ผนังก่ออิฐ ผนังก่ออิฐเว้นช่องอากาศ ตามด้วยโครงเคร่าเหล็กสำหรับฉนวน ปิดผิวด้วยยิปซั่มบอร์ด และชนิดของผนังโปร่งแสงได้แก่ กระจกเขียว 1 ชั้น หนา 6 มิลลิเมตร

คุณสมบัติของวัสดุหลังคาประกอบด้วย

- คอนกรีต หนา 10 cm.
- ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 16 kg/m³ ความหนา 5 cm.
- ช่องว่างอากาศ 20 cm. ปิดด้วยแผ่นยิปซั่ม ความหนา 0.9 cm.

3.3.1 วัสดุผนัง

ส่วนที่ 1 ตารางประเภทวัสดุผนัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1 วัสดุผนังที่ใช้ในการวิจัย

	ความหนา (cm.)	ความหนาแน่น (lb/ft3)	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/hr.ft2.F)
ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน	10	65	0.459
ผนังก่ออิฐฉาบปูนสำหรับภายนอก	10	120	0.76
ผนังคอนกรีต	10	140	0.893
ผนังก่ออิฐ 2 ด้านเว้นช่องอากาศ 10 cm.	30	223	1.511

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม, หน้า 22. (กรุงเทพฯ 2559).

ส่วนที่ 2 วัสดุฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 2 วัสดุฉนวนกันความร้อน

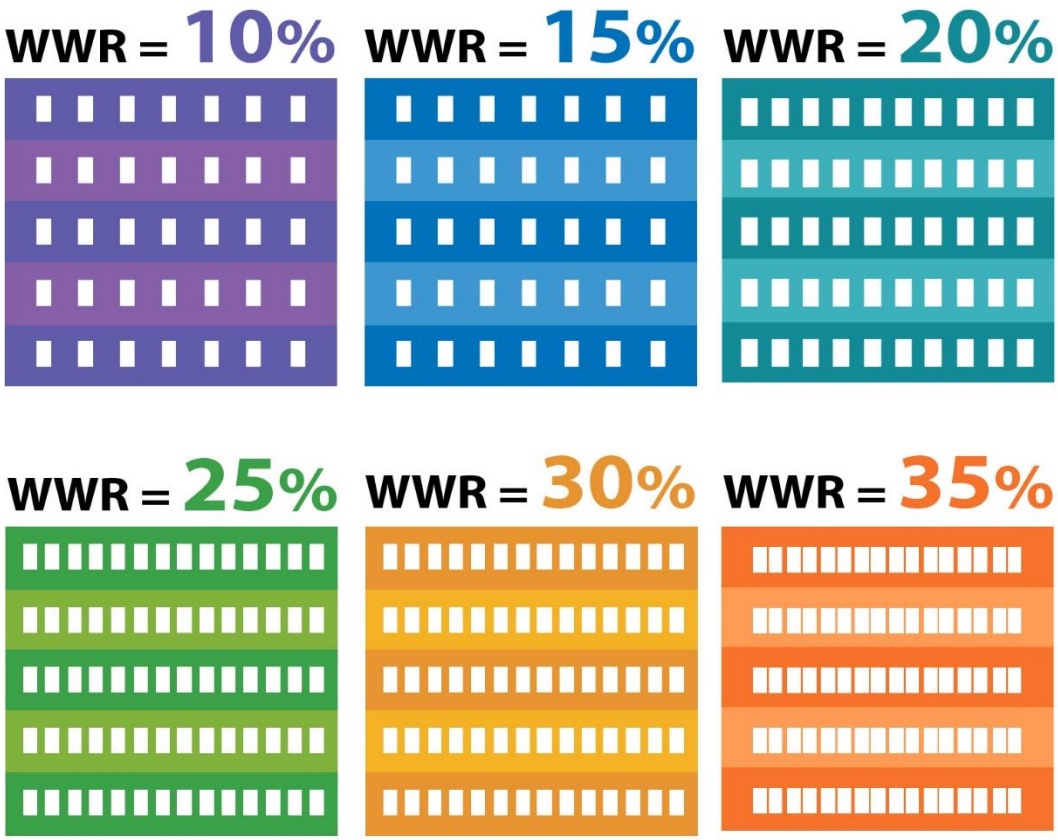
รายการฉนวน	ความหนา (mm.)	ราคาเฉลี่ย (Bath/m2)	Themal Conductivty (W/mK)	Specific Heat (kJ/kgK)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	85	0.038	0.96
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	130	0.035	0.96
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	100	0.035	0.96
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	140	0.035	0.96
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	110	0.033	0.96
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	150	0.033	0.96
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	140	0.033	0.96
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	170	0.033	0.96
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	140	0.036	0.80
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	190	0.035	0.80
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	250	0.034	0.80
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	200	0.030	1.59
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	300	0.030	1.59
ฉนวนโพลิสไตรีน 35 kg/m³	50	150	0.034	1.21
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	200	0.35	1.26
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	300	0.35	1.26
ฉนวนเซลล์ลูโลส	50	300	0.035	1.30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>หมายเหตุ</u> ค่า Themal Conductivty, Density และ Specific Heat อ้างอิงตามข้อมูลในโปรแกรม Building Energy Code Software โดยค่าความหนาที่แสดงได้ทำการระบุเพิ่มเติมลงในโปรแกรม และข้อมูลราคาฉนวนจากผู้ประกอบการ [14 กุมภาพันธ์ 2562]

3.3.2 อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio, WWR)

ในการจำลองการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคารได้กำหนดอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด โดยแบ่งเป็น 8 ทางเลือกที่ 10 – 45 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6 ตัวเลือกอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนัง

3.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient, SC)

มีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยที่ค่า SC=1 หมายถึงผนังไม่มีการบังของอุปกรณ์บังแดด เนื่องจากการวิจัยนี้ได้ทำการค้นคว้าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของผนังด้วยฉนวนจึงกำหนดให้ไม่มีอุปกรณ์บังแดด

3.3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนังอาคาร

โดยอ้างอิงตามสีอ่อน โดยมีค่า 0.3 จากการศึกษางานวิจัย และทฤษฎีต่าง ๆ สีของผนังมีส่วนในการลดความร้อนเนื่องจากค่าการดูดซับความร้อนของสีแต่ละสีมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่สีเข้มจะมีค่าการดูดซับความร้อนที่สูง ส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวของผนังสูงด้วย เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่ผนัง

ได้ดีกว่าผนังที่มีสีที่อ่อน ตัวอย่างสีและค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (กระทรวงพลังงาน, 2553)

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอก

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์ การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมเนียม - หินอ่อนสีขาว - กรวดล้างสีขาว สีทาภายนอก - สีขาว สีเงิน - สีเงินหรือสีบรอนซ์สะท้อนแสง	0.3	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง และวัสดุที่มีผิวสีขาว

ที่มา : ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์ และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร พ.ศ. 2552. 2552 : 21-58.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV)

ค่าความหนาและความหนาแน่นของฉนวนที่แตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง นอกจากนี้อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่เพิ่มขึ้นมีนัยสำคัญอย่างมากต่อค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมด (OTTV)

4.1.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 25 mm. จะไม่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ และเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

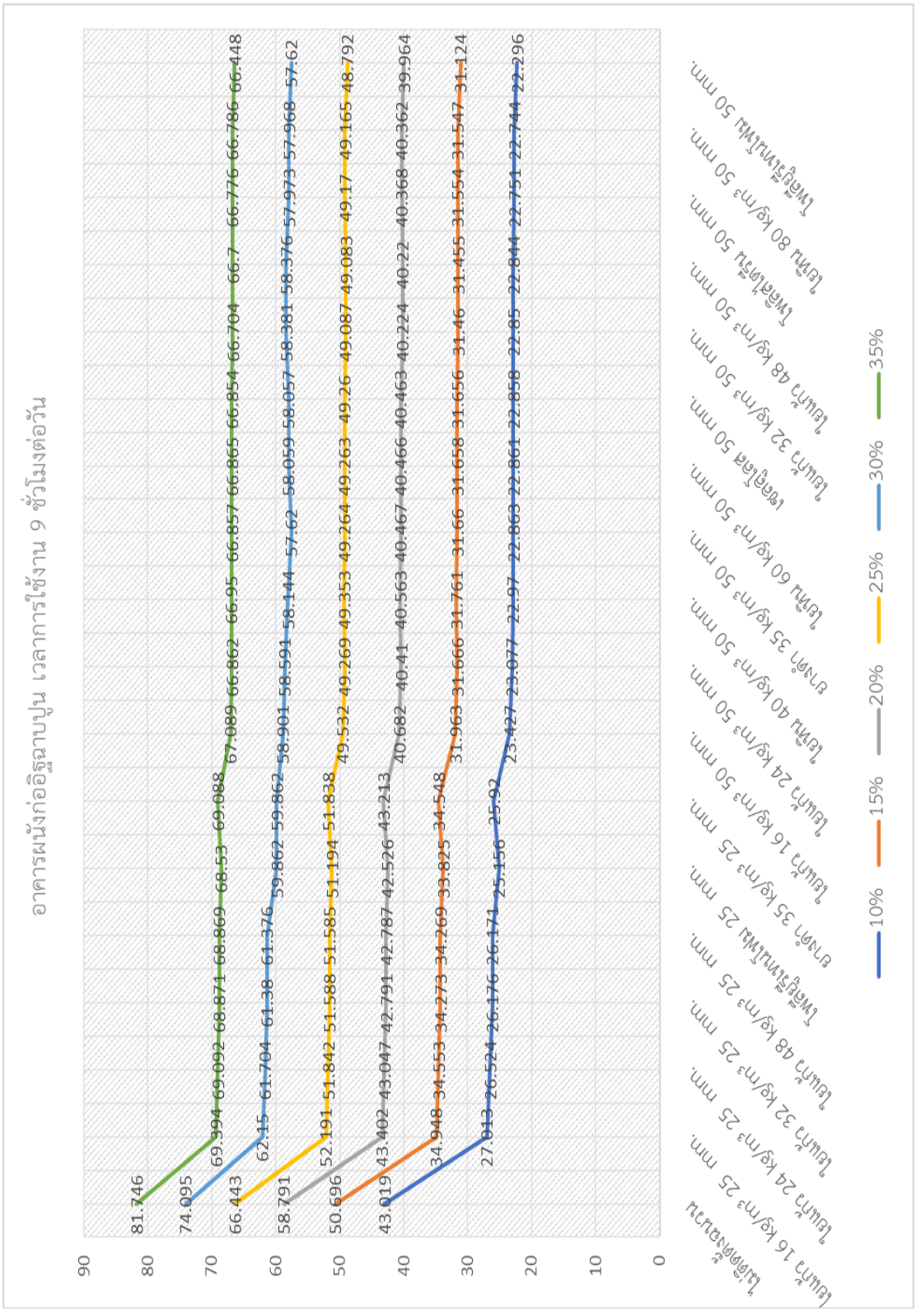
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวนในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	43.019	50.696	58.791	66.443	74.095	81.746
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	27.013	34.948	43.402	52.191	62.15	69.394
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	23.427	31.963	40.682	49.532	58.901	67.089
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	26.524	34.553	43.047	51.842	61.704	69.092
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	23.077	31.666	40.41	49.269	58.591	66.862

ใยแก้ว 32 kg/m³	25	26.176	34.273	42.791	51.588	61.38	68.871
ใยแก้ว 32 kg/m³	50	22.85	31.46	40.224	49.087	58.381	66.704
ใยแก้ว 48 kg/m³	25	26.171	34.269	42.787	51.585	61.376	68.869
ใยแก้ว 48 kg/m³	50	22.844	31.455	40.22	49.083	58.376	66.7
โพลียูรีเทนโฟม	25	25.156	33.825	42.526	51.194	59.862	68.53
โพลียูรีเทนโฟม	50	22.296	31.124	39.964	48.792	57.62	66.448
โพลิสไตรีน	50	22.751	31.554	40.368	49.17	57.973	66.776
เซลลูโลส	50	22.858	31.656	40.463	49.26	58.057	66.854
ยางดำ 35 kg/m³	25	25.92	34.548	43.213	51.838	59.862	69.088
ยางดำ 35 kg/m³	50	22.863	31.66	40.467	49.264	57.62	66.857
ใยหิน 40 kg/m³	50	22.97	31.761	40.563	49.353	58.144	66.95
ใยหิน 60 kg/m³	50	22.861	31.658	40.466	49.263	58.059	66.865
ใยหิน 80 kg/m³	50	22.744	31.547	40.362	49.165	57.968	66.786

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 4 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนของอาคารกลุ่มที่ 2 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

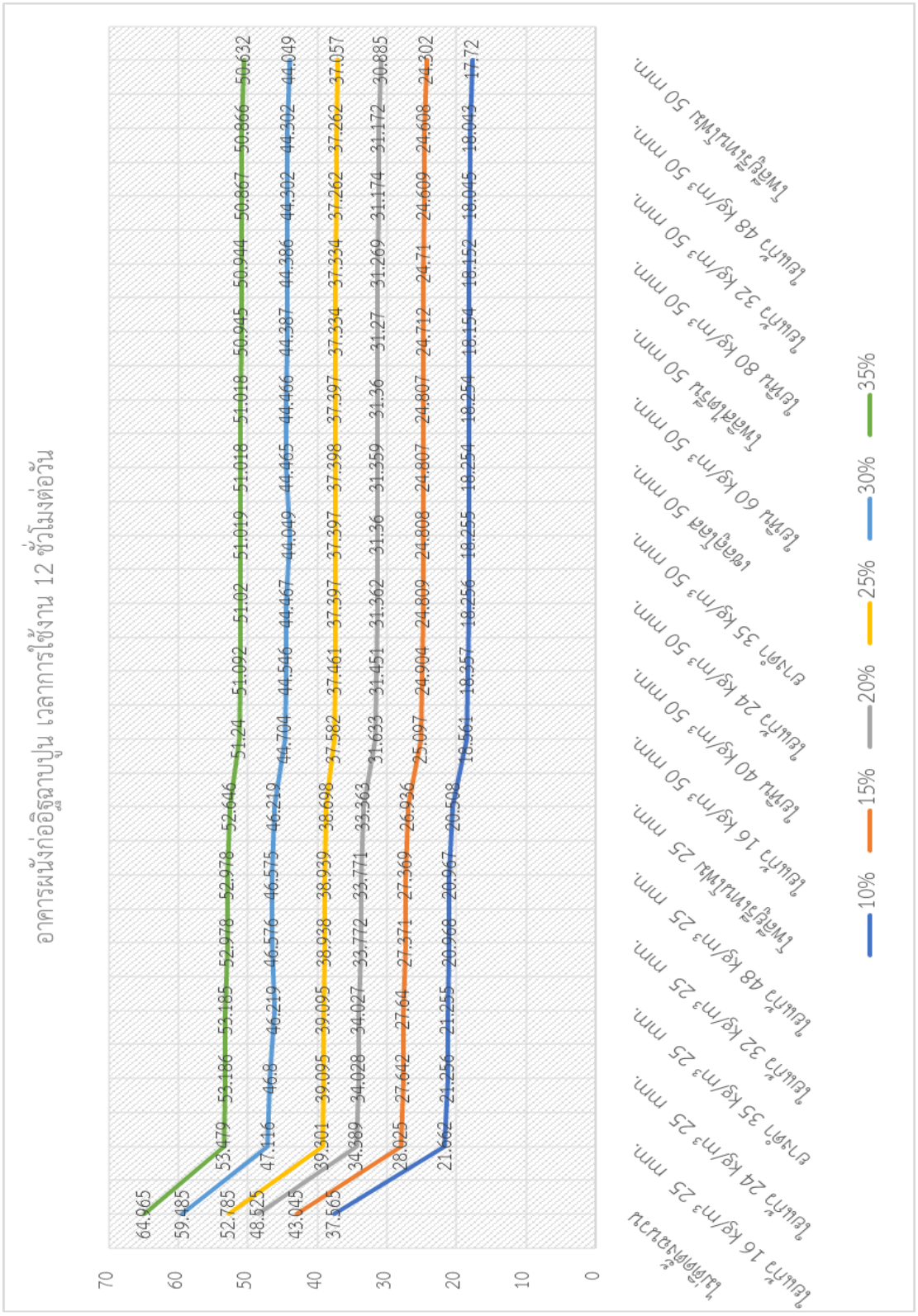
เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 5 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวนในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	37.565	43.045	48.525	44.841	59.485	64.965
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	21.662	28.025	34.389	39.301	47.116	53.479
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	18.561	25.097	31.633	37.582	44.704	51.24
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	21.256	27.642	34.028	39.095	46.8	53.186
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	18.256	24.809	31.362	37.397	44.467	51.02
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	20.968	27.371	33.772	38.938	46.576	52.978
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	18.045	24.609	31.174	37.262	44.302	50.867
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	20.967	27.369	33.771	38.939	46.575	52.978
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	18.043	24.608	31.172	37.262	44.302	50.866
โพลียูรีเทนโฟม	25	20.508	26.936	33.363	38.698	46.219	52.646
โพลียูรีเทนโฟม	50	17.72	24.302	30.885	37.057	44.049	50.632
โพลิสไตรีน	50	18.154	24.712	31.27	37.334	44.387	50.945
เซลลูโลส	50	18.254	24.807	31.359	37.398	44.465	51.018
ยางดำ 35 kg/m^3	25	21.255	27.64	34.027	39.095	46.219	53.185
ยางดำ 35 kg/m^3	50	18.255	24.808	31.36	37.397	44.049	51.019

ใยหิน 40 kg/m³	50	18.357	24.904	31.451	37.461	44.546	51.092
ใยหิน 60 kg/m³	50	18.254	24.807	31.36	37.397	44.466	51.018
ใยหิน 80 kg/m³	50	18.152	24.71	31.269	37.334	44.386	50.944

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 5 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนของอาคารกลุ่มที่ 3 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15% และ 20% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

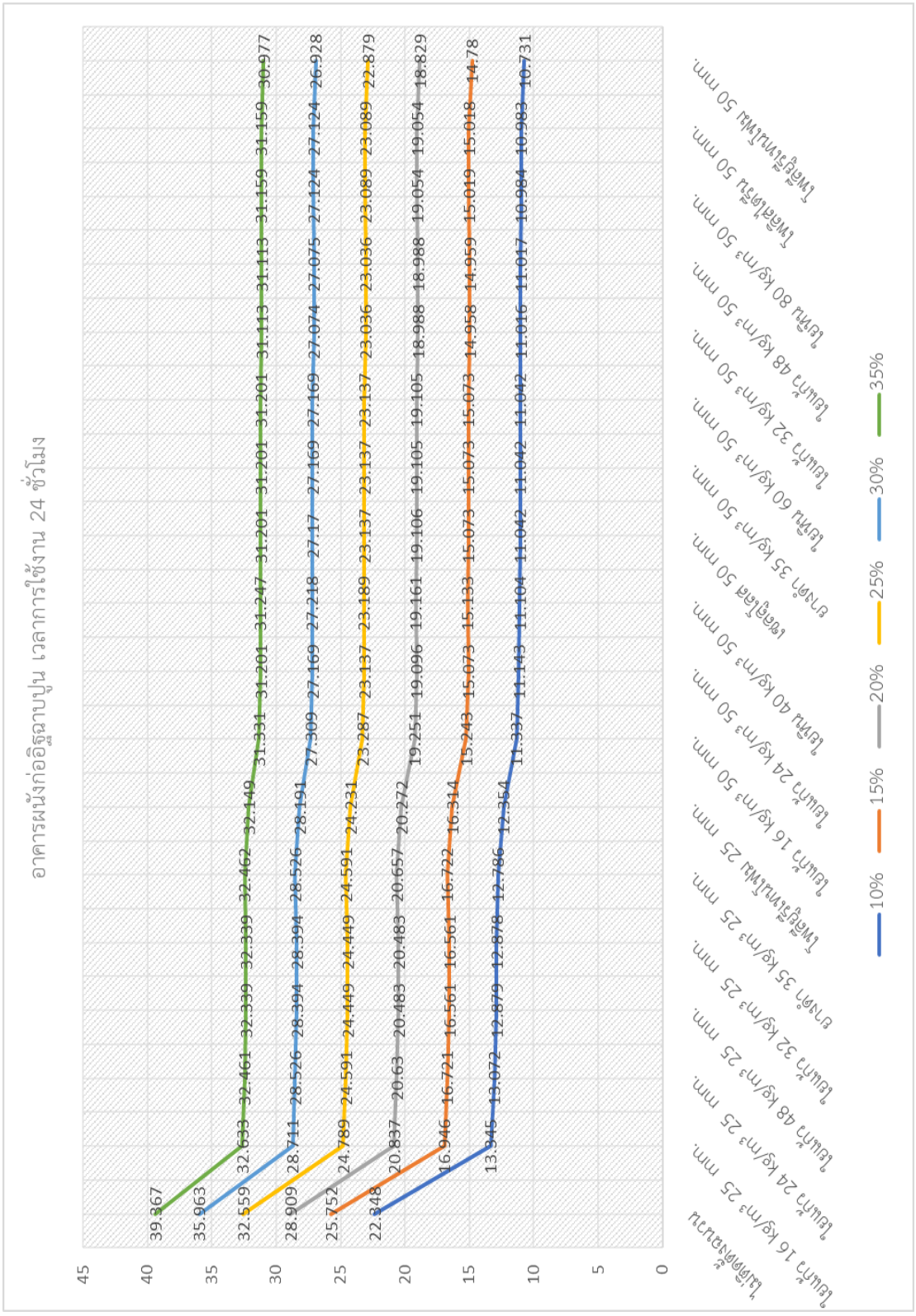
เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 6 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	27.388	25.752	28.909	32.559	35.963	39.367
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	13.345	16.946	20.837	24.789	28.711	32.633
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	11.337	15.243	19.251	23.287	27.309	31.331
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	13.072	16.721	20.63	24.591	28.526	32.461
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	11.143	15.073	19.096	23.137	27.169	31.201
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	12.878	16.561	20.483	24.449	28.394	32.339
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	11.016	14.958	18.988	23.036	27.074	31.113
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	12.879	16.561	20.483	24.449	28.394	32.339
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	11.017	14.959	18.988	23.036	27.075	31.113
โพลียูรีเทนโฟม	25	12.354	16.314	20.272	24.231	28.191	32.149
โพลียูรีเทนโฟม	50	10.731	14.78	18.829	22.879	26.928	30.977
โพลิสไตรีน	50	10.983	15.018	19.054	23.089	27.124	31.159
เซลลูโลส	50	11.042	15.073	19.106	23.137	27.17	31.201
ยางดำ 35 kg/m^3	25	12.786	16.722	20.657	24.591	28.526	32.462
ยางดำ 35 kg/m^3	50	11.042	15.073	19.105	23.137	27.169	31.201
ใยหิน 40 kg/m^3	50	11.104	15.133	19.161	23.189	27.218	31.247

ใยหิน 60 kg/m³	50	11.042	15.073	19.105	23.137	27.169	31.201
ใยหิน 80 kg/m³	50	10.984	15.019	19.054	23.089	27.124	31.159

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 6 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

4.1.2 ผนังก่ออิฐมวลเบา

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาติดตั้งฉนวนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15% และ 20% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเกณฑ์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 7 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	33.265	41.484	49.703	57.923	66.142	74.362
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	25.809	33.96	43.076	51.284	60.343	68.607
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	23.226	31.746	40.78	49.331	58.334	66.914
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	25.495	33.691	42.797	51.046	60.099	68.402
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	22.951	31.504	40.536	49.117	58.12	66.73
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	25.262	33.495	42.59	50.873	59.918	68.252
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	22.758	31.327	40.364	48.96	57.97	66.594
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	25.257	33.491	42.585	50.87	59.913	68.248
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	22.751	31.32	40.358	48.955	57.965	66.589
โพลียูรีเทนโฟม	25	24.458	33.167	41.875	50.584	59.292	68.001
โพลียูรีเทนโฟม	50	22.207	31.04	39.874	48.707	57.541	66.375
โพลิสไตรีน	50	22.602	31.414	40.226	49.037	57.849	66.66
เซลลูโลส	50	22.684	31.491	40.298	49.105	57.912	66.719
ยางดำ 35 kg/m^3	25	25.006	33.684	42.362	51.04	59.719	68.396

ยางดำ 35 kg/m³	50	22.689	31.496	40.303	49.109	57.916	66.723
ใยหิน 40 kg/m³	50	22.782	31.583	40.385	49.187	57.988	66.79
ใยหิน 60 kg/m³	50	22.687	31.494	40.301	49.108	57.915	66.722
ใยหิน 80 kg/m³	50	22.594	31.406	40.218	49.03	57.842	66.654

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 7 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาของอาคารกลุ่มที่ 2 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15% และ 20% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

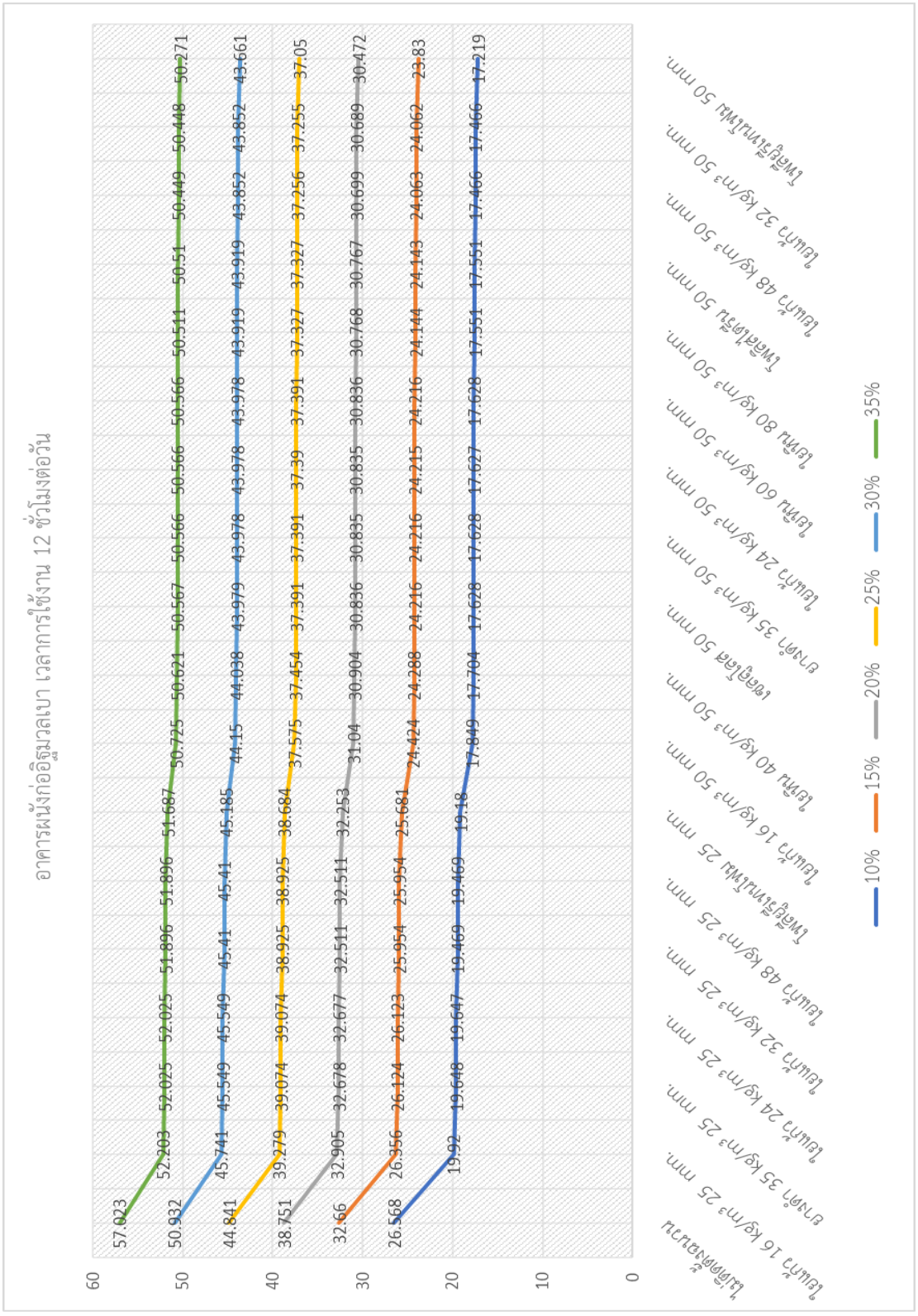
เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 8 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	26.568	32.66	38.751	44.841	50.932	57.023
ใยแก้ว 16 kg/m³	25	19.92	26.356	32.905	39.279	45.741	52.203
ใยแก้ว 16 kg/m³	50	17.849	24.424	31.04	37.575	44.15	50.725
ใยแก้ว 24 kg/m³	25	19.647	26.123	32.677	39.074	45.549	52.025
ใยแก้ว 24 kg/m³	50	17.627	24.215	30.835	37.39	43.978	50.566
ใยแก้ว 32 kg/m³	25	19.469	25.954	32.511	38.925	45.41	51.896
ใยแก้ว 32 kg/m³	50	17.466	24.062	30.689	37.255	43.852	50.448
ใยแก้ว 48 kg/m³	25	19.469	25.954	32.511	38.925	45.41	51.896
ใยแก้ว 48 kg/m³	50	17.466	24.063	30.699	37.256	43.852	50.449
โพลียูรีเทนโฟม	25	19.18	25.681	32.253	38.684	45.185	51.687
โพลียูรีเทนโฟม	50	17.219	23.83	30.472	37.05	43.661	50.271
โพลิสไตรีน	50	17.551	24.143	30.767	37.327	43.919	50.51
เซลลูโลส	50	17.628	24.216	30.836	37.391	43.979	50.567
ยางดำ 35 kg/m³	25	19.648	26.124	32.678	39.074	45.549	52.025
ยางดำ 35 kg/m³	50	17.628	24.216	30.835	37.391	43.978	50.566

ใยหิน 40 kg/m³	50	17.704	24.288	30.904	37.454	44.038	50.621
ใยหิน 60 kg/m³	50	17.628	24.216	30.836	37.391	43.978	50.566
ใยหิน 80 kg/m³	50	17.551	24.144	30.768	37.327	43.919	50.511

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาของอาคารกลุ่มที่ 3 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15%, 20% และ 25% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

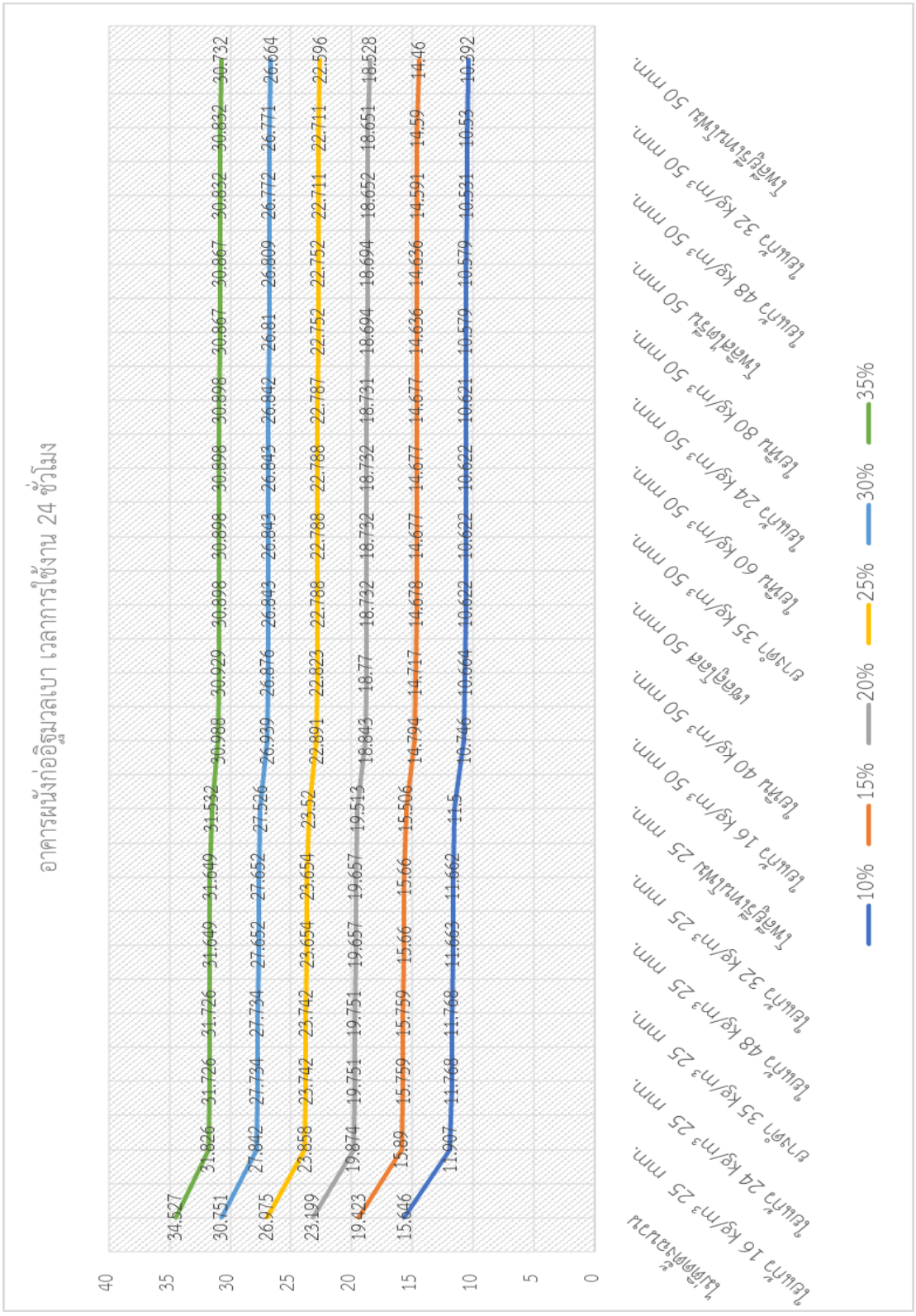
เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 9 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	15.646	19.423	23.199	26.975	30.751	34.527
ใยแก้ว 16 kg/m³	25	11.907	15.89	19.874	23.858	27.842	31.826
ใยแก้ว 16 kg/m³	50	10.746	14.794	18.843	22.891	26.939	30.988
ใยแก้ว 24 kg/m³	25	11.768	15.759	19.751	23.742	27.734	31.726
ใยแก้ว 24 kg/m³	50	10.621	14.677	18.731	22.787	26.842	30.898
ใยแก้ว 32 kg/m³	25	11.662	15.66	19.657	23.654	27.652	31.649
ใยแก้ว 32 kg/m³	50	10.53	14.59	18.651	22.711	26.771	30.832
ใยแก้ว 48 kg/m³	25	11.663	15.66	19.657	23.654	27.652	31.649
ใยแก้ว 48 kg/m³	50	10.531	14.591	18.652	22.711	26.772	30.832
โพลียูรีเทนโฟม	25	11.5	15.506	19.513	23.52	27.526	31.532
โพลียูรีเทนโฟม	50	10.392	14.46	18.528	22.596	26.664	30.732
โพลิสไตรีน	50	10.579	14.636	18.694	22.752	26.809	30.867
เซลลูโลส	50	10.622	14.678	18.732	22.788	26.843	30.898
ยางดำ 35 kg/m³	25	11.768	15.759	19.751	23.742	27.734	31.726
ยางดำ 35 kg/m³	50	10.622	14.677	18.732	22.788	26.843	30.898

ใยหิน 40 kg/m³	50	10.664	14.717	18.77	22.823	26.876	30.929
ใยหิน 60 kg/m³	50	10.622	14.677	18.732	22.788	26.843	30.898
ใยหิน 80 kg/m³	50	10.579	14.636	18.694	22.752	26.81	30.867

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

4.1.3 ผนังคอนกรีต

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตติดตั้งฉนวนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 25 mm. จะไม่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ และเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

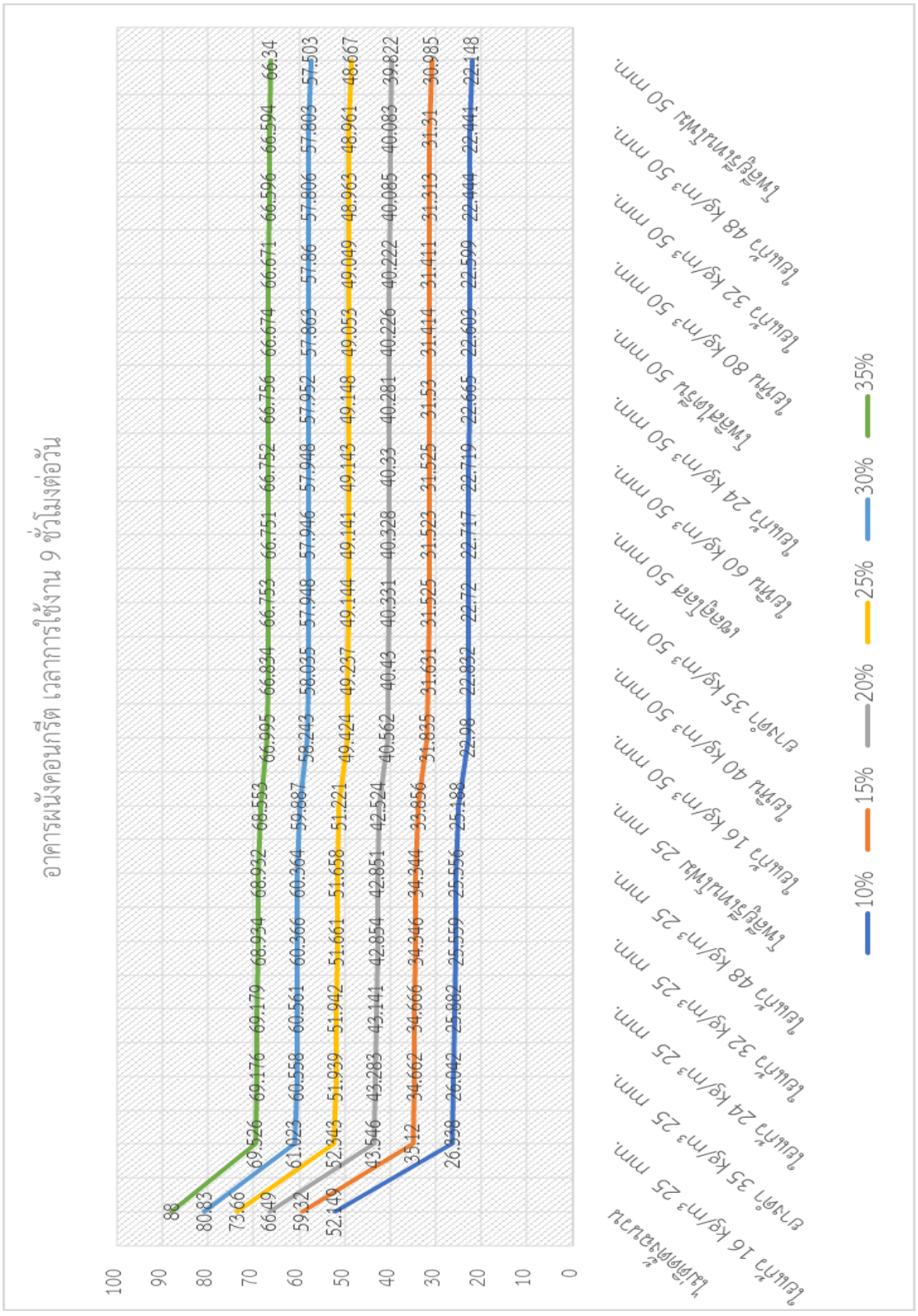
ตารางที่ 10 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	52.149	59.32	66.49	73.66	80.83	88
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	26.338	35.12	43.546	52.343	61.023	69.526
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	22.98	31.835	40.562	49.424	58.243	66.995
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	25.882	34.666	43.141	51.942	60.561	69.179
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	22.665	31.53	40.281	49.148	57.952	66.756
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	25.559	34.346	42.854	51.661	60.366	68.934
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	22.444	31.313	40.085	48.963	57.806	66.596
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	25.556	34.344	42.851	51.658	60.364	68.932
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	22.441	31.31	40.083	48.961	57.803	66.594
โพลียูรีเทนโฟม	25	25.188	33.856	42.524	51.221	59.887	68.553
โพลียูรีเทนโฟม	50	22.148	30.985	39.822	48.667	57.503	66.34
โพลิสไตรีน	50	22.603	31.414	40.226	49.053	57.863	66.674
เซลลูโลส	50	22.717	31.523	40.328	49.141	57.946	66.751
ยางดำ 35 kg/m^3	25	26.042	34.662	43.283	51.939	60.558	69.176

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยางดำ 35 kg/m³	50	22.72	31.525	40.331	49.144	57.948	66.753
ใยหิน 40 kg/m³	50	22.832	31.631	40.430	49.237	58.035	66.834
ใยหิน 60 kg/m³	50	22.719	31.525	40.330	49.143	57.948	66.752
ใยหิน 80 kg/m³	50	22.599	31.411	40.222	49.049	57.86	66.671

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 10 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตของอาคารกลุ่มที่ 2 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง

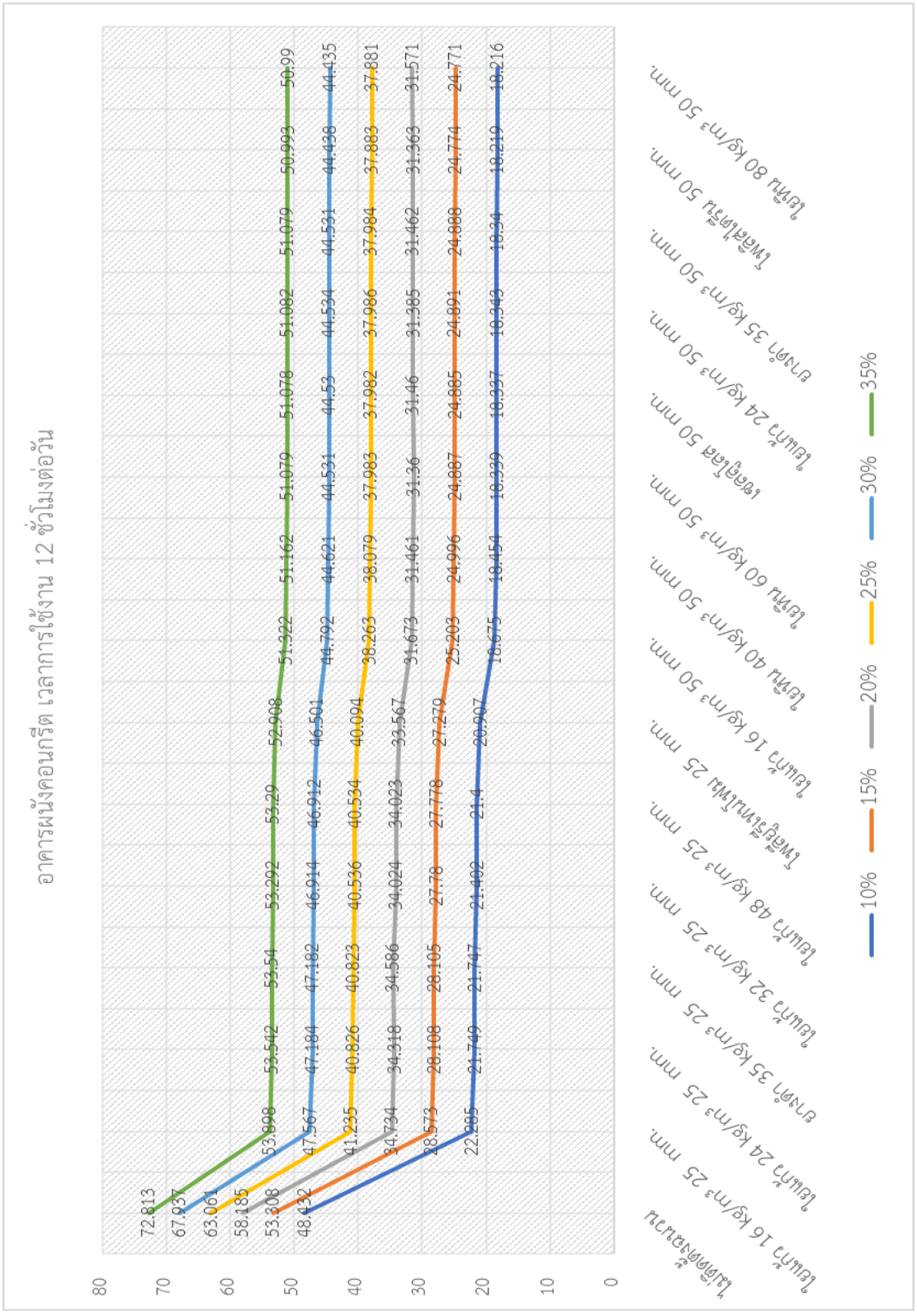
เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 25 mm. จะไม่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ และเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 11 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	48.432	53.308	58.185	63.061	67.937	72.813
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	22.285	28.573	34.734	41.235	47.567	53.898
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	18.675	25.203	31.673	38.263	44.792	51.322
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	21.749	28.108	34.318	40.826	47.184	53.542
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	18.343	24.891	31.385	37.986	44.534	51.082
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	21.402	27.78	34.024	40.536	46.914	53.292
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	18.109	24.67	31.184	37.791	44.352	50.913
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	21.40	27.778	34.023	40.534	46.912	53.29
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	18.106	24.667	31.182	37.789	44.35	50.911
โพลียูรีเทนโฟม	25	20.907	27.279	33.567	40.094	46.501	52.908
โพลียูรีเทนโฟม	50	17.764	24.335	30.87	37.496	44.077	50.657
โพลิสไตรีน	50	18.219	24.774	31.363	37.883	44.438	50.993
เซลลูโลส	50	18.337	24.885	31.46	37.982	44.53	51.078
ยางดำ 35 kg/m^3	25	21.747	28.105	34.586	40.823	47.182	53.54
ยางดำ 35 kg/m^3	50	18.34	24.888	31.462	37.984	44.531	51.079

ใยหิน 40 kg/m³	50	18.454	24.996	31.461	38.079	44.621	51.162
ใยหิน 60 kg/m³	50	18.339	24.887	31.36	37.983	44.531	51.079
ใยหิน 80 kg/m³	50	18.216	24.771	31.571	37.881	44.435	50.99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 11 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตของอาคารกลุ่มที่ 3 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

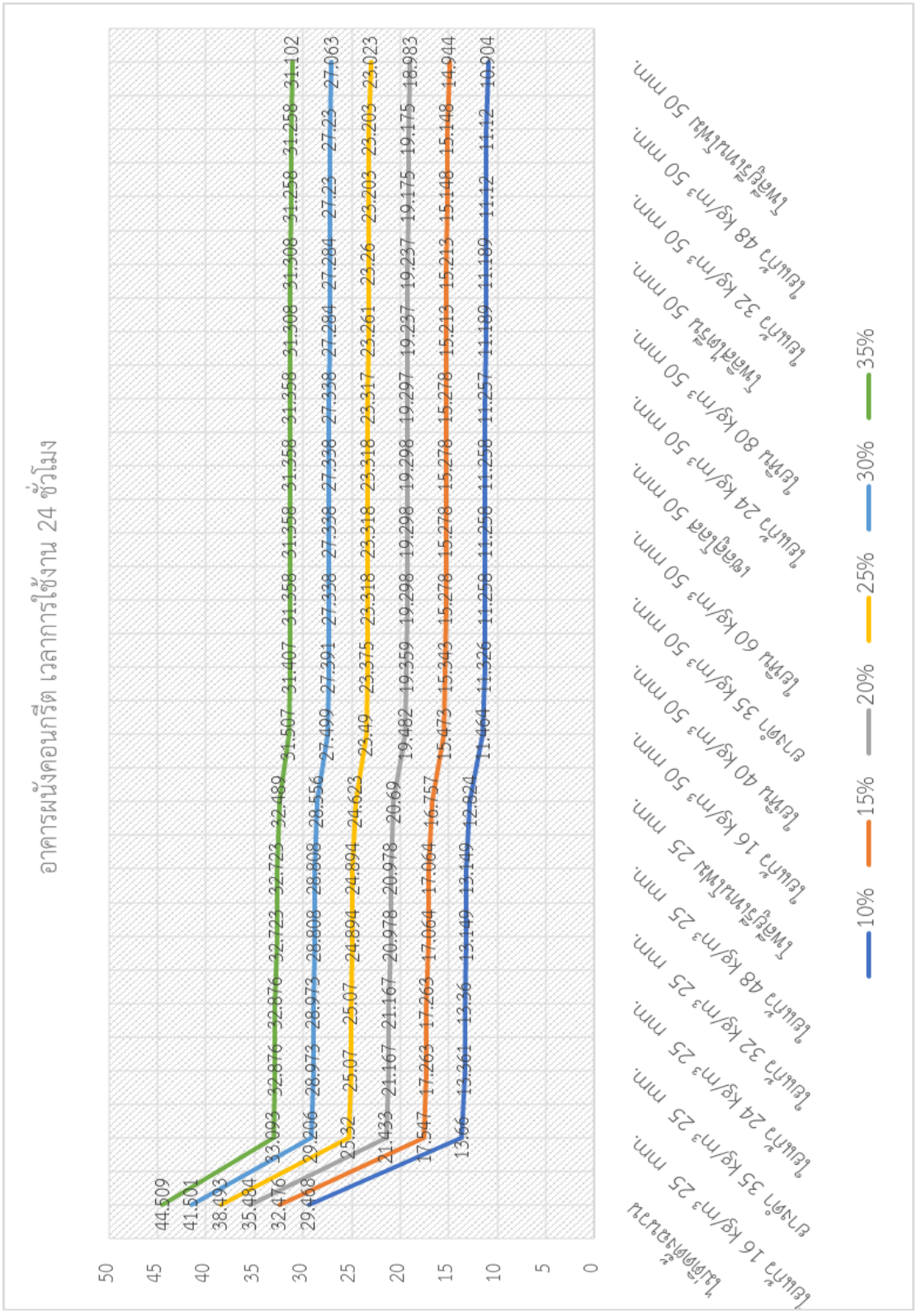
ตารางที่ 12 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	29.468	32.476	35.484	38.493	41.501	44.509
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	13.66	17.547	21.433	25.32	29.206	33.093
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	11.464	15.473	19.482	23.49	27.499	31.507
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	13.36	17.263	21.167	25.07	28.973	32.876
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	11.257	15.278	19.297	23.317	27.338	31.358
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	13.149	17.064	20.978	24.894	28.808	32.723
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	11.12	15.148	19.175	23.203	27.23	31.258
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	13.149	17.064	20.978	24.894	28.808	32.723
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	11.12	15.148	19.175	23.203	27.23	31.258
โพลียูรีเทนโฟม	25	12.824	16.757	20.69	24.623	28.556	32.489
โพลียูรีเทนโฟม	50	10.904	14.944	18.983	23.023	27.063	31.102
โพลิสไตรีน	50	11.189	15.213	19.237	23.26	27.284	31.308
เซลลูโลส	50	11.258	15.278	19.298	23.318	27.338	31.358
ยางดำ 35 kg/m^3	25	13.361	17.263	21.167	25.07	28.973	32.876
ยางดำ 35 kg/m^3	50	11.258	15.278	19.298	23.318	27.338	31.358
ใยหิน 40 kg/m^3	50	11.326	15.343	19.359	23.375	27.391	31.407

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ใยหิน 60 kg/m³	50	11.258	15.278	19.298	23.318	27.338	31.358
ใยหิน 80 kg/m³	50	11.189	15.213	19.237	23.261	27.284	31.308

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 12 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

4.1.4 ผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร ติดตั้งฉนวนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10% 15% และ 20% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 13 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่อก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	25.259	33.924	42.587	51.251	59.915	68.58
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	22.459	31.269	40.044	48.917	57.69	66.55
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	21.299	30.174	39.036	47.951	56.807	65.712
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	22.333	31.143	39.932	48.813	57.592	66.453
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	21.157	30.048	38.916	47.833	56.703	65.616
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	22.23	31.053	39.841	48.727	57.512	66.385
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	21.062	29.951	38.825	47.754	56.624	65.542
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	22.229	31.052	39.84	48.726	57.511	66.384
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	21.06	29.949	38.823	47.752	56.622	65.54
โพลียูรีเทนโฟม	25	22.059	30.901	39.752	48.593	57.426	66.268
โพลียูรีเทนโฟม	50	20.89	29.796	38.704	47.611	56.517	65.424
โพลิสไตรีน	50	21.098	29.993	38.897	47.792	56.68	65.574
เซลลูโลส	50	21.151	30.043	38.937	47.829	56.72	65.613

ยางดำ 35 kg/m³	25	22.313	31.141	39.984	48.811	57.624	66.452
ยางดำ 35 kg/m³	50	21.153	30.045	38.938	47.831	56.722	65.614
ใยหิน 40 kg/m³	50	21.201	30.091	38.982	47.871	56.759	65.649
ใยหิน 60 kg/m³	50	21.152	30.044	38.938	47.83	56.721	65.614
ใยหิน 80 kg/m³	50	21.095	29.991	38.894	47.789	56.677	65.572

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตรและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตรของอาคารกลุ่มที่ 2 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15% และ 20% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

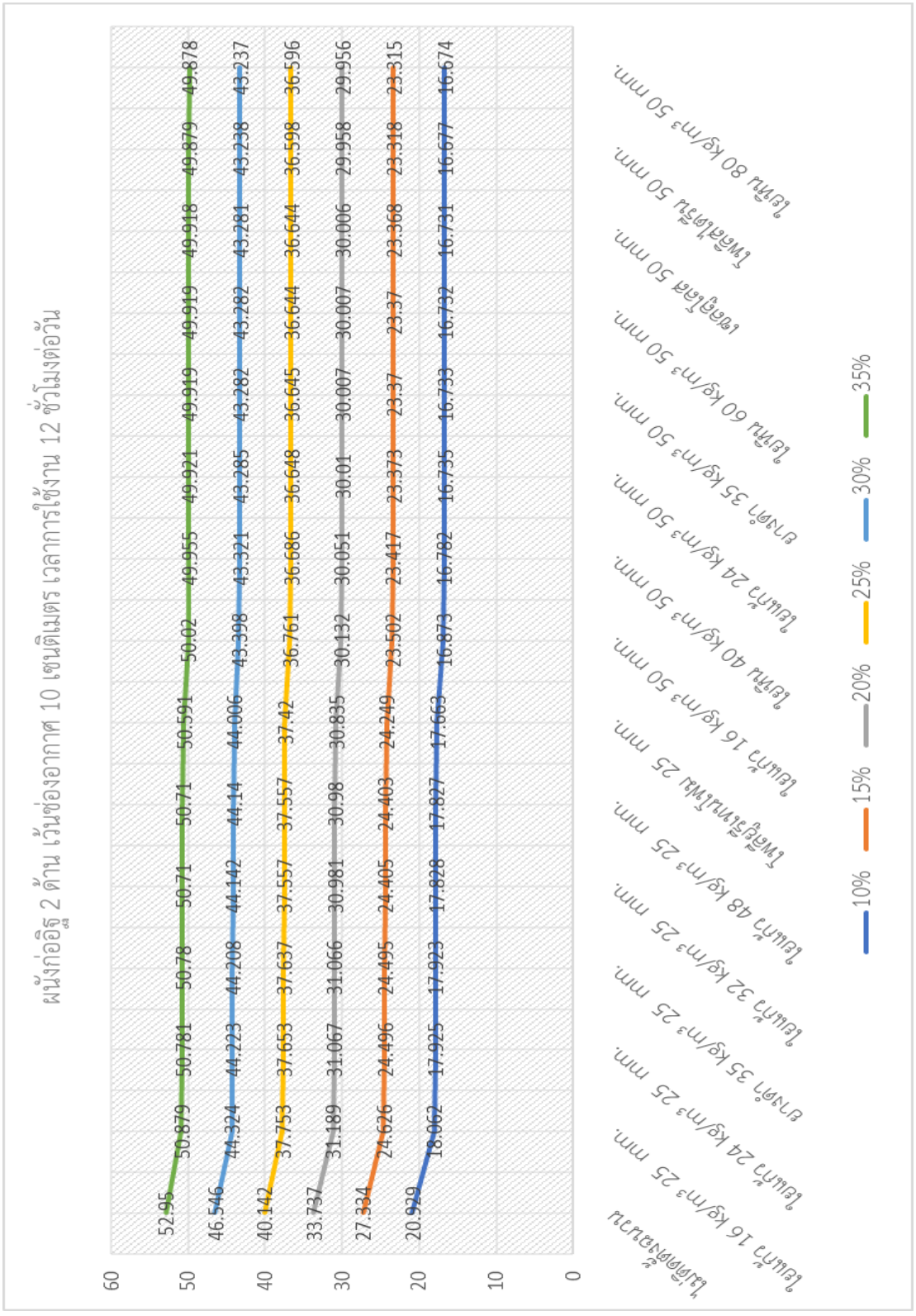
เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 14 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	20.929	27.334	33.737	40.142	46.546	52.95
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	18.062	24.626	31.189	37.753	44.324	50.879
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	16.873	23.502	30.132	36.761	43.398	50.02
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	17.925	24.496	31.067	37.653	44.223	50.781
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	16.735	23.373	30.01	36.648	43.285	49.921
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	17.828	24.405	30.981	37.557	44.142	50.71
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	16.63	23.273	29.916	36.559	43.209	49.845
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	17.827	24.403	30.98	37.557	44.14	50.71
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	16.628	23.271	29.915	36.558	43.208	49.844
โพลียูรีเทนโฟม	25	17.663	24.249	30.835	37.42	44.006	50.591
โพลียูรีเทนโฟม	50	16.464	23.116	29.768	36.42	43.073	49.725
โพลิสไตรีน	50	16.677	23.318	29.958	36.598	43.238	49.879
เซลลูโลส	50	16.731	23.368	30.006	36.644	43.281	49.918
ยางดำ 35 kg/m^3	25	17.923	24.495	31.066	37.637	44.208	50.78
ยางดำ 35 kg/m^3	50	16.733	23.37	30.007	36.645	43.282	49.919

ใยหิน 40 kg/m³	50	16.782	23.417	30.051	36.686	43.321	49.955
ใยหิน 60 kg/m³	50	16.732	23.37	30.007	36.644	43.282	49.919
ใยหิน 80 kg/m³	50	16.674	23.315	29.956	36.596	43.237	49.878

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตรและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร ของอาคารกลุ่มที่ 3 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

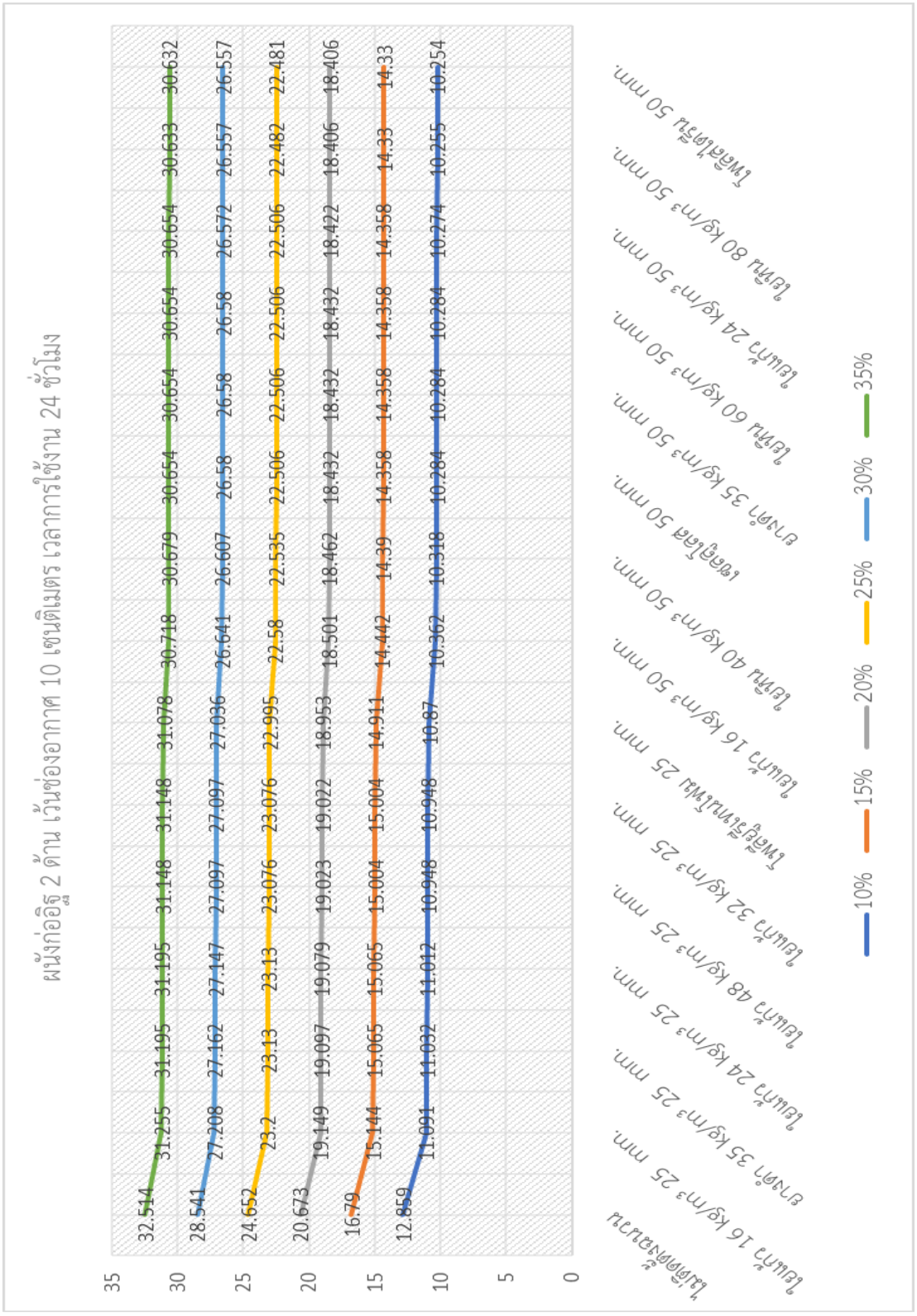
เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 15 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10	15	20	25	30	35
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	12.859	16.79	20.673	24.652	28.541	32.514
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	11.091	15.144	19.149	23.2	27.208	31.255
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	10.362	14.442	18.501	22.58	26.641	30.718
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	11.012	15.065	19.079	23.13	27.147	31.195
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	10.274	14.358	18.422	22.506	26.572	30.654
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	10.948	15.004	19.022	23.076	27.097	31.148
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	10.214	14.302	18.37	22.457	26.526	30.611
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	10.948	15.004	19.023	23.076	27.097	31.148
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	10.215	14.302	18.37	22.457	26.526	30.611
โพลียูรีเทนโฟม	25	10.87	14.911	18.953	22.995	27.036	31.078
โพลียูรีเทนโฟม	50	10.122	14.205	18.288	22.371	26.454	30.537
โพลิสไตรีน	50	10.254	14.33	18.406	22.481	26.557	30.632
เซลลูโลส	50	10.284	14.358	18.432	22.506	26.58	30.654
ยางดำ 35 kg/m^3	25	11.032	15.065	19.097	23.13	27.162	31.195
ยางดำ 35 kg/m^3	50	10.284	14.358	18.432	22.506	26.58	30.654

ใยหิน 40 kg/m³	50	10.318	14.39	18.462	22.535	26.607	30.679
ใยหิน 60 kg/m³	50	10.284	14.358	18.432	22.506	26.58	30.654
ใยหิน 80 kg/m³	50	10.255	14.33	18.406	22.482	26.557	30.633

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตรและเพิ่มฉนวน ในอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

4.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน (Economic Analysis)

มูลค่าปัจจุบัน Present worth ของแต่ละทางเลือกนำมาใช้ชี้วัดความคุ้มค่าทางการลงทุน เมื่อมีเงินลงทุนเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลง การวิเคราะห์ Life cycle Cost (LCC) วิธีการหนึ่งคือการใช้ Present worth เป็นวิธีการรวมมูลค่าปัจจุบันและมูลค่าอนาคตที่เปลี่ยนแปลงกลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยดูทางเลือกที่มีค่า LCC ต่ำสุด

ทั้งนี้หากค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังทั้งหมดที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่มีผลค่าก่อนการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อนผ่านเกณฑ์ และหลังการจำลองการติดตั้งไม่ผ่านเกณฑ์จะไม่นำมาทำการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุน

4.2.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 15% และ 20% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. และอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³ ความหนา 50 mm. กับฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.13

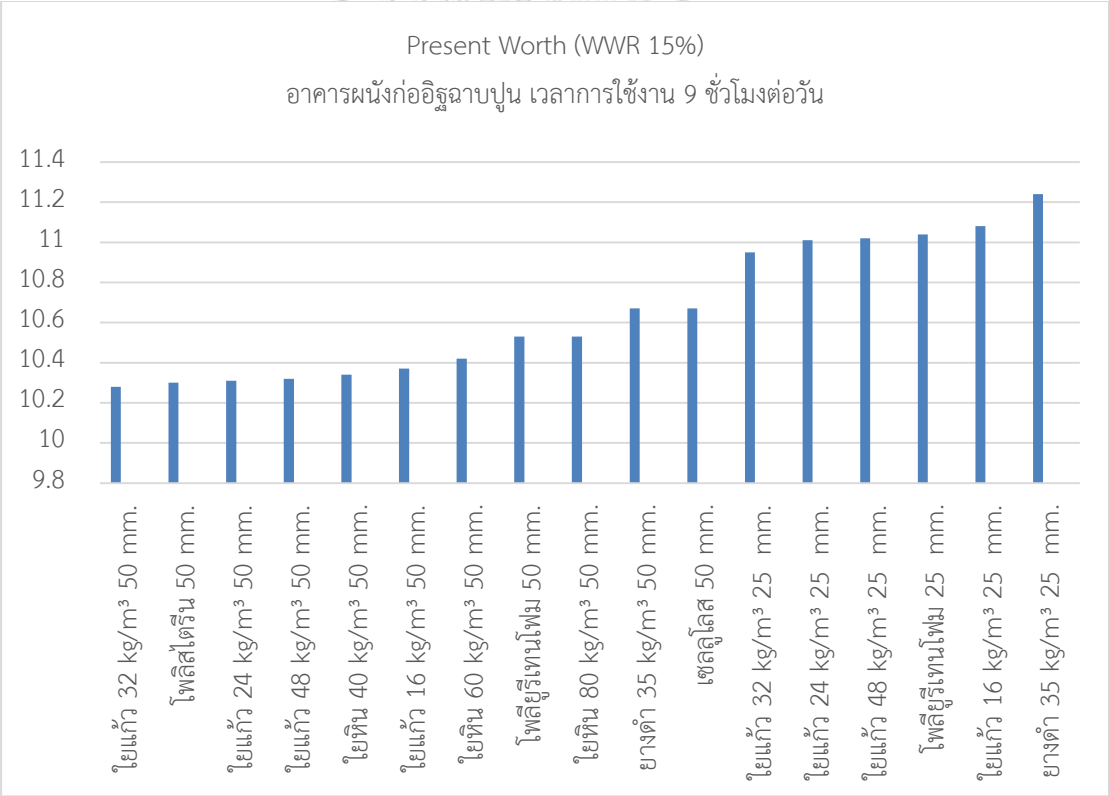
ตารางที่ 16 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)		
		15	20	25
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	11.08	12.27	-
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	10.37	11.62	15.29
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	11.01	12.20	-
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	10.31	11.58	15.27
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	10.95	12.16	-
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	10.28	11.54	15.27
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	11.02	12.22	-
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	10.32	11.58	15.31

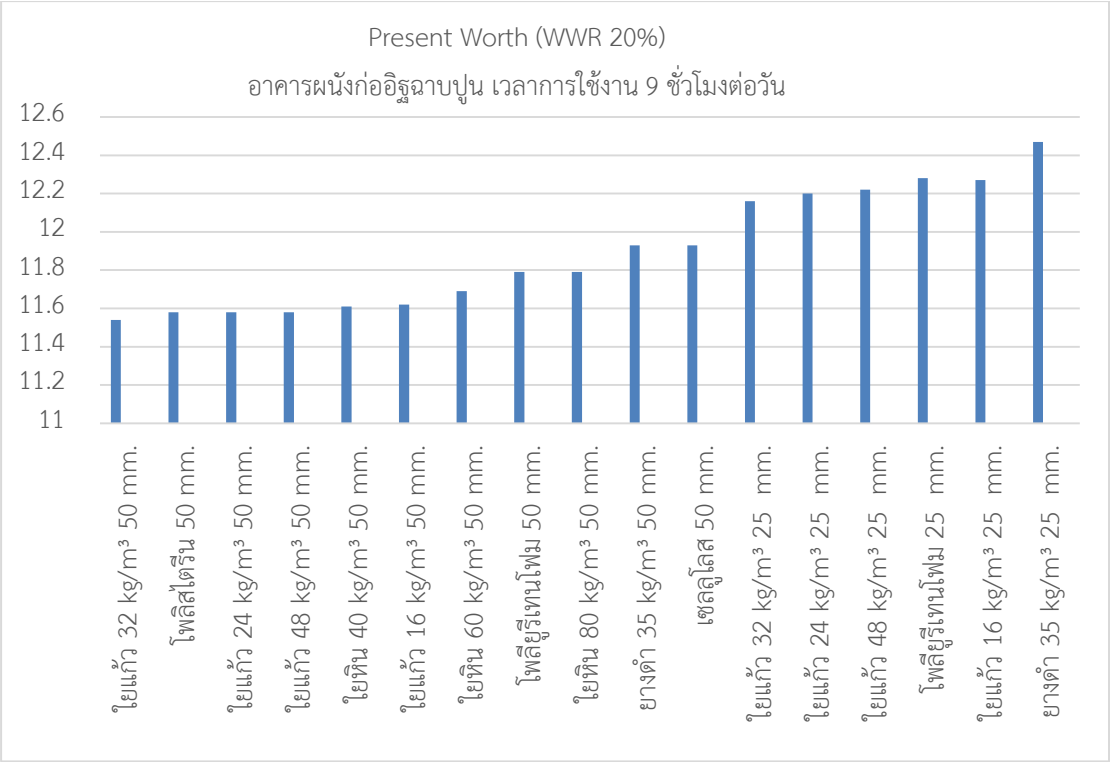
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	11.04	12.28	-
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	10.53	11.79	15.53
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	10.30	11.58	15.28
ฉนวนเซลลูโลส	50	10.67	11.93	15.59
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	11.24	12.47	-
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	10.67	11.93	15.59
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	10.34	11.61	15.28
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	10.42	11.69	15.37
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	10.53	11.79	15.48

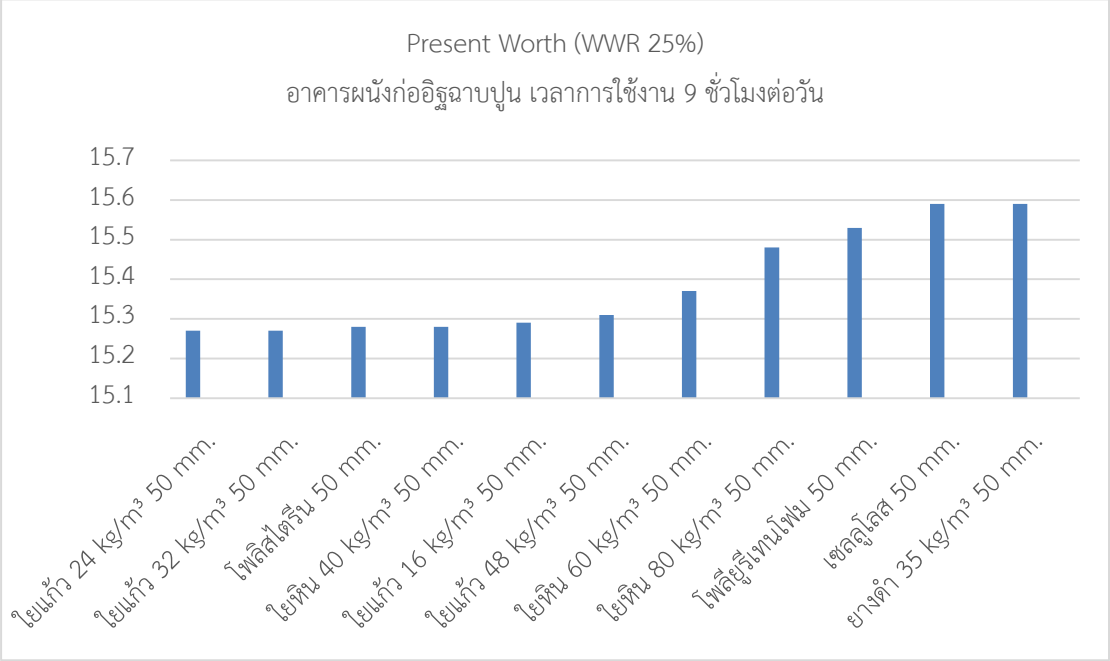
เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.13 – 4.15



แผนภูมิที่ 16 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 15%



แผนภูมิที่ 17 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20%



แผนภูมิที่ 18 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

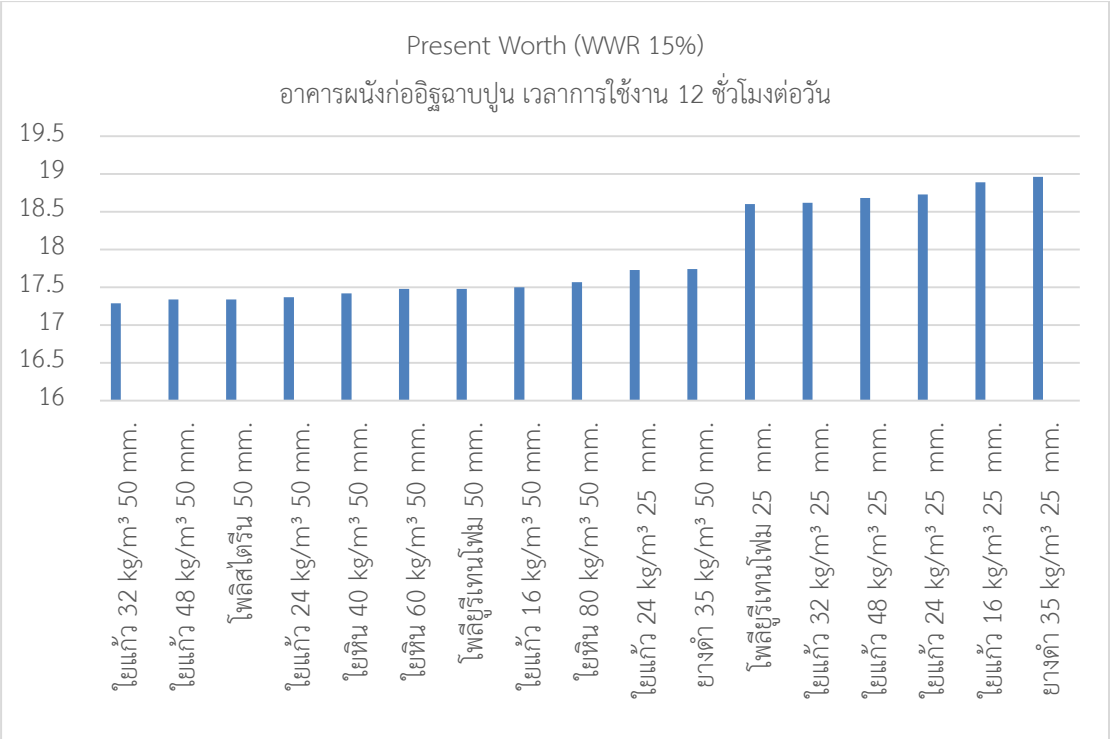
จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 15%, 20% และ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

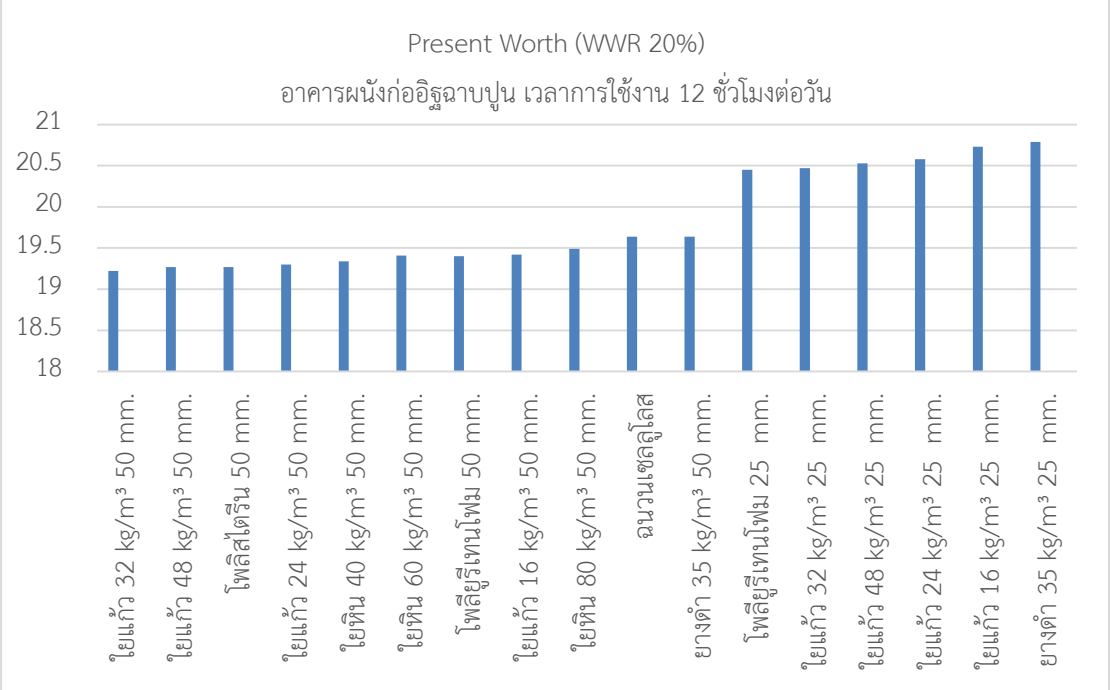
ฉนวน	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR		
		15	20	25
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	18.89	20.73	24.18
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	17.50	19.42	23.39
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	18.73	20.58	24.10
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	17.37	19.30	23.31
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	18.62	20.47	24.04
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	17.29	19.22	23.26
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	18.68	20.53	24.10
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	17.34	19.27	23.30
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	18.60	20.45	24.10
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	17.48	19.40	23.46
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	17.34	19.27	23.30
ฉนวนเซลลูโลส	50	17.73	19.64	23.63
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	18.96	20.79	24.30
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	17.74	19.64	23.63
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	17.42	19.34	23.34
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	17.48	19.41	23.41
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	17.57	19.49	23.50

เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.16 – 4.18

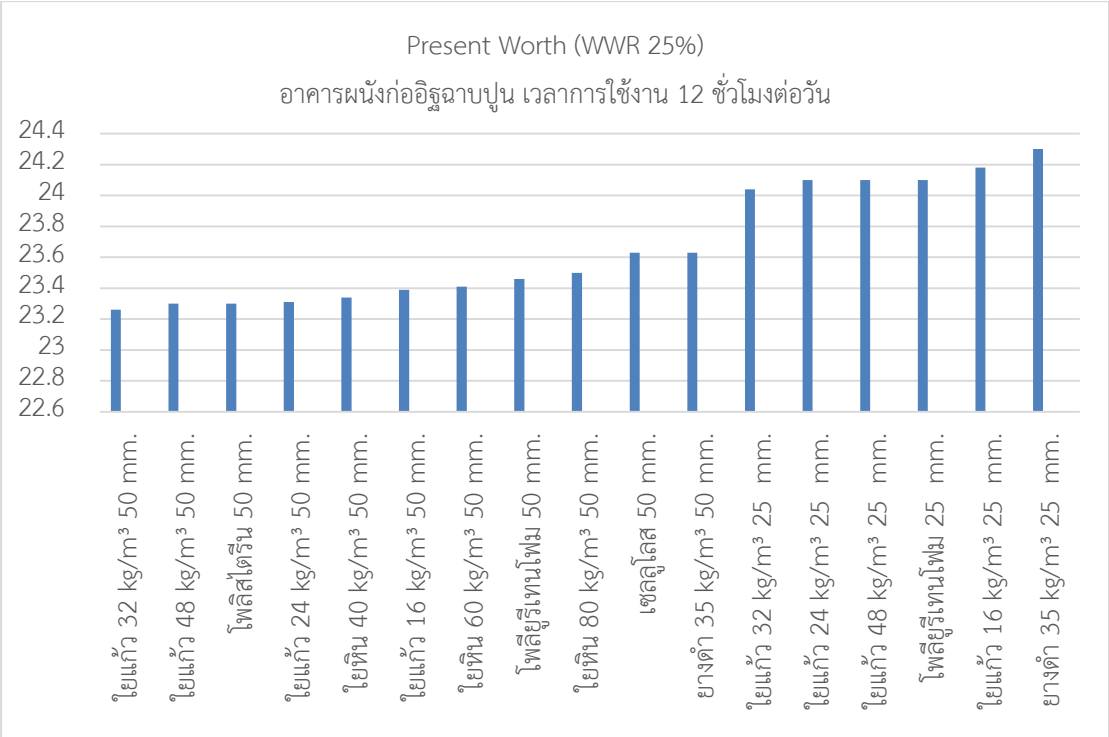
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 19 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 15%



แผนภูมิที่ 20 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20%



แผนภูมิที่ 21 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน

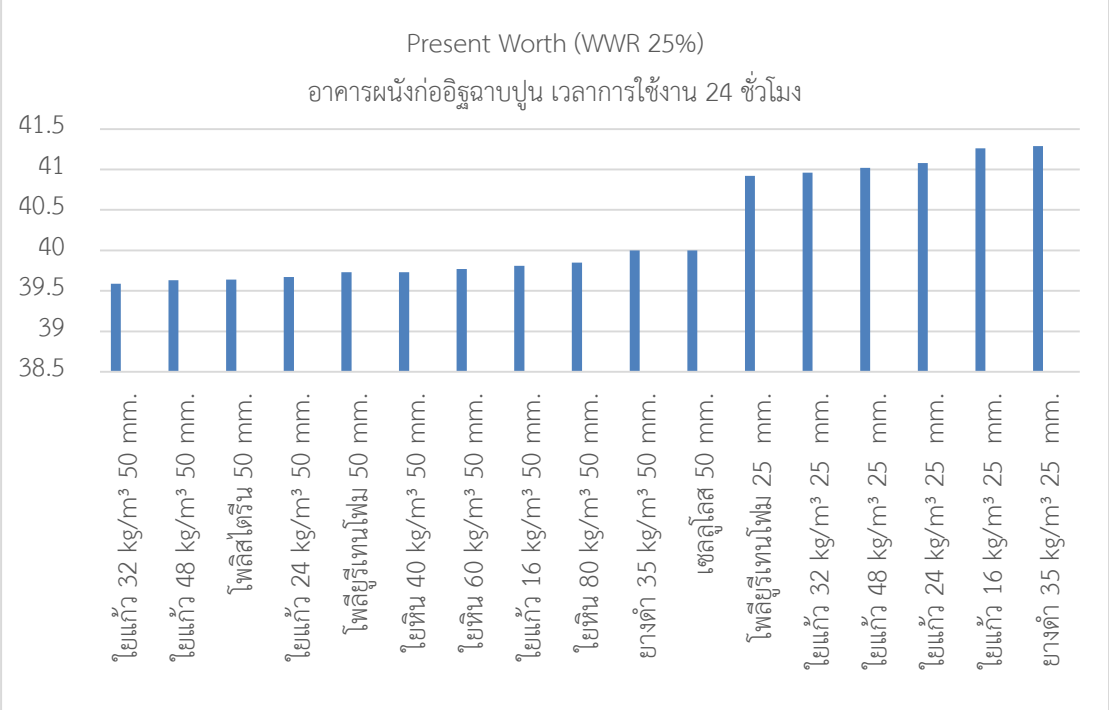
จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 30% ฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง

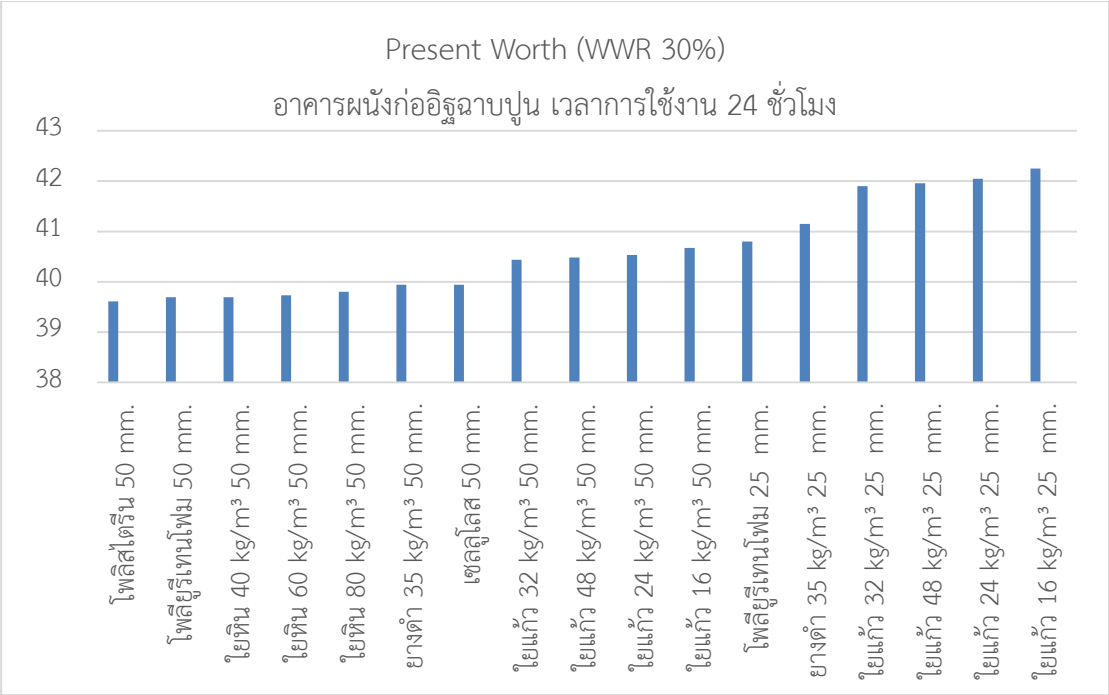
ฉนวน	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)	
		25	30
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	41.26	42.25
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	39.81	40.67
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	41.08	42.05
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	39.67	40.53

ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	40.96	41.90
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	39.59	40.44
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	41.02	41.96
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	39.63	40.48
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	40.92	40.80
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	39.73	39.69
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	39.64	39.61
ฉนวนเซลลูโลส	50	40	39.94
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	41.29	41.15
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	40	39.94
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	39.73	39.69
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	39.77	39.73
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	39.85	39.80

เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.19 – 4.20



แผนภูมิที่ 22 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%



แผนภูมิที่ 23 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 30%

4.2.2 ผนังก่ออิฐมวลเบา

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. กับฉนวนเซลลูโลส มีค่าเท่ากัน และความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.16

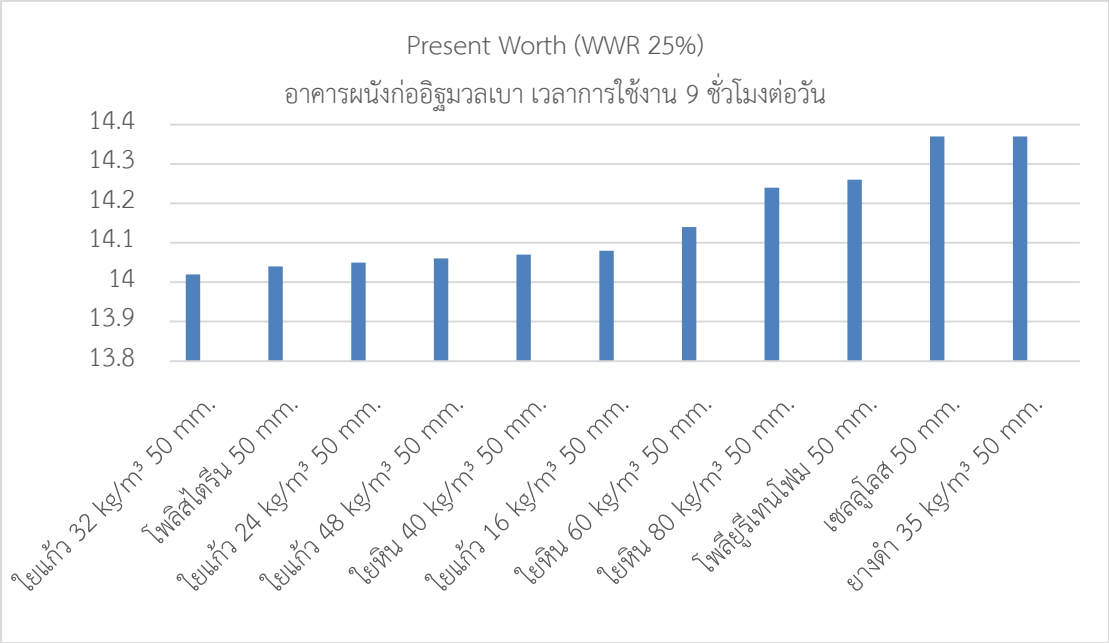
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)
		25
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	-
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	14.08
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	-

ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	14.05
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	-
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	14.02
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	-
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	14.06
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	-
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	14.26
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	14.04
ฉนวนเซลลูโลส	50	14.37
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	-
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	14.37
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	14.07
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	14.14
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	14.24

เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมาก เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.21



แผนภูมิที่ 24 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐมวลเบาที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

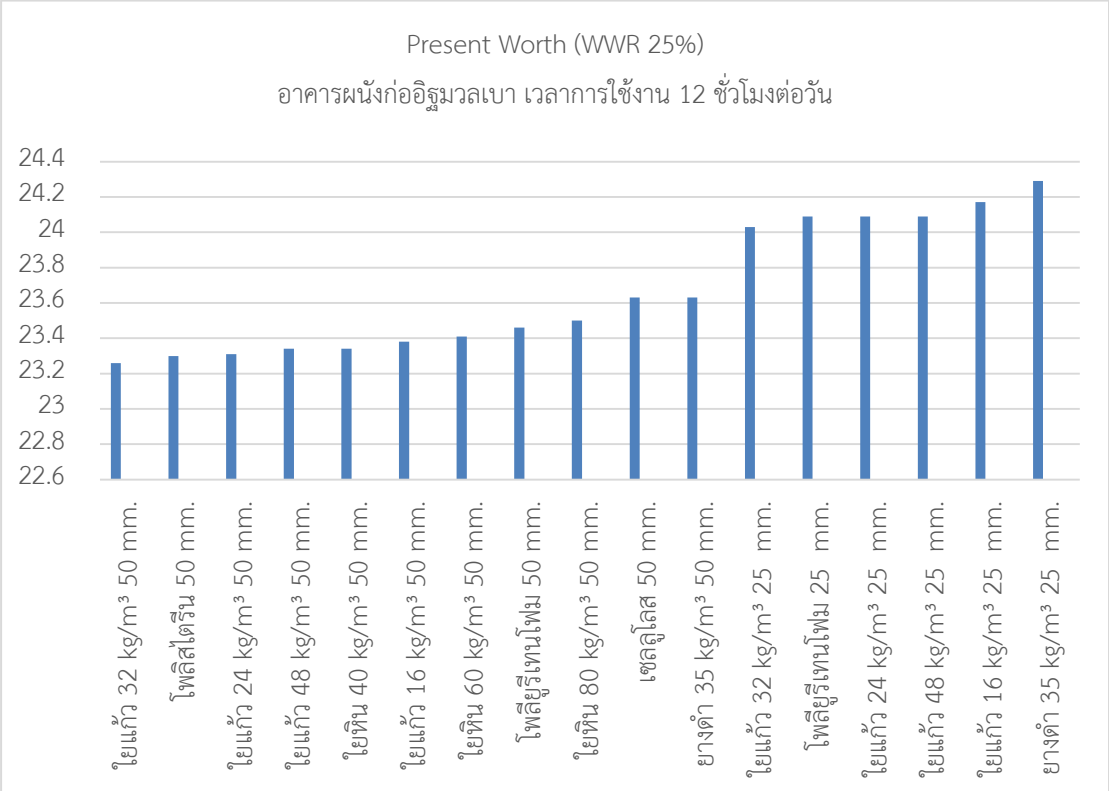
จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวน	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)
		25
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	24.17
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	23.38
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	24.09
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	23.31
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	24.03
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	23.26
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	24.09
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	23.34
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	24.09
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	23.46
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	23.30
ฉนวนเซลลูโลส	50	23.63
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	24.29
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	23.63
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	23.34
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	23.41
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	23.50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.22



แผนภูมิที่ 25 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐมวลเบาที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน

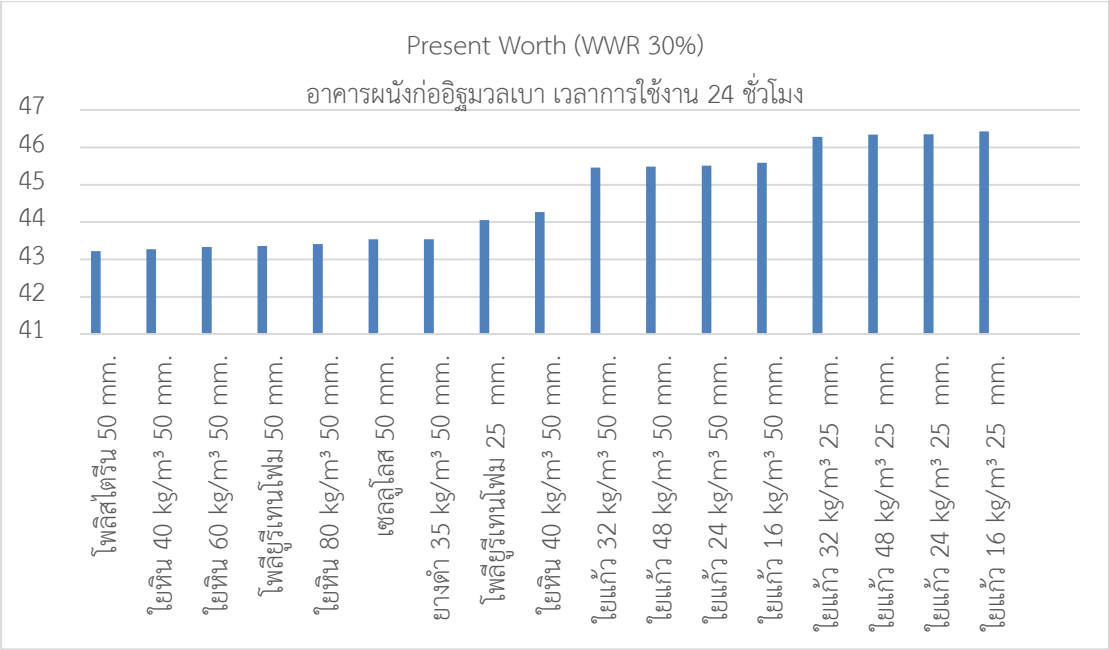
จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 30% Life cycle Cost ของฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง

ฉนวน	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)
		30
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	46.43
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	45.59
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	46.35
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	45.51
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	46.28
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	45.46
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	46.34
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	45.49
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	44.05
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	43.36
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	43.22
ฉนวนเซลลูโลส	50	43.54
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	44.27
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	43.54
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	43.27
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	43.33
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	43.41

เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 26 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังก่ออิฐมวลเบาที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

4.2.3 ผนังคอนกรีต

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 10%, 15%, 20% และ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.19

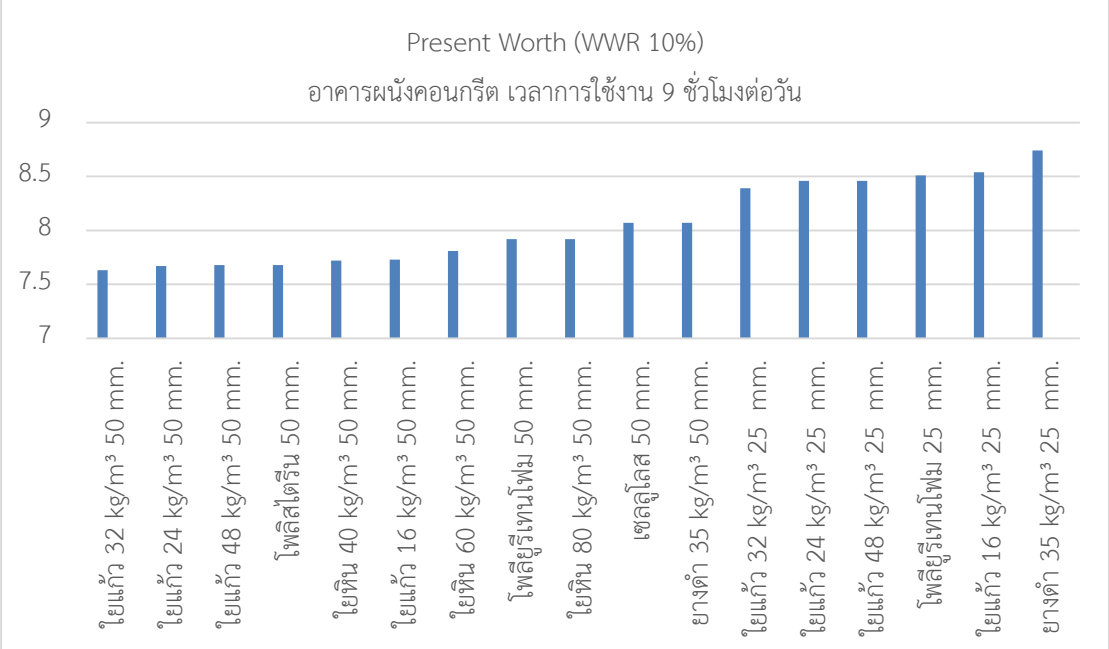
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

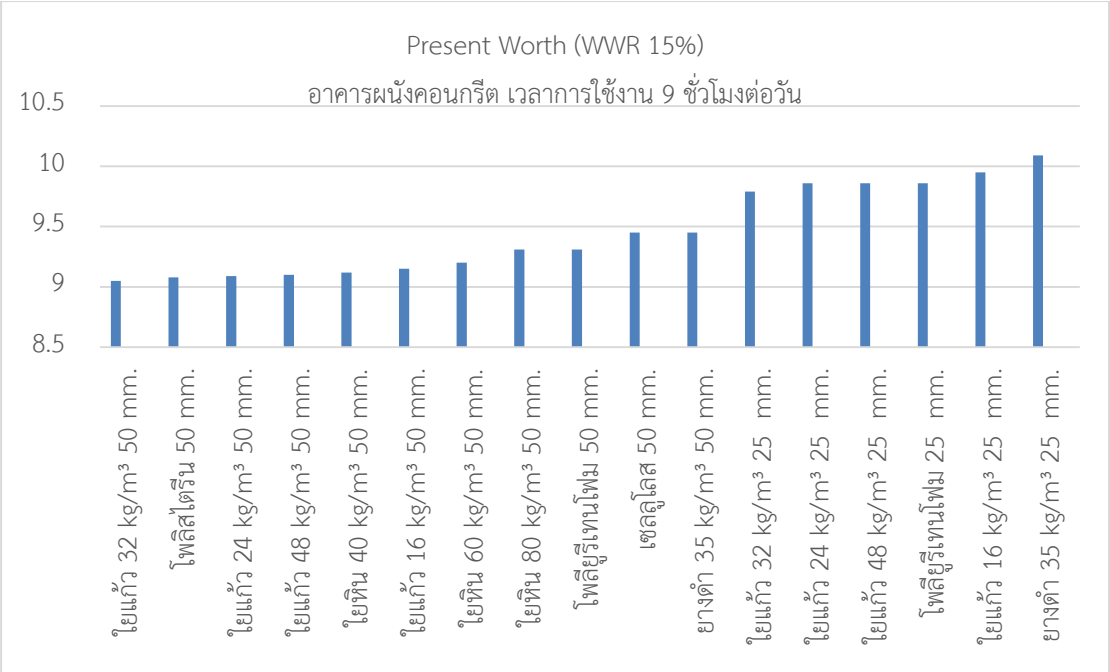
ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)			
		10	15	20	25
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	8.54	9.95	11.26	-
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	7.73	9.15	10.53	11.95
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	8.46	9.86	11.18	-
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	7.67	9.09	10.48	11.90

ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	8.39	9.79	11.12	-
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	7.63	9.05	10.45	11.87
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	8.46	9.86	11.18	-
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	7.68	9.10	10.49	11.91
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	8.51	9.86	11.22	-
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	7.92	9.31	10.70	12.09
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	7.68	9.08	10.49	11.89
ฉนวนเซลลูโลส	50	8.07	9.45	10.84	12.22
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	8.74	10.09	11.43	-
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	8.07	9.45	10.84	12.22
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	7.72	9.12	10.52	11.92
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	7.81	9.20	10.60	12
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	7.92	9.31	10.70	12.09

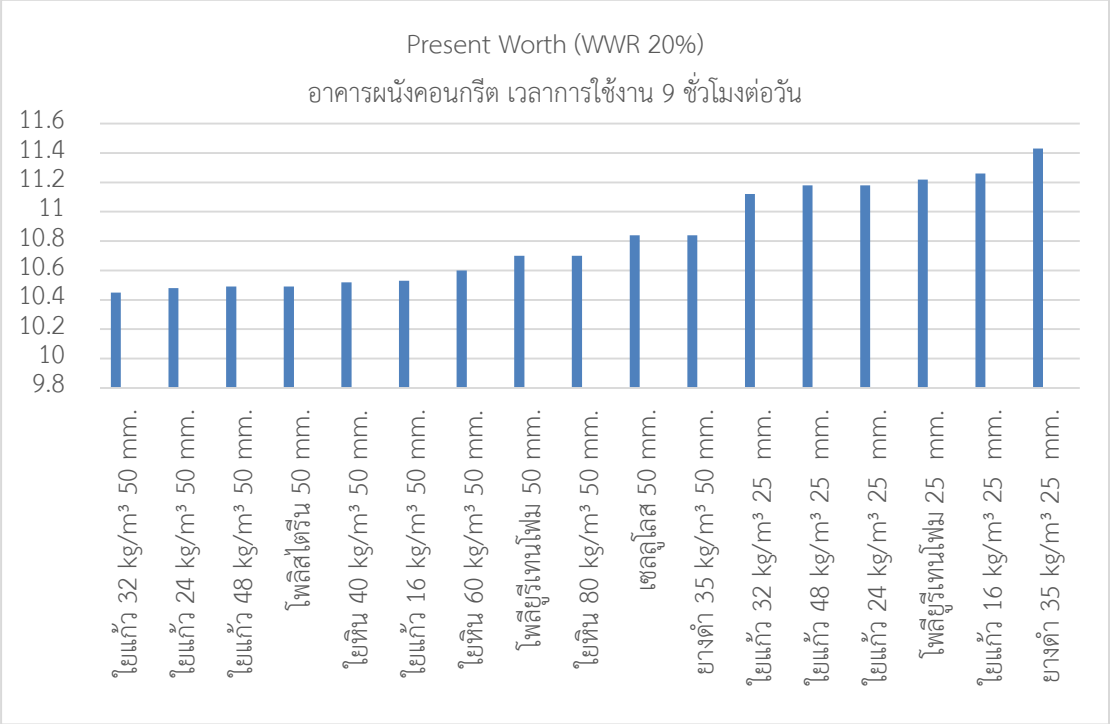
เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.24 - 4.27



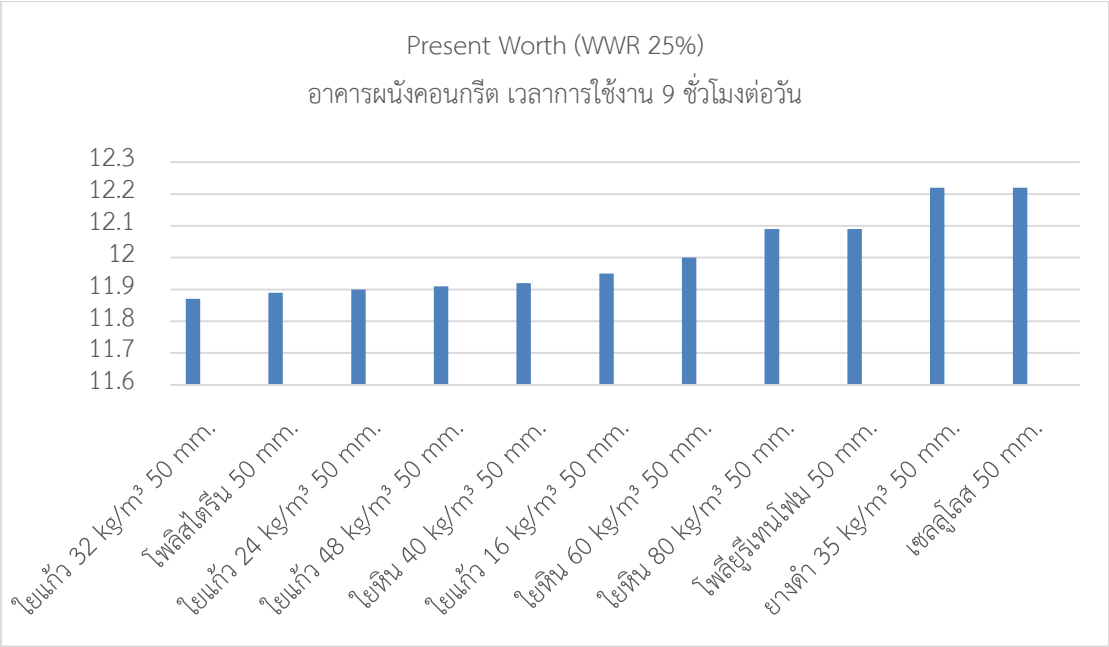
แผนภูมิที่ 27 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 10%



แผนภูมิที่ 28 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 15%



แผนภูมิที่ 29 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20%



แผนภูมิที่ 30 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 10% และ 15% Life cycle Cost ของฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20% และ 25% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ที่ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.20

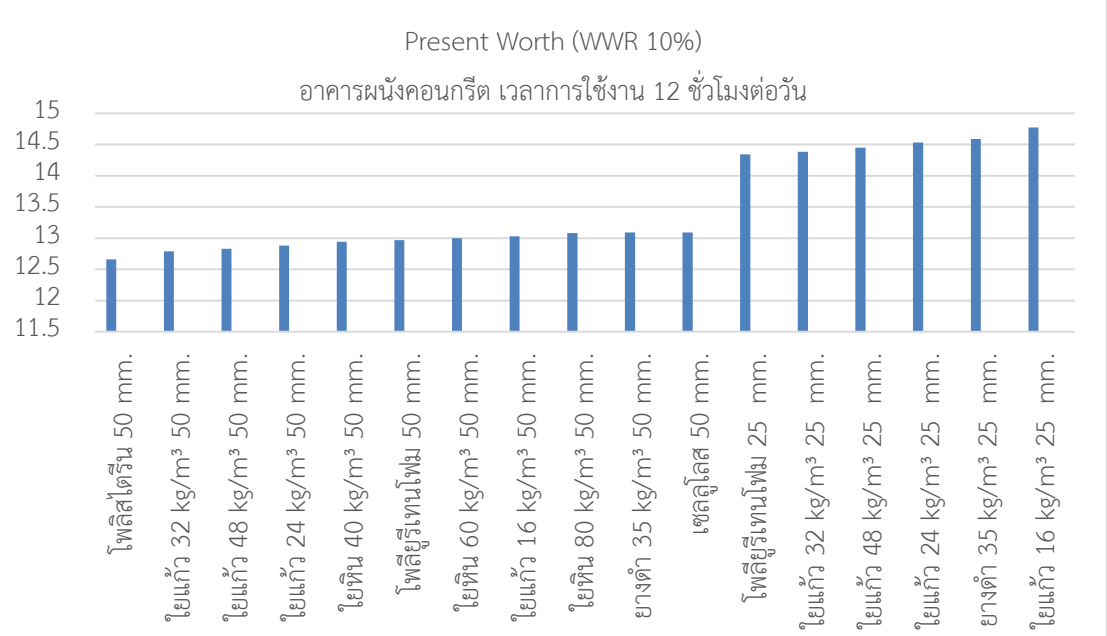
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

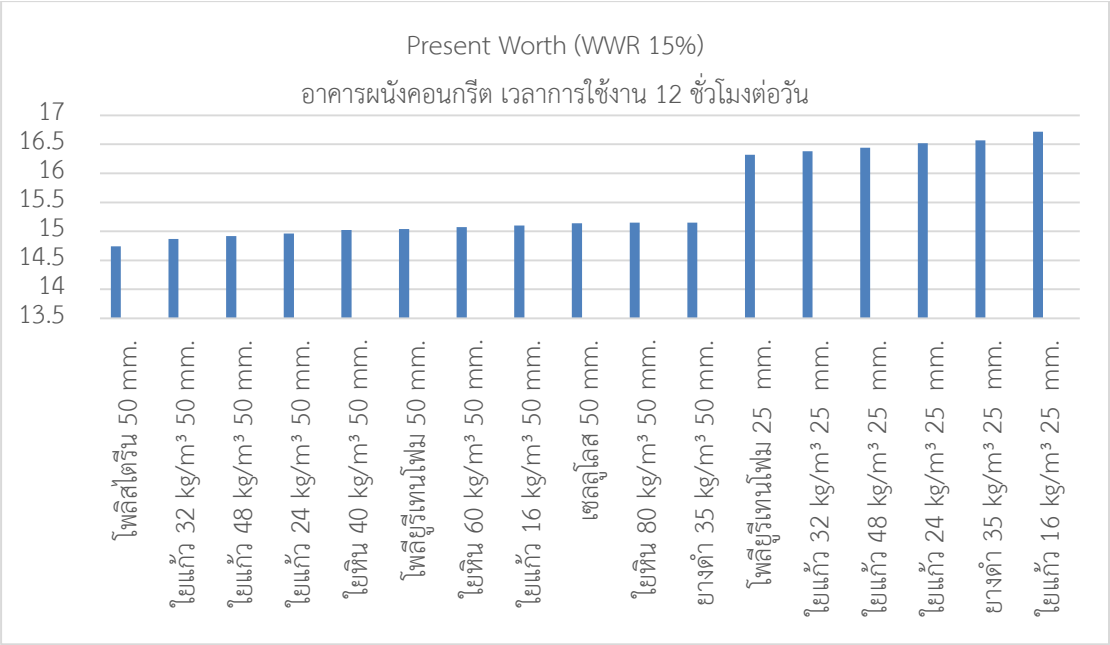
ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)			
		10	15	20	25
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	14.77	16.72	18.43	-
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	13.03	15.10	16.96	19.24
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	14.53	16.52	18.25	-
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	12.88	14.96	16.84	19.12

ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	14.38	16.38	18.12	-
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	12.79	14.87	16.75	18.86
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	14.45	16.44	18.19	-
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	12.83	14.92	16.80	19.08
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	14.34	16.32	18.08	-
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	12.97	15.04	16.91	19.19
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	12.66	14.74	16.84	18.91
ฉนวนเซลลูโลส	50	13.09	15.14	17.22	19.26
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	14.59	16.57	18.60	-
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	13.09	15.15	17.22	19.26
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	12.94	15.02	16.87	19.17
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	13	15.07	16.93	19.22
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	13.08	15.15	17.17	19.29

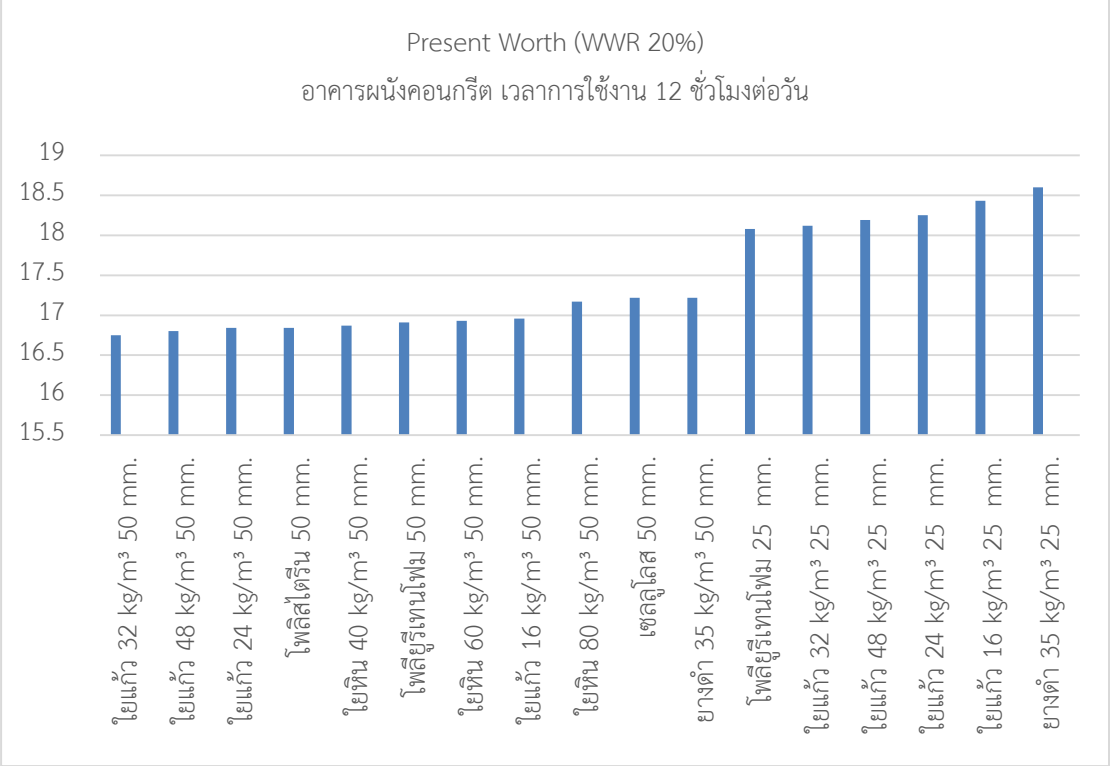
เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.28 - 4.31



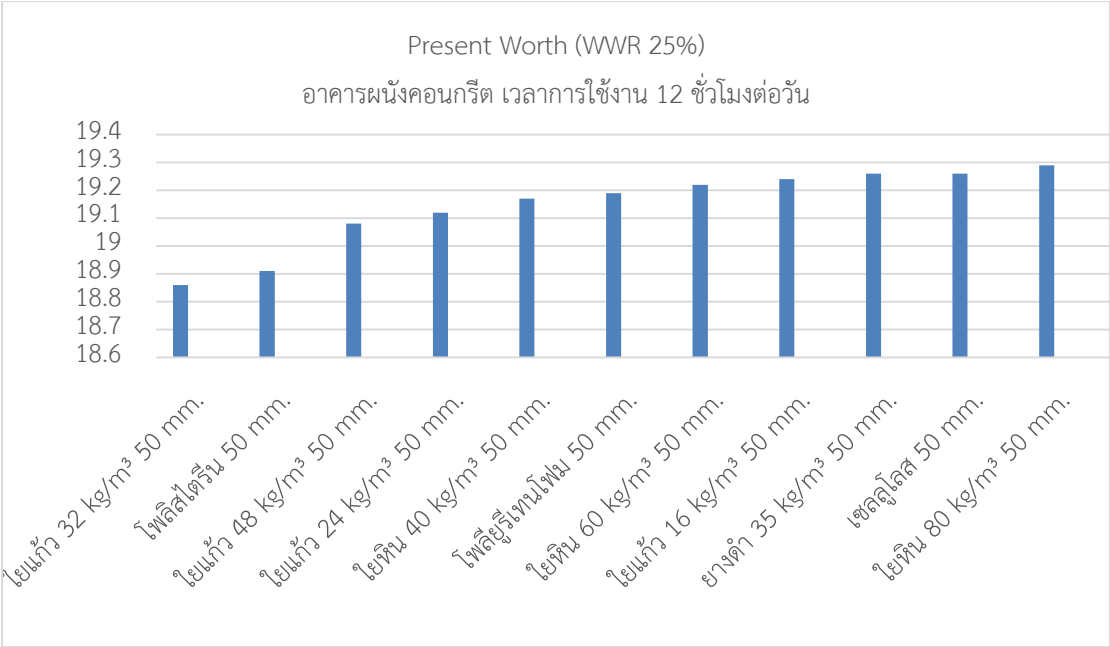
แผนภูมิที่ 31 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 10%



แผนภูมิที่ 32 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 15%



แผนภูมิที่ 33 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20%



แผนภูมิที่ 34 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 15% และ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. และอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 20% และ 30% Life cycle Cost ของฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.21

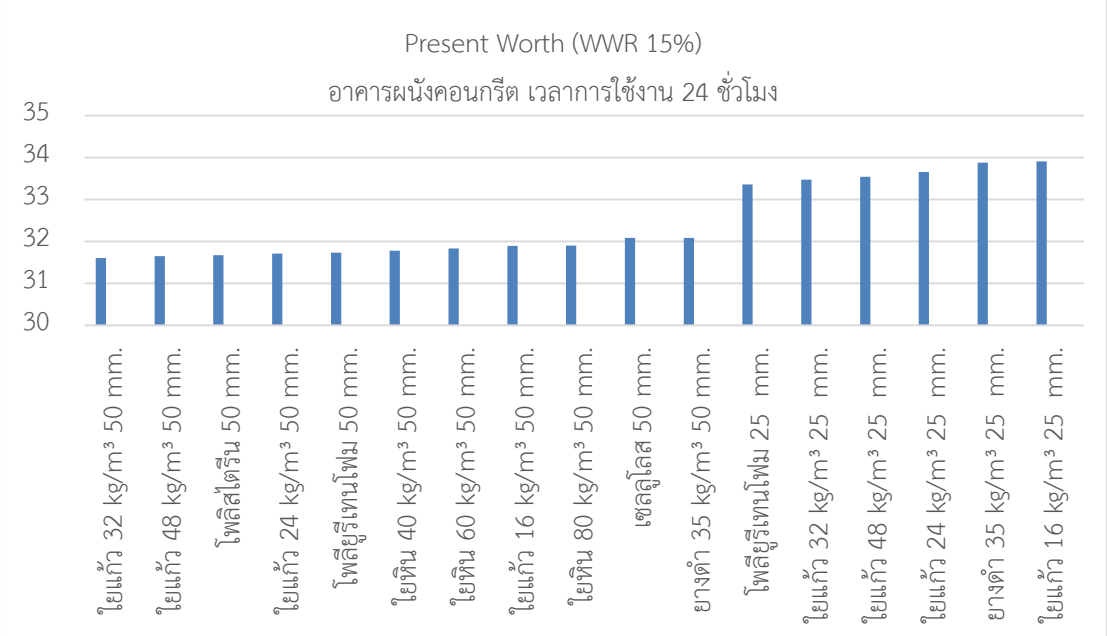
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง

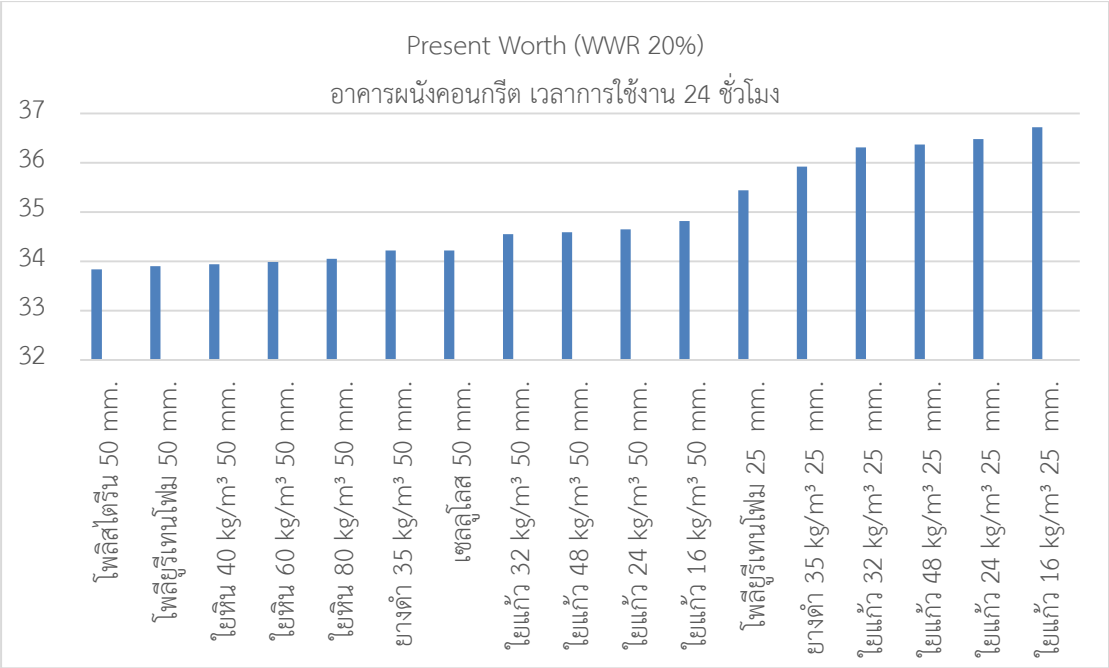
ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)			
		15	20	25	30
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	33.91	36.72	38.76	41.57
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	31.89	34.82	36.97	39.90
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	33.66	36.48	38.53	41.36

ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	31.71	34.65	36.82	39.76
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	33.47	36.31	38.37	41.21
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	31.60	34.55	36.72	39.66
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	33.54	36.37	38.43	41.26
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	31.65	34.59	36.76	39.70
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	33.36	35.44	38.28	40.35
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	31.73	33.90	36.84	39
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	31.67	33.84	36.78	38.95
ฉนวนเซลลูโลส	50	32.08	34.22	37.14	39.29
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	33.88	35.92	38.73	40.77
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	32.08	34.22	37.14	39.29
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	31.78	33.94	36.88	39.04
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	31.83	33.99	36.92	39.08
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	31.90	34.05	36.98	39.14

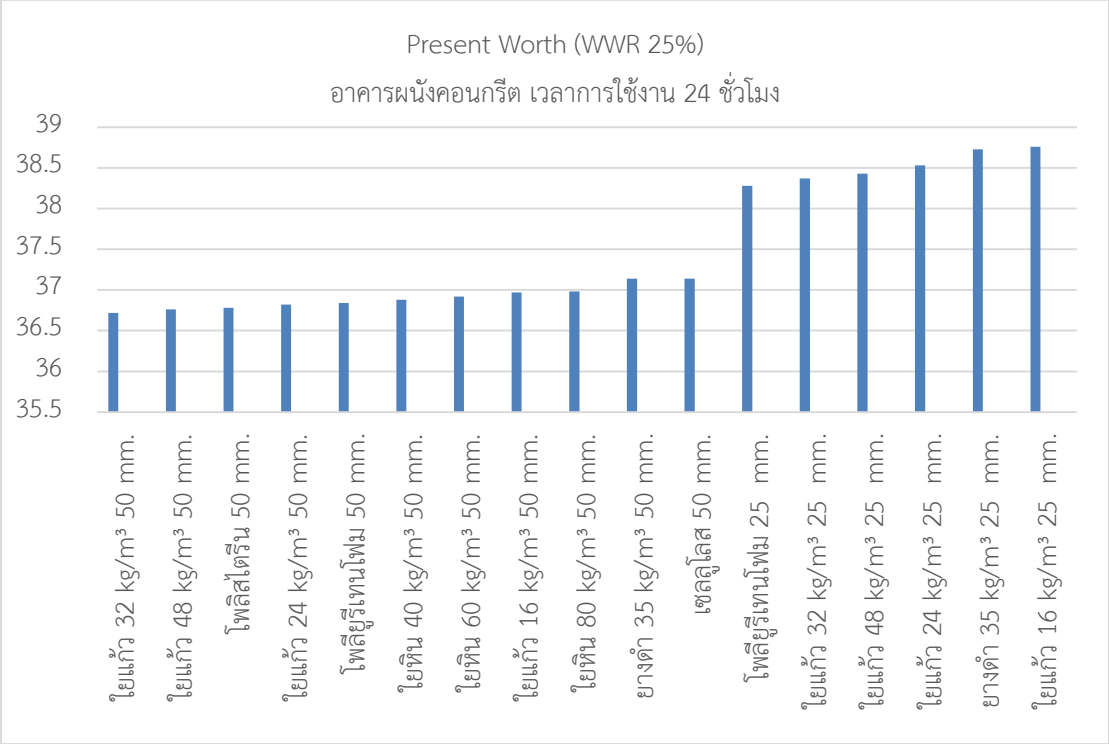
เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.32 - 4.35



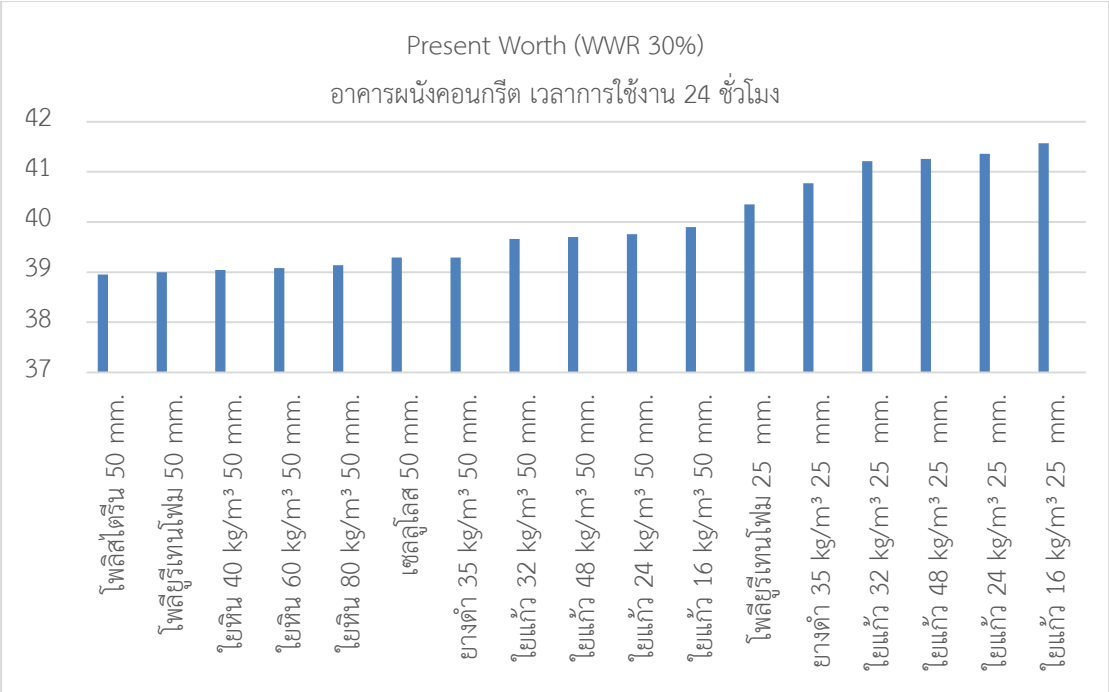
แผนภูมิที่ 35 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 15%



แผนภูมิที่ 36 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20%



แผนภูมิที่ 37 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%



แผนภูมิที่ 38 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 30%

4.2.4 ผนังก่ออิฐมอญ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.22

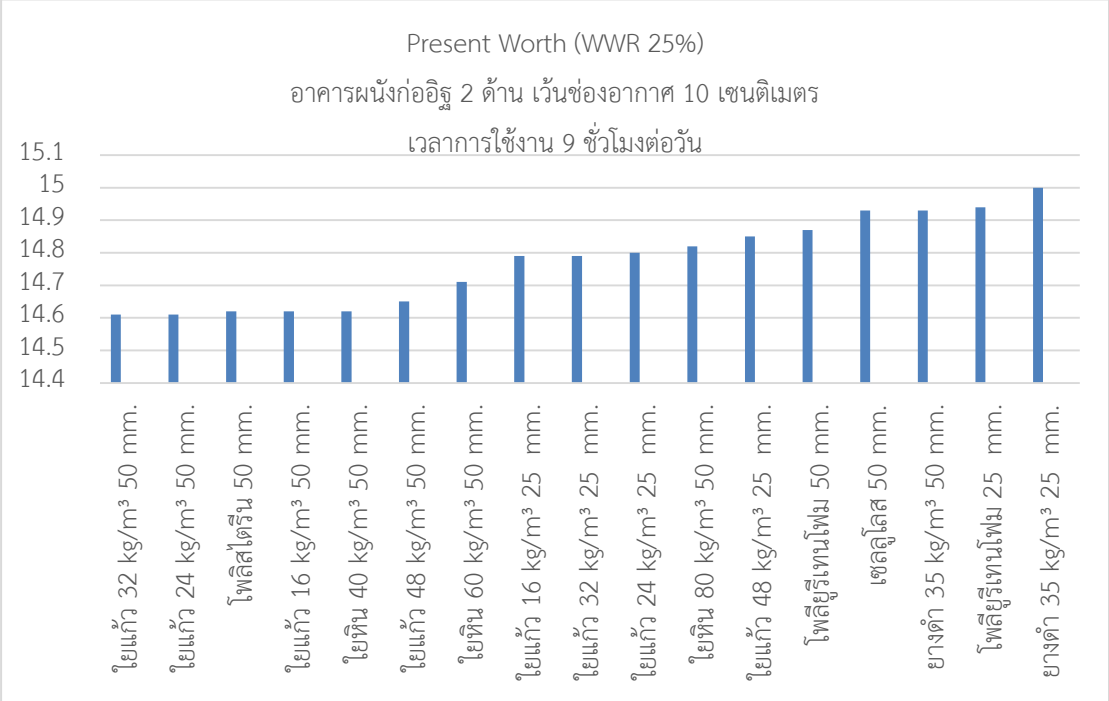
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR 25%
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	14.79
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	14.62
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	14.80
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	14.61
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	14.79

ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	14.61
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	14.85
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	14.65
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	14.94
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	14.87
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	14.62
ฉนวนเซลลูโลส	50	14.93
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	15
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	14.93
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	14.62
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	14.71
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	14.82

เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.36



แผนภูมิที่ 39 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

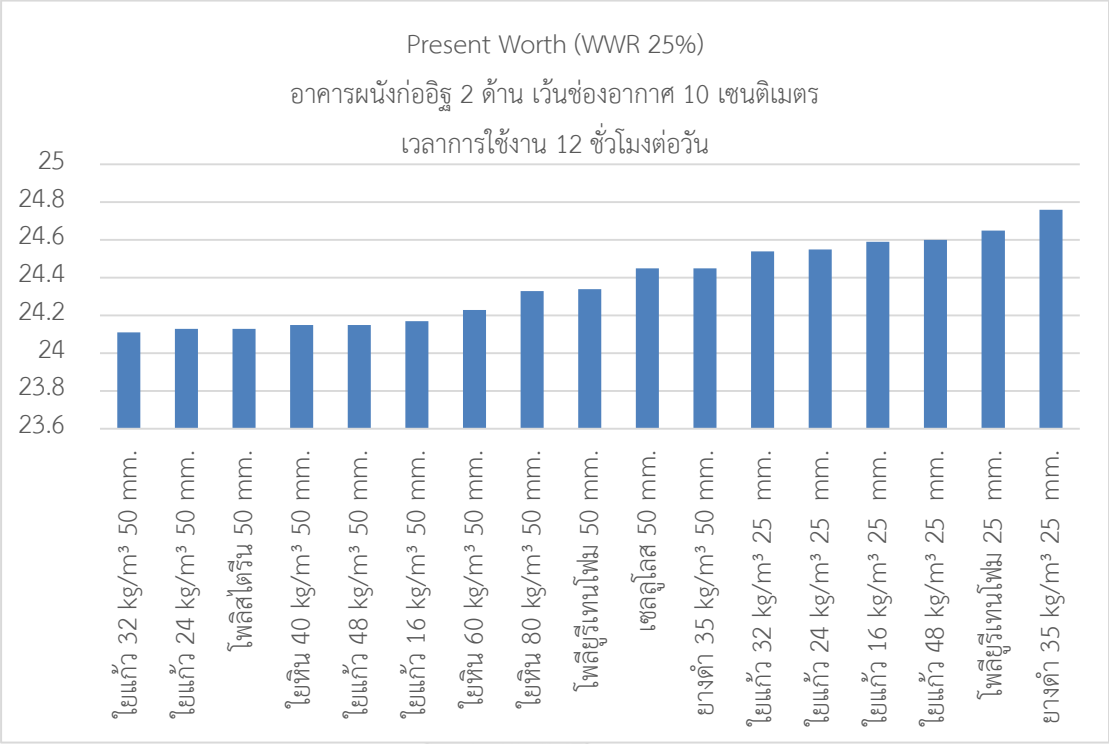
จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ที่ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)
		25
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	24.59
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	24.17
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	24.55
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	24.13
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	24.54
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	24.11
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	24.60
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	24.15
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	24.65
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	24.34
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	24.13
ฉนวนเซลลูโลส	50	24.45
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	24.76
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	24.45
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	24.15
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	24.23
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	24.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อจัดทำแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบลำดับมูลค่าปัจจุบันเรียงลำดับความคุ้มค่าจากน้อยไปมากเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ Life cycle Cost ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.37



แผนภูมิที่ 40 มูลค่าปัจจุบันของอาคารผนังคอนกรีตที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25%

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์ก่อนทำการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงระบบผนังอาคารด้วยฉนวนกันความร้อน

หมายเหตุ

1. คิดระยะเวลาการคืนทุนเฉพาะฉนวนที่ผ่านเกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมตามประกาศกระทรวงพลังงาน
2. คิดราคาไฟฟ้าเฉลี่ย หน่วยล่ะ 3.10 บาท และไม่คิดค่าบริการจากการไฟฟ้านครหลวง
3. อัตราการปรับปรุงติดตั้งฉนวนกันความร้อนไม่รวมค่าแรงการติดตั้ง
4. Present worth ใช้ค่า (A ⟶ P) n=10, I =7%
   ค่าจากตาราง Factor A เป็น P = 6.7101
5. I = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7%
6. n = Life in years (อายุการใช้งานของฉนวนเฉลี่ย 10 ปี)
7. อักษรย่อ PW คือ Present Worth มีหน่วยเป็น บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคารหรือ Building energy Code (BEC) ภายใต้การดำเนินงานของศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานมีผลบังคับใช้กับอาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลง 3 ประเภทการใช้งานตามช่วงเวลา 9 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงต่อวัน ทำการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) โดยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยฉนวนที่ความหนาแน่นและความหนาแตกต่างกัน 17 ทางเลือก ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (BEC) พบว่ามีค่าการถ่ายเทความร้อนของฉนวนใยแก้วลดลงตามความหนาแน่นและความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้น โดยเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับระบบผนังอาคารที่คุ้มค่าด้านการเงินมากที่สุด และผ่านเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงพลังงาน กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552

5.1 แนวทางการเลือกใช้ฉนวนในระบบผนังแต่ละประเภท

สรุปผลอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดก่อนการติดตั้งฉนวนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เมื่อทำการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจึงจะมีค่าผ่านเกณฑ์จึงเป็นช่วงระยะที่เหมาะกับการปรับปรุงระบบผนังด้วยฉนวนกันความร้อนมากที่สุดและเกิดความคุ้มค่าต่อเจ้าของโครงการ ดังนี้

5.1.1 ผลการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังก่ออิฐฉาบปูน

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.1 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐฉาบปูนอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15% และ 20% และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ควรมีความหนาของฉนวนที่ใช้ในการติดตั้งไม่น้อยกว่า 50 mm.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 27 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	43.019	50.696	58.791	66.443	74.095	81.746
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	27.013	34.948	43.402	52.191	62.15	69.394
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	23.427	31.963	40.682	49.532	58.901	67.089
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	26.524	34.553	43.047	51.842	61.704	69.092
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	23.077	31.666	40.41	49.269	58.591	66.862
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	26.176	34.273	42.791	51.588	61.38	68.871
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	22.85	31.46	40.224	49.087	58.381	66.704
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	26.171	34.269	42.787	51.585	61.376	68.869
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	22.844	31.455	40.22	49.083	58.376	66.7
โพลียูรีเทนโฟม	25	25.156	33.825	42.526	51.194	59.862	68.53
โพลียูรีเทนโฟม	50	22.296	31.124	39.964	48.792	57.62	66.448
โพลิสไตรีน	50	22.751	31.554	40.368	49.17	57.973	66.776
เซลลูโลส	50	22.858	31.656	40.463	49.26	58.057	66.854
ยางดำ 35 kg/m^3	25	25.92	34.548	43.213	51.838	59.862	69.088
ยางดำ 35 kg/m^3	50	22.863	31.66	40.467	49.264	57.62	66.857
ใยหิน 40 kg/m^3	50	22.97	31.761	40.563	49.353	58.144	66.95
ใยหิน 60 kg/m^3	50	22.861	31.658	40.466	49.263	58.059	66.865
ใยหิน 80 kg/m^3	50	22.744	31.547	40.362	49.165	57.968	66.786
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 15% และ 20% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. และอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 24 kg/m^3 ความหนา 50 mm. กับฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแผนภูมิที่ 5.2

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)		
		15	20	25
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	11.08	12.27	-
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	10.37	11.62	15.29
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	11.01	12.20	-
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	10.31	11.58	15.27
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	10.95	12.16	-
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	10.28	11.54	15.27
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	11.02	12.22	-
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	10.32	11.58	15.31
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	11.04	12.28	-
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	10.53	11.79	15.53
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	10.30	11.58	15.28
ฉนวนเซลลูโลส	50	10.67	11.93	15.59
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	11.24	12.47	-
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	10.67	11.93	15.59
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	10.34	11.61	15.28
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	10.42	11.69	15.37
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	10.53	11.79	15.48

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.3 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐฉาบปูนอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15%, 20% และ 25%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 29 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	37.565	43.045	48.525	44.841	59.485	64.965
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	21.662	28.025	34.389	39.301	47.116	53.479
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	18.561	25.097	31.633	37.582	44.704	51.24
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	21.256	27.642	34.028	39.095	46.8	53.186
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	18.256	24.809	31.362	37.397	44.467	51.02
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	20.968	27.371	33.772	38.938	46.576	52.978
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	18.045	24.609	31.174	37.262	44.302	50.867
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	20.967	27.369	33.771	38.939	46.575	52.978
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	18.043	24.608	31.172	37.262	44.302	50.866
โพลียูรีเทนโฟม	25	20.508	26.936	33.363	38.698	46.219	52.646
โพลียูรีเทนโฟม	50	17.72	24.302	30.885	37.057	44.049	50.632
โพลิสไตรีน	50	18.154	24.712	31.27	37.334	44.387	50.945
เซลลูโลส	50	18.254	24.807	31.359	37.398	44.465	51.018
ยางดำ 35 kg/m^3	25	21.255	27.64	34.027	39.095	46.219	53.185
ยางดำ 35 kg/m^3	50	18.255	24.808	31.36	37.397	44.049	51.019
ใยหิน 40 kg/m^3	50	18.357	24.904	31.451	37.461	44.546	51.092
ใยหิน 60 kg/m^3	50	18.254	24.807	31.36	37.397	44.466	51.018
ใยหิน 80 kg/m^3	50	18.152	24.71	31.269	37.334	44.386	50.944
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 15%, 20% และ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวน	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)		
		15	20	25
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	18.89	20.73	24.18
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	17.50	19.42	23.39
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	18.73	20.58	24.10
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	17.37	19.30	23.31
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	18.62	20.47	24.04
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	17.29	19.22	23.26
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	18.68	20.53	24.10
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	17.34	19.27	23.30
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	18.60	20.45	24.10
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	17.48	19.40	23.46
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	17.34	19.27	23.30
ฉนวนเซลลูโลส	50	17.73	19.64	23.63
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	18.96	20.79	24.30
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	17.74	19.64	23.63
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	17.42	19.34	23.34
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	17.48	19.41	23.41
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	17.57	19.49	23.50

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.5 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐฉาบปูนอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% และ 30%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 31 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	27.388	25.752	28.909	32.559	35.963	39.367
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	13.345	16.946	20.837	24.789	28.711	32.633
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	11.337	15.243	19.251	23.287	27.309	31.331
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	13.072	16.721	20.63	24.591	28.526	32.461
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	11.143	15.073	19.096	23.137	27.169	31.201
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	12.878	16.561	20.483	24.449	28.394	32.339
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	11.016	14.958	18.988	23.036	27.074	31.113
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	12.879	16.561	20.483	24.449	28.394	32.339
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	11.017	14.959	18.988	23.036	27.075	31.113
โพลียูรีเทนโฟม	25	12.354	16.314	20.272	24.231	28.191	32.149
โพลียูรีเทนโฟม	50	10.731	14.78	18.829	22.879	26.928	30.977
โพลิสไตรีน	50	10.983	15.018	19.054	23.089	27.124	31.159
เซลลูโลส	50	11.042	15.073	19.106	23.137	27.17	31.201
ยางดำ 35 kg/m^3	25	12.786	16.722	20.657	24.591	28.526	32.462
ยางดำ 35 kg/m^3	50	11.042	15.073	19.105	23.137	27.169	31.201
ใยหิน 40 kg/m^3	50	11.104	15.133	19.161	23.189	27.218	31.247
ใยหิน 60 kg/m^3	50	11.042	15.073	19.105	23.137	27.169	31.201
ใยหิน 80 kg/m^3	50	10.984	15.019	19.054	23.089	27.124	31.159
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 30% ฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง

ฉนวน	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)	
		25	30
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	41.26	42.25
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	39.81	40.67
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	41.08	42.05
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	39.67	40.53
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	40.96	41.90
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	39.59	40.44
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	41.02	41.96
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	39.63	40.48
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	40.92	40.80
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	39.73	39.69
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	39.64	39.61
ฉนวนเซลลูโลส	50	40	39.94
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	41.29	41.15
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	40	39.94
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	39.73	39.69
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	39.77	39.73
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	39.85	39.80

5.1.2 ผลการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังก่ออิฐมวลเบา

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.6 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐมวลเบาอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ควรมีความหนาของฉนวนที่ใช้ในการติดตั้งไม่น้อยกว่า 50 mm.

ตารางที่ 33 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาเพิ่มฉนวนอาคารใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	33.265	41.484	49.703	57.923	66.142	74.362
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	25.809	33.96	43.076	51.284	60.343	68.607
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	23.226	31.746	40.78	49.331	58.334	66.914
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	25.495	33.691	42.797	51.046	60.099	68.402
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	22.951	31.504	40.536	49.117	58.12	66.73
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	25.262	33.495	42.59	50.873	59.918	68.252
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	22.758	31.327	40.364	48.96	57.97	66.594
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	25.257	33.491	42.585	50.87	59.913	68.248
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	22.751	31.32	40.358	48.955	57.965	66.589
โพลียูรีเทนโฟม	25	24.458	33.167	41.875	50.584	59.292	68.001
โพลียูรีเทนโฟม	50	22.207	31.04	39.874	48.707	57.541	66.375
โพลิสไตรีน	50	22.602	31.414	40.226	49.037	57.849	66.66
เซลลูโลส	50	22.684	31.491	40.298	49.105	57.912	66.719
ยางดำ 35 kg/m^3	25	25.006	33.684	42.362	51.04	59.719	68.396
ยางดำ 35 kg/m^3	50	22.689	31.496	40.303	49.109	57.916	66.723
ใยหิน 40 kg/m^3	50	22.782	31.583	40.385	49.187	57.988	66.79
ใยหิน 60 kg/m^3	50	22.687	31.494	40.301	49.108	57.915	66.722
ใยหิน 80 kg/m^3	50	22.594	31.406	40.218	49.03	57.842	66.654
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. กับฉนวนเซลลูโลส มีค่าเท่ากัน และความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 34 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)
		25
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	-
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	14.08
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	-
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	14.05
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	-
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	14.02
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	-
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	14.06
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	-
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	14.26
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	14.04
ฉนวนเซลลูโลส	50	14.37
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	-
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	14.37
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	14.07
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	14.14
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	14.24

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.8 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐมวลเบาอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 35 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	26.568	32.66	38.751	44.841	50.932	57.023
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	19.92	26.356	32.905	39.279	45.741	52.203
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	17.849	24.424	31.04	37.575	44.15	50.725
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	19.647	26.123	32.677	39.074	45.549	52.025
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	17.627	24.215	30.835	37.39	43.978	50.566
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	19.469	25.954	32.511	38.925	45.41	51.896
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	17.466	24.062	30.689	37.255	43.852	50.448
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	19.469	25.954	32.511	38.925	45.41	51.896
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	17.466	24.063	30.699	37.256	43.852	50.449
โพลียูรีเทนโฟม	25	19.18	25.681	32.253	38.684	45.185	51.687
โพลียูรีเทนโฟม	50	17.219	23.83	30.472	37.05	43.661	50.271
โพลิสไตรีน	50	17.551	24.143	30.767	37.327	43.919	50.51
เซลลูโลส	50	17.628	24.216	30.836	37.391	43.979	50.567
ยางดำ 35 kg/m^3	25	19.648	26.124	32.678	39.074	45.549	52.025
ยางดำ 35 kg/m^3	50	17.628	24.216	30.835	37.391	43.978	50.566
ใยหิน 40 kg/m^3	50	17.704	24.288	30.904	37.454	44.038	50.621
ใยหิน 60 kg/m^3	50	17.628	24.216	30.836	37.391	43.978	50.566
ใยหิน 80 kg/m^3	50	17.551	24.144	30.768	37.327	43.919	50.511
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวน	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)
		25
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	24.17
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	23.38
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	24.09
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	23.31
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	24.03
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	23.26
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	24.09
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	23.34
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	24.09
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	23.46
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	23.30
ฉนวนเซลลูโลส	50	23.63
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	24.29
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	23.63
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	23.34
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	23.41
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	23.50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.10 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐมวลเบาอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 30%

ตารางที่ 37 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐมวลเบาเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	15.646	19.423	23.199	26.975	30.751	34.527
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	11.907	15.89	19.874	23.858	27.842	31.826
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	10.746	14.794	18.843	22.891	26.939	30.988
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	11.768	15.759	19.751	23.742	27.734	31.726
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	10.621	14.677	18.731	22.787	26.842	30.898
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	11.662	15.66	19.657	23.654	27.652	31.649
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	10.53	14.59	18.651	22.711	26.771	30.832
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	11.663	15.66	19.657	23.654	27.652	31.649
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	10.531	14.591	18.652	22.711	26.772	30.832
โพลียูรีเทนโฟม	25	11.5	15.506	19.513	23.52	27.526	31.532
โพลียูรีเทนโฟม	50	10.392	14.46	18.528	22.596	26.664	30.732
โพลิสไตรีน	50	10.579	14.636	18.694	22.752	26.809	30.867
เซลลูโลส	50	10.622	14.678	18.732	22.788	26.843	30.898
ยางดำ 35 kg/m^3	25	11.768	15.759	19.751	23.742	27.734	31.726
ยางดำ 35 kg/m^3	50	10.622	14.677	18.732	22.788	26.843	30.898
ใยหิน 40 kg/m^3	50	10.664	14.717	18.77	22.823	26.876	30.929
ใยหิน 60 kg/m^3	50	10.622	14.677	18.732	22.788	26.843	30.898
ใยหิน 80 kg/m^3	50	10.579	14.636	18.694	22.752	26.81	30.867
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 30% Life cycle Cost ของฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 38 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง

ฉนวน	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)
		30
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	46.43
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	45.59
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	46.35
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	45.51
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	46.28
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	45.46
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	46.34
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	45.49
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	44.05
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	43.36
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	43.22
ฉนวนเซลลูโลส	50	43.54
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	44.27
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	43.54
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	43.27
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	43.33
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	43.41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1.3 ผลการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังคอนกรีต

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.12 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังคอนกรีตอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15% และ 20% และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ควรมีความหนาของฉนวนที่ใช้ในการติดตั้งไม่น้อยกว่า 50 mm.

ตารางที่ 39 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตเพิ่มฉนวนอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	52.149	59.32	66.49	73.66	80.83	88
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	26.338	35.12	43.546	52.343	61.023	69.526
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	22.98	31.835	40.562	49.424	58.243	66.995
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	25.882	34.666	43.141	51.942	60.561	69.179
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	22.665	31.53	40.281	49.148	57.952	66.756
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	25.559	34.346	42.854	51.661	60.366	68.934
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	22.444	31.313	40.085	48.963	57.806	66.596
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	25.556	34.344	42.851	51.658	60.364	68.932
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	22.441	31.31	40.083	48.961	57.803	66.594
โพลียูรีเทนโฟม	25	25.188	33.856	42.524	51.221	59.887	68.553
โพลียูรีเทนโฟม	50	22.148	30.985	39.822	48.667	57.503	66.34
โพลิสไตรีน	50	22.603	31.414	40.226	49.053	57.863	66.674
เซลลูโลส	50	22.717	31.523	40.328	49.141	57.946	66.751
ยางดำ 35 kg/m^3	25	26.042	34.662	43.283	51.939	60.558	69.176
ยางดำ 35 kg/m^3	50	22.72	31.525	40.331	49.144	57.948	66.753
ใยหิน 40 kg/m^3	50	22.832	31.631	40.430	49.237	58.035	66.834
ใยหิน 60 kg/m^3	50	22.719	31.525	40.330	49.143	57.948	66.752
ใยหิน 80 kg/m^3	50	22.599	31.411	40.222	49.049	57.86	66.671
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 10%, 15%, 20% และ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 40 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)			
		10	15	20	25
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	8.54	9.95	11.26	-
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	7.73	9.15	10.53	11.95
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	8.46	9.86	11.18	-
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	7.67	9.09	10.48	11.90
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	8.39	9.79	11.12	-
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	7.63	9.05	10.45	11.87
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	8.46	9.86	11.18	-
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	7.68	9.10	10.49	11.91
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	8.51	9.86	11.22	-
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	7.92	9.31	10.70	12.09
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	7.68	9.08	10.49	11.89
ฉนวนเซลลูโลส	50	8.07	9.45	10.84	12.22
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	8.74	10.09	11.43	-
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	8.07	9.45	10.84	12.22
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	7.72	9.12	10.52	11.92
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	7.81	9.20	10.60	12
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	7.92	9.31	10.70	12.09

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.14 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังคอนกรีตอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15% และ 20% และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ควรมีความหนาของฉนวนที่ใช้ในการติดตั้งไม่น้อยกว่า 50 mm.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 41 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตเพิ่มฉนวน อาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	48.432	53.308	58.185	63.061	67.937	72.813
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	22.285	28.573	34.734	41.235	47.567	53.898
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	18.675	25.203	31.673	38.263	44.792	51.322
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	21.749	28.108	34.318	40.826	47.184	53.542
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	18.343	24.891	31.385	37.986	44.534	51.082
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	21.402	27.78	34.024	40.536	46.914	53.292
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	18.109	24.67	31.184	37.791	44.352	50.913
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	21.40	27.778	34.023	40.534	46.912	53.29
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	18.106	24.667	31.182	37.789	44.35	50.911
โพลียูรีเทนโฟม	25	20.907	27.279	33.567	40.094	46.501	52.908
โพลียูรีเทนโฟม	50	17.764	24.335	30.87	37.496	44.077	50.657
โพลิสไตรีน	50	18.219	24.774	31.363	37.883	44.438	50.993
เซลลูโลส	50	18.337	24.885	31.46	37.982	44.53	51.078
ยางดำ 35 kg/m^3	25	21.747	28.105	34.586	40.823	47.182	53.54
ยางดำ 35 kg/m^3	50	18.34	24.888	31.462	37.984	44.531	51.079
ใยหิน 40 kg/m^3	50	18.454	24.996	31.461	38.079	44.621	51.162
ใยหิน 60 kg/m^3	50	18.339	24.887	31.36	37.983	44.531	51.079
ใยหิน 80 kg/m^3	50	18.216	24.771	31.571	37.881	44.435	50.99
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 10% และ 15% Life cycle Cost ของฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20% และ 25% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ที่ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.15

ตารางที่ 42 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)			
		10	15	20	25
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	14.77	16.72	18.43	-
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	13.03	15.10	16.96	19.24
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	14.53	16.52	18.25	-
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	12.88	14.96	16.84	19.12
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	14.38	16.38	18.12	-
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	12.79	14.87	16.75	18.86
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	14.45	16.44	18.19	-
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	12.83	14.92	16.80	19.08
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	14.34	16.32	18.08	-
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	12.97	15.04	16.91	19.19
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	12.66	14.74	16.84	18.91
ฉนวนเซลลูโลส	50	13.09	15.14	17.22	19.26
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	14.59	16.57	18.60	-
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	13.09	15.15	17.22	19.26
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	12.94	15.02	16.87	19.17
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	13	15.07	16.93	19.22
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	13.08	15.15	17.17	19.29

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.16 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังคอนกรีตอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15%, 20%, 25% และ 30%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 43 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตและเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	29.468	32.476	35.484	38.493	41.501	44.509
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	13.66	17.547	21.433	25.32	29.206	33.093
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	11.464	15.473	19.482	23.49	27.499	31.507
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	13.36	17.263	21.167	25.07	28.973	32.876
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	11.257	15.278	19.297	23.317	27.338	31.358
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	13.149	17.064	20.978	24.894	28.808	32.723
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	11.12	15.148	19.175	23.203	27.23	31.258
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	13.149	17.064	20.978	24.894	28.808	32.723
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	11.12	15.148	19.175	23.203	27.23	31.258
โพลียูรีเทนโฟม	25	12.824	16.757	20.69	24.623	28.556	32.489
โพลียูรีเทนโฟม	50	10.904	14.944	18.983	23.023	27.063	31.102
โพลิสไตรีน	50	11.189	15.213	19.237	23.26	27.284	31.308
เซลลูโลส	50	11.258	15.278	19.298	23.318	27.338	31.358
ยางดำ 35 kg/m^3	25	13.361	17.263	21.167	25.07	28.973	32.876
ยางดำ 35 kg/m^3	50	11.258	15.278	19.298	23.318	27.338	31.358
ใยหิน 40 kg/m^3	50	11.326	15.343	19.359	23.375	27.391	31.407
ใยหิน 60 kg/m^3	50	11.258	15.278	19.298	23.318	27.338	31.358
ใยหิน 80 kg/m^3	50	11.189	15.213	19.237	23.261	27.284	31.308
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน		ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน		ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน			

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 15% และ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. และอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 20% และ 30% Life cycle Cost ของฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.17

ตารางที่ 44 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)			
		15	20	25	30
		PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)	PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	33.91	36.72	38.76	41.57
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	31.89	34.82	36.97	39.90
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	33.66	36.48	38.53	41.36
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	31.71	34.65	36.82	39.76
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	33.47	36.31	38.37	41.21
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	31.60	34.55	36.72	39.66
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	33.54	36.37	38.43	41.26
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	31.65	34.59	36.76	39.70
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	33.36	35.44	38.28	40.35
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	31.73	33.90	36.84	39
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	31.67	33.84	36.78	38.95
ฉนวนเซลลูโลส	50	32.08	34.22	37.14	39.29
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	33.88	35.92	38.73	40.77
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	32.08	34.22	37.14	39.29
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	31.78	33.94	36.88	39.04
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	31.83	33.99	36.92	39.08
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	31.90	34.05	36.98	39.14

5.1.4 ผลการจำลองการติดตั้งฉนวนความร้อนที่ผนังก่ออิฐ 2 ด้าน ช่องอากาศ 10 เซนติเมตร

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.18 พบว่าการถ่ายเทความร้อนผนังก่ออิฐ 2 ด้าน ช่องอากาศ 10 เซนติเมตร ในอาคารมีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25%

ตารางที่ 45 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	25.259	33.924	42.587	51.251	59.915	68.58
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	22.459	31.269	40.044	48.917	57.69	66.55
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	21.299	30.174	39.036	47.951	56.807	65.712
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	22.333	31.143	39.932	48.813	57.592	66.453
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	21.157	30.048	38.916	47.833	56.703	65.616
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	22.23	31.053	39.841	48.727	57.512	66.385
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	21.062	29.951	38.825	47.754	56.624	65.542
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	22.229	31.052	39.84	48.726	57.511	66.384
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	21.06	29.949	38.823	47.752	56.622	65.54
โพลียูรีเทนโฟม	25	22.059	30.901	39.752	48.593	57.426	66.268
โพลียูรีเทนโฟม	50	20.89	29.796	38.704	47.611	56.517	65.424
โพลิสไตรีน	50	21.098	29.993	38.897	47.792	56.68	65.574
เซลลูโลส	50	21.151	30.043	38.937	47.829	56.72	65.613
ยางดำ 35kg/m^3	25	22.313	31.141	39.984	48.811	57.624	66.452
ยางดำ 35kg/m^3	50	21.153	30.045	38.938	47.831	56.722	65.614
ใยหิน 40 kg/m^3	50	21.201	30.091	38.982	47.871	56.759	65.649
ใยหิน 60 kg/m^3	50	21.152	30.044	38.938	47.83	56.721	65.614
ใยหิน 80 kg/m^3	50	21.095	29.991	38.894	47.789	56.677	65.572
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.19

ตารางที่ 46 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR 25%
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	14.79
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	14.62
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	14.80
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	14.61
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	14.79
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	14.61
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	14.85
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	14.65
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	14.94
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	14.87
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	14.62
ฉนวนเซลลูโลส	50	14.93
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	15
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	14.93
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	14.62
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	14.71
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	14.82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.20 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐ 2 ด้าน ช่องอากาศ 10 เซนติเมตร อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25%

ตารางที่ 47 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	20.929	27.334	33.737	40.142	46.546	52.95
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	18.062	24.626	31.189	37.753	44.324	50.879
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	16.873	23.502	30.132	36.761	43.398	50.02
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	17.925	24.496	31.067	37.653	44.223	50.781
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	16.735	23.373	30.01	36.648	43.285	49.921
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	17.828	24.405	30.981	37.557	44.142	50.71
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	16.63	23.273	29.916	36.559	43.209	49.845
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	17.827	24.403	30.98	37.557	44.14	50.71
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	16.628	23.271	29.915	36.558	43.208	49.844
โพลียูรีเทนโฟม	25	17.663	24.249	30.835	37.42	44.006	50.591
โพลียูรีเทนโฟม	50	16.464	23.116	29.768	36.42	43.073	49.725
โพลิสไตรีน	50	16.677	23.318	29.958	36.598	43.238	49.879
เซลลูโลส	50	16.731	23.368	30.006	36.644	43.281	49.918
ยางดำ 35 kg/m^3	25	17.923	24.495	31.066	37.637	44.208	50.78
ยางดำ 35 kg/m^3	50	16.733	23.37	30.007	36.645	43.282	49.919
ใยหิน 40 kg/m^3	50	16.782	23.417	30.051	36.686	43.321	49.955
ใยหิน 60 kg/m^3	50	16.732	23.37	30.007	36.644	43.282	49.919
ใยหิน 80 kg/m^3	50	16.674	23.315	29.956	36.596	43.237	49.878
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m^3 ที่ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.21

ตารางที่ 48 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	ความหนา (mm.)	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)
		25
		PW (ล้านบาท)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	25	24.59
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³	50	24.17
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	25	24.55
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³	50	24.13
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	25	24.54
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³	50	24.11
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	25	24.60
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m³	50	24.15
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	25	24.65
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	50	24.34
ฉนวนโพลิสไตรีน	50	24.13
ฉนวนเซลลูโลส	50	24.45
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	25	24.76
ฉนวนยางดำ 35 kg/m³	50	24.45
ฉนวนใยหิน 40 kg/m³	50	24.15
ฉนวนใยหิน 60 kg/m³	50	24.23
ฉนวนใยหิน 80 kg/m³	50	24.33

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 5.22 พบว่าการถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ไม่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนเนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15%, 20%, 25%, 30% มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมก่อนการติดตั้งฉนวนที่ผ่านเกณฑ์ และเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนไม่สามารถช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมให้ผ่านเกณฑ์ได้

ตารางที่ 49 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐ 2 ด้าน เว้นช่องอากาศ 10 เซนติเมตร และเพิ่มฉนวนของอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง

รายการฉนวนกันความร้อน		อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR					
ทางเลือก	ความหนา (mm.)	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดหรือ OTTV (W/m^2)					
ไม่ติดตั้งฉนวน	-	12.859	16.79	20.673	24.652	28.541	32.514
ใยแก้ว 16 kg/m^3	25	11.091	15.144	19.149	23.2	27.208	31.255
ใยแก้ว 16 kg/m^3	50	10.362	14.442	18.501	22.58	26.641	30.718
ใยแก้ว 24 kg/m^3	25	11.012	15.065	19.079	23.13	27.147	31.195
ใยแก้ว 24 kg/m^3	50	10.274	14.358	18.422	22.506	26.572	30.654
ใยแก้ว 32 kg/m^3	25	10.948	15.004	19.022	23.076	27.097	31.148
ใยแก้ว 32 kg/m^3	50	10.214	14.302	18.37	22.457	26.526	30.611
ใยแก้ว 48 kg/m^3	25	10.948	15.004	19.023	23.076	27.097	31.148
ใยแก้ว 48 kg/m^3	50	10.215	14.302	18.37	22.457	26.526	30.611
โพลียูรีเทนโฟม	25	10.87	14.911	18.953	22.995	27.036	31.078
โพลียูรีเทนโฟม	50	10.122	14.205	18.288	22.371	26.454	30.537
โพลิสไตรีน	50	10.254	14.33	18.406	22.481	26.557	30.632
เซลลูโลส	50	10.284	14.358	18.432	22.506	26.58	30.654
ยางดำ 35 kg/m^3	25	11.032	15.065	19.097	23.13	27.162	31.195
ยางดำ 35 kg/m^3	50	10.284	14.358	18.432	22.506	26.58	30.654
ใยหิน 40 kg/m^3	50	10.318	14.39	18.462	22.535	26.607	30.679
ใยหิน 60 kg/m^3	50	10.284	14.358	18.432	22.506	26.58	30.654
ใยหิน 80 kg/m^3	50	10.255	14.33	18.406	22.482	26.557	30.633
ผ่านเกณฑ์ไม่ต้องติดฉนวน ผ่านเกณฑ์เมื่อติดฉนวน ไม่ผ่านเกณฑ์แม้ติดฉนวน							

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% ไม่

จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์ก่อนทำการจำลองการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงระบบผนังอาคารด้วยฉนวนกันความร้อน

5.2 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสามารถนำข้อมูลการวิจัยไปใช้ในประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้วที่ความหนาแน่นและความหนาแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวน และพิจารณา Life cycle Cost ซึ่งช่วยให้ผู้ออกแบบและบริหารโครงการสามารถออกแบบปรับปรุงค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมด (OTTV) ของอาคารแต่ละประเภทให้เป็นไปตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนของอาคาร ผลการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้ง 4 ประเภท สามารถสรุปประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังด้วยฉนวนเรียงตามลำดับจากผนังที่จำเป็นในการติดตั้งฉนวนเพื่อให้มีค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ไปหาผนังที่มีความจำเป็นน้อย ดังนี้

1. ผนังคอนกรีต

การถ่ายเทความร้อนในผนังคอนกรีตอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ (WWR) 10%, 15% และ 20% และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ควรมีความหนาของฉนวนที่ใช้ในการติดตั้งไม่น้อยกว่า 50 mm. เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ของฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ (WWR) 10%, 15% และ 20% และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ควรมีความหนาของฉนวนที่ใช้ในการติดตั้งไม่น้อยกว่า 50 mm. เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10% และ 15% ฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 20% และ 25% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ที่ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15%, 20%, 25% และ 30% เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15% และ

25% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 20% และ 30% Life cycle Cost ของฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

2. ผนังก่ออิฐฉาบปูน

การถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐฉาบปูนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ (WWR) 15% และ 20% และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ควรมีความหนาของฉนวนที่ใช้ในการติดตั้งไม่น้อยกว่า 50 mm เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15% และ 20% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m³ ความหนา 50 mm. กับฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 15%, 20% และ 25% เมื่อคำนวณ Life cycle ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ WWR 25% และ 30% เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 30% ฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ผนังก่ออิฐมวลเบา

การถ่ายเทความร้อนในผนังก่ออิฐมวลเบาอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ควรมีความหนาของฉนวนที่ใช้ในการติดตั้งไม่น้อยกว่า 50 mm. เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. กับฉนวนเซลลูโลส มีค่าเท่ากัน และมีความคุ้มค่ามากที่สุด

อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงมีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 30% เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 30% ฉนวนโพลิสไตรีน ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

4. ผนังก่ออิฐ 2 ด้าน ช่องอากาศ 10 เซนติเมตร

การถ่ายเทความร้อนผนังก่ออิฐ 2 ด้าน ช่องอากาศ 10 เซนติเมตร ในอาคารมีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ (WWR) 25% และ Life cycle Cost ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงระยะที่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% เมื่อคำนวณ Life cycle Cost ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ และ Life cycle Cost ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m³ ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด

อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ไม่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนเนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10%, 15%, 20%, 25%, 30% มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมก่อนการติดตั้งฉนวนที่ผ่านเกณฑ์ และเมื่อ WWR 35% ฉนวนกันความร้อนไม่สามารถช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมให้ผ่านเกณฑ์ได้

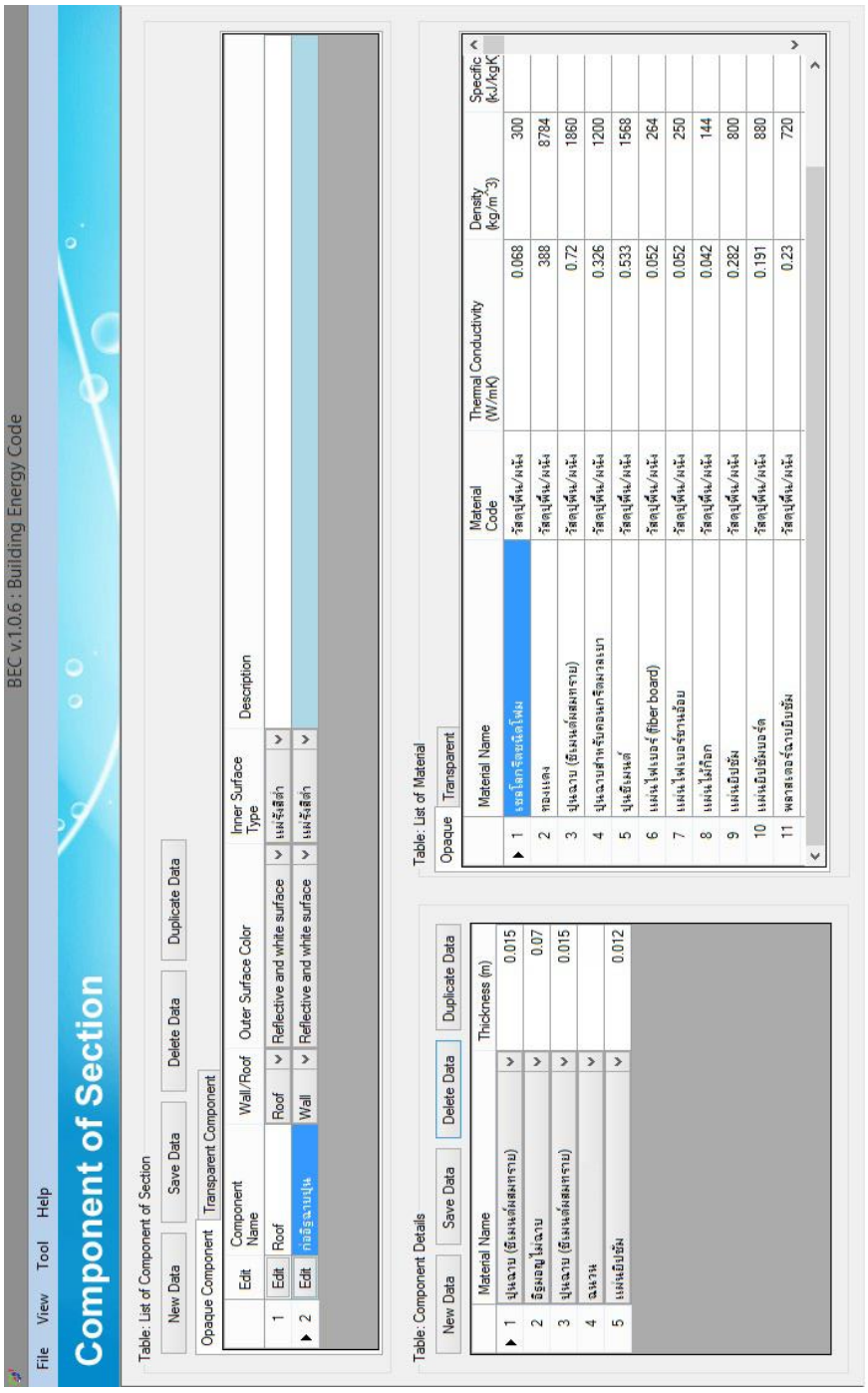
เนื่องด้วยงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนของระบบผนังด้วยฉนวน จึงไม่ได้ทำการวิจัยในส่วนของวัสดุกระจกชนิดอื่นๆ และระยะยื่นของวัสดุบังแดดที่มีความหลากหลาย ซึ่งทั้งสองส่วนนี้หากมีความแตกต่างกันสามารถส่งผลถึงค่าการถ่ายเทความร้อนในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

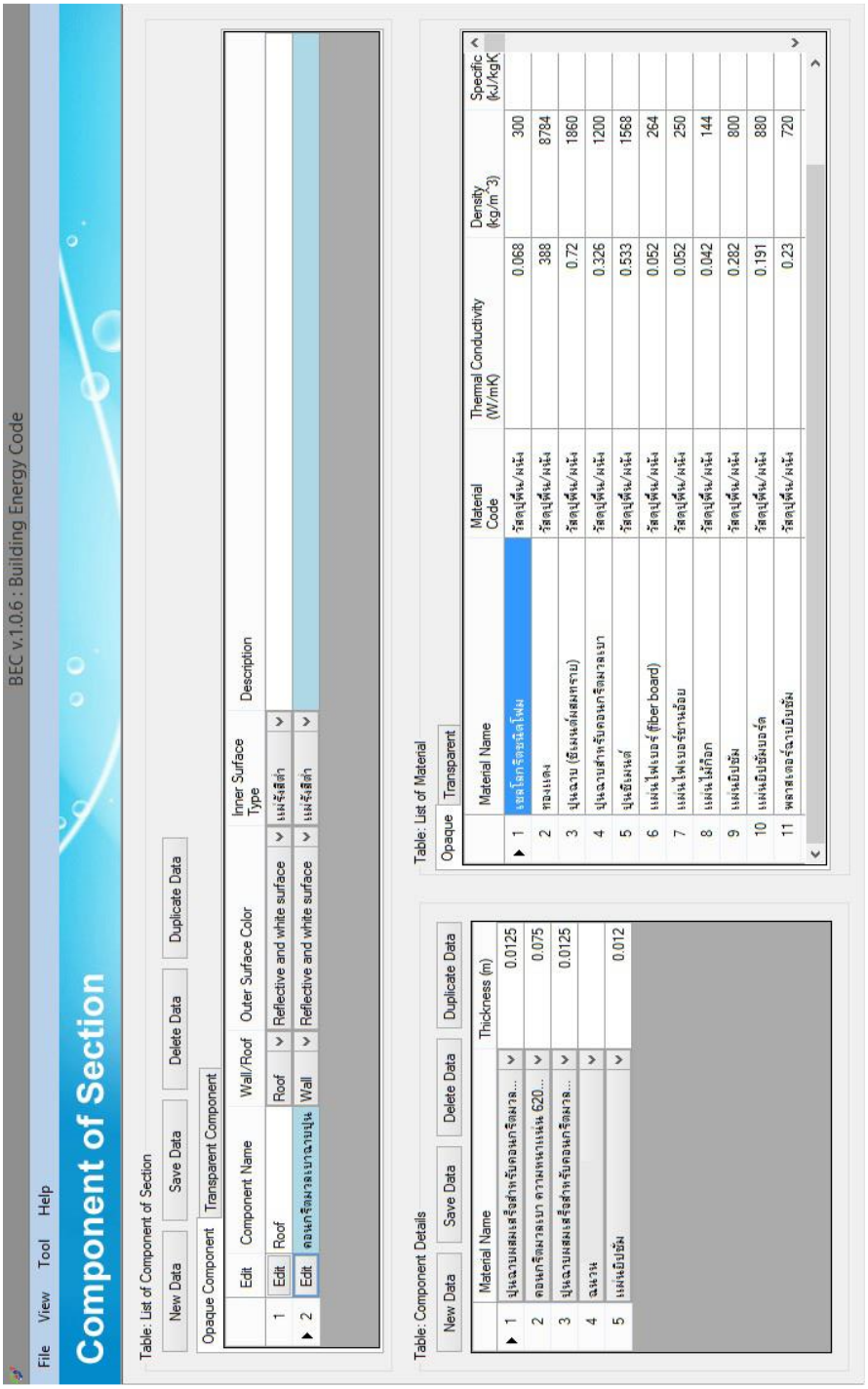
ภาคผนวก

การตั้งค่าผนังในโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร Building Energy Code Software: BEC Software

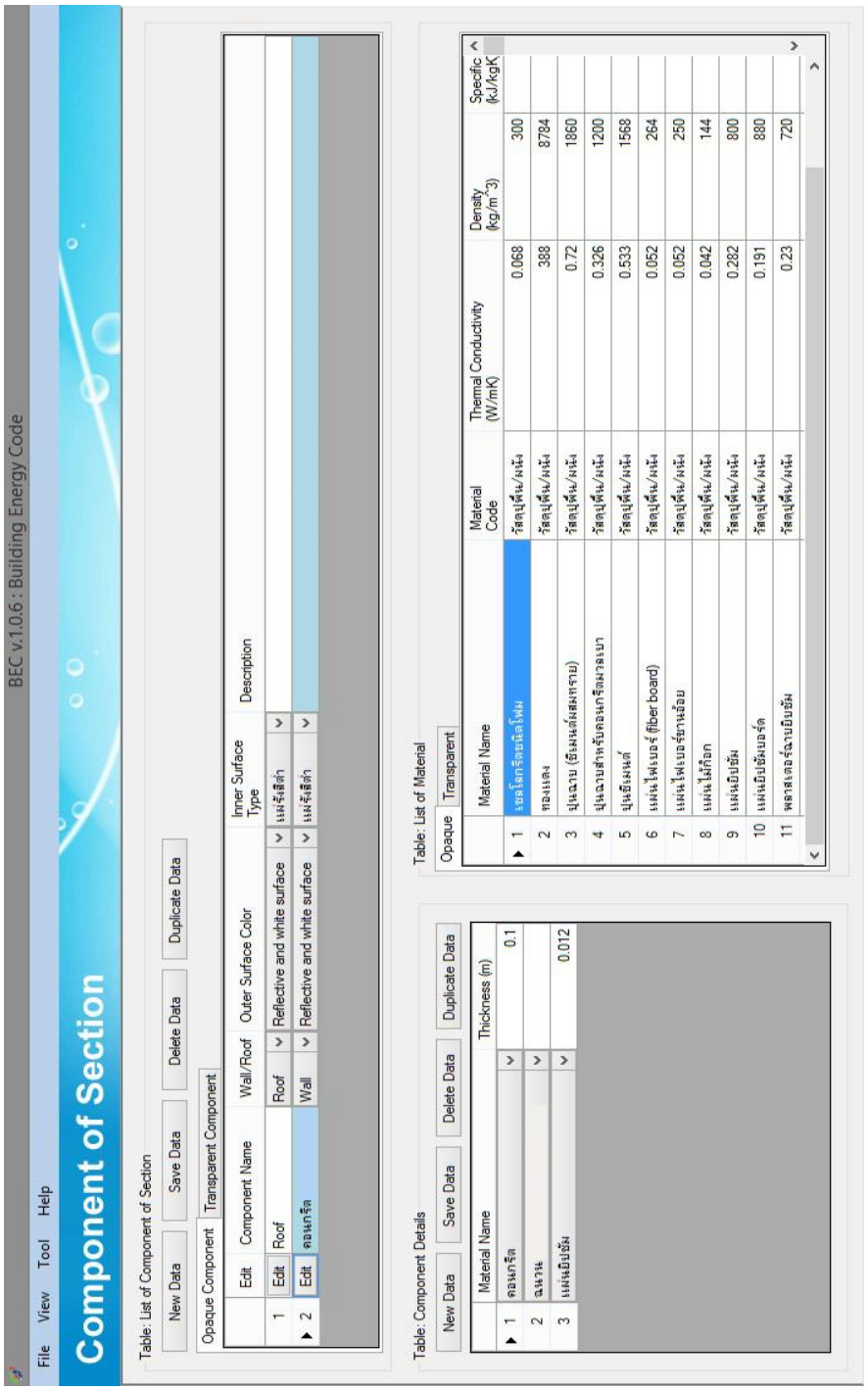
1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน



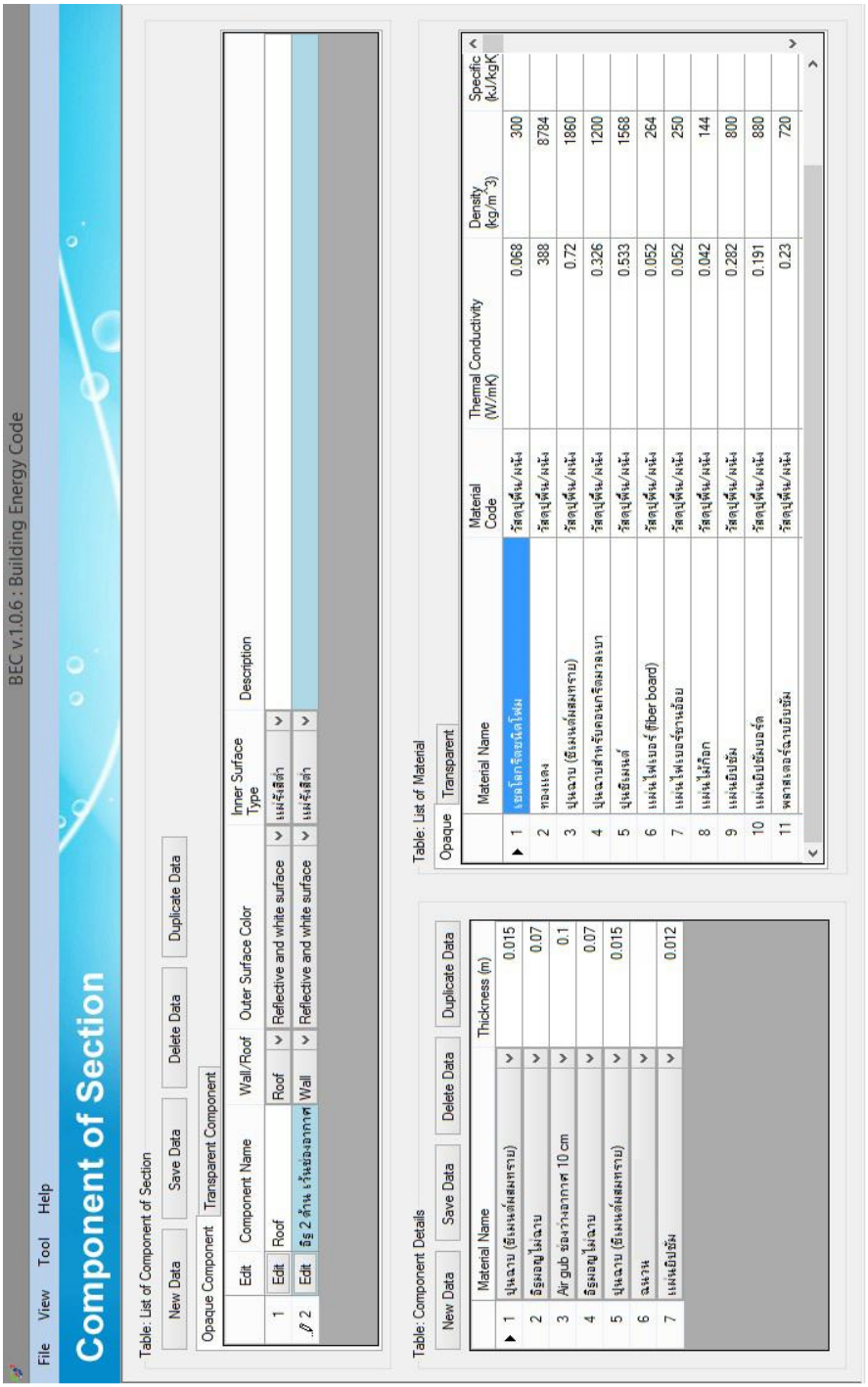
2. ผนังก่ออิฐมวลเบา



3. ผนังคอนกรีต


BEC v.1.0.6 : Building Energy Code
File View Tool Help
Component of Section
Table: List of Component of Section
New Data
Save Data
Delete Data
Duplicate Data
Opaque Component
Transparent Component
Edit
Component Name
Wall/Roof
Outer Surface Color
Inner Surface Type
Description
1 Edit Roof Roof Reflective and white surface แผ่นสีสว่าง
2 Edit คอนกรีต Wall Reflective and white surface แผ่นสีสว่าง
Table: Component Details
New Data
Save Data
Delete Data
Duplicate Data
Material Name
Thickness (m)
1 คอนกรีต 0.1
2 ฉนวน
3 แผ่นยิปซัม 0.012
Table: List of Material
Opaque
Transparent
Material Name
Material Code
Thermal Conductivity (W/mK)
Density (kg/m^3)
Specific (kJ/kgK)
1 เซลล์โลกริดซีเมนต์โฟม วัสดุฟิสิกส์ 0.068 300
2 กระเบื้อง วัสดุฟิสิกส์ 388 8784
3 ปูนฉาบ (มีมวลผสมทราย) วัสดุฟิสิกส์ 0.72 1860
4 ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตผสมทราย วัสดุฟิสิกส์ 0.326 1200
5 ปูนซีเมนต์ วัสดุฟิสิกส์ 0.533 1568
6 แผ่นไฟเบอร์ (fiber board) วัสดุฟิสิกส์ 0.052 264
7 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์อัด วัสดุฟิสิกส์ 0.052 250
8 แผ่นไม้อัด วัสดุฟิสิกส์ 0.042 144
9 แผ่นยิปซัม วัสดุฟิสิกส์ 0.282 800
10 แผ่นยิปซัมบอร์ด วัสดุฟิสิกส์ 0.191 880
11 พลาสเตอร์ฉาบยิปซัม วัสดุฟิสิกส์ 0.23 720

4. ผนังก่ออิฐ 2 ด้าน ช่องอากาศ 10 เซนติเมตร



บรรณานุกรม

Chirarattananon, S., & Taveekun, a. J. (2004). An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand. Retrieved from http://meaenergysavingbuilding.net/downloads/OTTV-based%20energy%20estimation%20model.pdf

กระทรวงพลังงาน. คู่มือโปรแกรม Building Energy Code. Retrieved from https://drive.google.com/file/d/1-z-NiaDqi5ot2-oNaNhJ_4EwpvUeBePl/view

กระทรวงพลังงาน. (2553). คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: กระทรวงพลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. (2558a). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579. Retrieved from http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/PDP_TH.pdf

กระทรวงพลังงาน. (2558b). แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 - 2579. Retrieved from http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/EEP2015.pdf

กระทรวงพลังงาน. (2558c). คู่มือเผยแพร่อาคารต้นแบบประหยัดพลังงานภาครัฐ. Retrieved from http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11400.pdf

กระทรวงพลังงาน. (2559). แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม. Retrieved from http://www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/10795-ee-architectural

กษิดา ชำนาญดี. (2554). การเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ. Retrieved from http://cuir.car.chula.ac.th/browse?type=author&value=%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%B2+%E0%B8%8A%E0%B8%B3%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%8D%E0%B8%94%E0%B8%B5

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2558). การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางการเงินสำหรับอาคารที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดี. Retrieved from http://dede-peecb.bright-ce.com/document/LCC2e.pdf

ตระการ ก้าวกสิกรรม. (2521). คู่มือฉนวนความร้อน. บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พรรณจิรา ศรีสุธาพรรณ และ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2556). เทคนิคการออกแบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552. (2552, 20 กุมภาพันธ์). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 126 ตอนที่ 12 ก. หน้า 9

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2554). ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ฉนวนกันความร้อน. Retrieved from http://www.tei.or.th/greenlabel/download/TGL-14-R1-11.pdf?fbclid=IwAR2z5jNmm91L3aYu-616xTskYrK4kDrgyJot0SAF5ano1jRuMdbdpVAC6Qs

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2555). ค่าดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย. In. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาว จิราภา เดชจิระกุล

วัน เดือน ปี เกิด 15 เมษายน 2536

วุฒิการศึกษา สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต (B.Arch.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY