

ประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังด้วยฉนวนใยแก้ว

Fiberglass Insulation Performance in Reducing Heat Transfer through Wall System

รับบทความ	17/05/2019
แก้ไขบทความ	28/06/2019
ยอมรับบทความ	28/06/2019

จิราภา เดชจิระกุล ธนิต จินดาวณิก
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Jirapa Dechjirakul, Thanit Chindavanig
Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University
meijira@icloud.com, cthanit@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของผนังภายนอกอาคาร เพื่อวางแผนงานในการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประเมินความคุ้มค่าด้านการลงทุนในฉนวนใยแก้วที่ความหนาแน่นและความหนาที่แตกต่างกัน การศึกษาใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code Software, BEC) ผลการศึกษาพบว่า การใช้ฉนวนใยแก้วที่ผนังสำหรับกรณีอาคารมีการออกแบบอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับหรือมากกว่า 30% ของอาคารที่มีการใช้งาน 9 และ 12 ชั่วโมงต่อวัน และ 35% ของอาคารที่มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง จะไม่ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารผ่านเกณฑ์ที่กระทรวงพลังงานกำหนด เมื่อทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านการเงินของการติดตั้งฉนวนที่ผนัง พบว่าฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 16 kg/m³ ความหนา 25 mm มีความคุ้มค่ามากที่สุดในทุกอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทึบ ยกเว้นในกรณีอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 16 kg/m³ ความหนา 50 mm จะมีความคุ้มค่ามากที่สุด

คำสำคัญ: ฉนวนกันความร้อน ฉนวนใยแก้ว ระบบผนัง ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน OTTV

Abstract

The objective of this research was to study the thermal resistance values of exterior walls. To establish guidelines for building refurbishment for energy efficiency and evaluate the value of investment in fiberglass insulation at different densities and thicknesses. The study used the heat transfer analysis method by using the computer program for building energy efficiency assessment (Building Energy Code Software, BEC). The results showed that, in order to achieve the criteria of the Ministry of Energy for the buildings operating 9 and 12 hours per day, the space ratio of translucent walls to the total wall area should be to less than 30%. For the building that operates 24 hours a day, the ratio always should be to less than 35%. When analyzing the financial worth of the wall insulation installation, every options at any ratio of the area of the translucent wall to the wall area the lest option with the lest payback period was fiberglass insulation density 16 kg / m³, thickness 25 mm. Except for buildings that operate 9 hours per day that the area ratio of translucent walls per wall area is equal to 25%. Fiber glass insulation density 16 kg / m³, thickness 50 mm. was the lest option.

Keywords: *insulation, glass fiber insulation, wall systems, energy efficiency, OTTV*

บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานในภาคอาคารค่อนข้างสูง เมื่อคิดเป็นร้อยละของความต้องการพลังงานรวมของประเทศ กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงานจึงจัดทำแผนปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์พลังงานระยะสั้น 5 ปี (พ.ศ. 2560 - 2564) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร และส่งเสริมกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 มีเนื้อหามุ่งเน้นศักยภาพในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดผลการอนุรักษ์พลังงานที่มีนัยสำคัญในภาคอุตสาหกรรม ภาคอาคารธุรกิจ รวมถึงอาคารก่อสร้างใหม่และอาคารปรับปรุง

การออกแบบหรือปรับปรุงอาคารเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพถูกกำหนดโดยเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคารหรือ Building Energy Code (BEC) ภายใต้การดำเนินงานของศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีผลบังคับใช้กับอาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงใน 9 ประเภทอาคาร ได้แก่ สำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล ศูนย์การค้า โรงมหรสพ สถานบริการ อาคารชุมนุมคน อาคารชุด และสถานศึกษา ที่มีขนาดพื้นที่ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป และตั้งแต่เริ่มดำเนินการตรวจประเมินแบบอาคารจนถึงปี พ.ศ. 2560 เป็นจำนวน 618 อาคาร พบว่าอาคารผ่านเกณฑ์ Overall Thermal Transfer Value (OTTV) มีจำนวน 196 อาคาร (32%) ผ่านเกณฑ์ Roof Thermal Transfer Value (RTTV) จำนวน 488 อาคาร (79%) และผ่านเกณฑ์ Lighting Power Density (LPD) จำนวน 610 อาคาร (99%) (ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน 2560) ซึ่งอัตราส่วนอาคารที่ผ่านเกณฑ์ Overall Thermal Transfer Value (OTTV) มีอัตราส่วนต่ำที่สุด

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนของผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน
2. เพื่อวิเคราะห์แนวทางการออกแบบผนังภายนอกของอาคารเพื่อการลดใช้พลังงานในอาคาร

ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานของฉนวนกันความร้อนโดยใช้เกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารควบคุมตามประกาศกระทรวงพลังงาน กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ดังตาราง 1 ในที่นี้ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ฉนวนใยแก้ว ซึ่งเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยเท่านั้น

ตาราง 1 เกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารควบคุมตามประกาศกระทรวงพลังงาน

ประเภทอาคาร	OTTV	RTTV
สถานศึกษา สำนักงาน	ไม่เกิน 50 W/ m ²	ไม่เกิน 15 W/ m ²
โรงแรม หอพัก ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	ไม่เกิน 40 W/ m ²	ไม่เกิน 12 W/ m ²
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	ไม่เกิน 30 W/ m ²	ไม่เกิน 10 W/ m ²

2. ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนเฉพาะระบบผนังที่ติดฉนวนที่ป็นวัสดุที่ใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยเท่านั้น

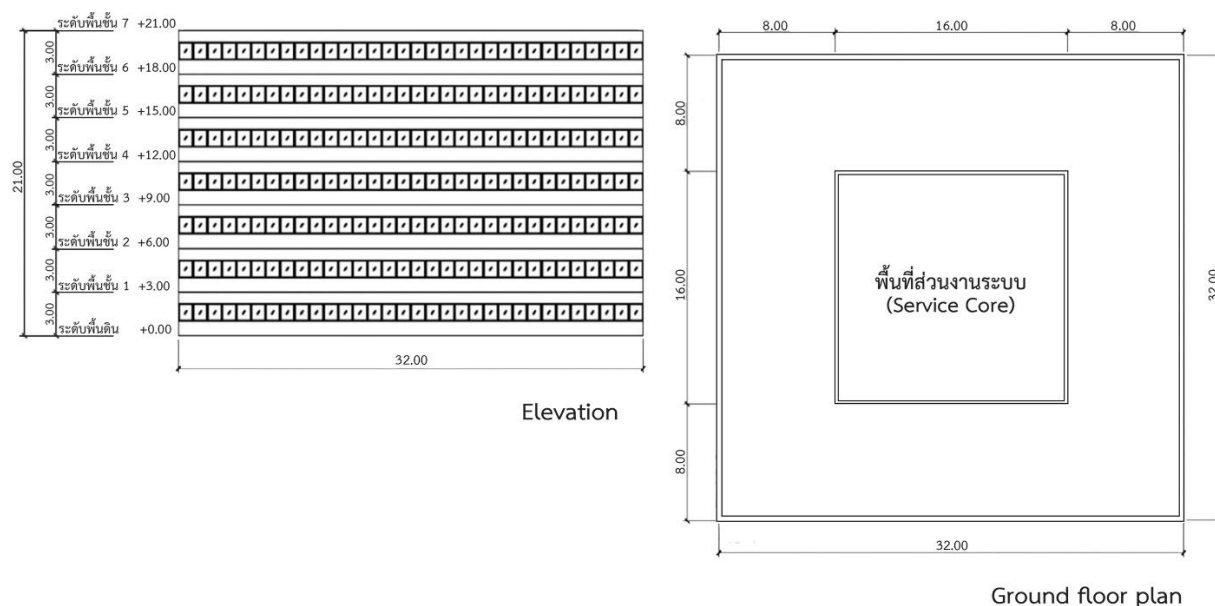
3. ทำการศึกษาโดยกำหนดอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด โดยแบ่งเป็น 6 ทางเลือก เริ่มจาก 10% ไปถึง 35% โดยมีช่วงระยะห่างของแต่ละทางเลือกที่ 5%

4. ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของการปรับปรุงวัสดุฉนวนกันความร้อน

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการจำลองค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code Software, BEC) จากนั้นนำผลของค่าการถ่ายเทความร้อนมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ และทำการประเมินความคุ้มค่าด้านการเงินของการลงทุนติดตั้งฉนวนกันความร้อนแต่ละชนิดเปรียบเทียบผลรวมของพลังงานไฟฟ้า ค่าไฟฟ้ารายปี ค่าเงินลงทุนในการปรับปรุงฉนวน ระยะเวลาในการคืนทุน และสรุปผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบอาคารที่เหมาะสม

กรณีศึกษาที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นอาคารต้นแบบที่จำลองอาคารสำหรับการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังในงานวิจัยเรื่องการจัดทำมาตรฐานค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนต่อหัวของผู้ใช้อาคารสำหรับอาคารในประเทศไทย ด้วยวิธี Life Cycle Assessment (LCA) โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (อรรถจ์ เศรษฐบุตร 2552) และลักษณะรูปทรงอาคารเช่นเดียวกับงานวิจัย An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand รายงานอาคารสำนักงานต้นแบบเพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV และสมการพลังงาน (Surapong Chirattananon and Juntakan Taveekun 2004)



ภาพ 1 อาคารต้นแบบที่ใช้ในการวิจัยนี้

ลักษณะอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีพื้นที่ไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร ความสูงไม่เกิน 7 ชั้น ไม่เกิน 23 เมตร ซึ่งมีข้อกำหนดตรงกับอาคารที่มีจำนวนมากในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พื้นที่อาคารทั้งหมดเท่ากับ 7,168 ตารางเมตร พื้นที่ปรับอากาศทั้งหมดเท่ากับ 5,376 ตารางเมตร และพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 2,688 ตารางเมตร

การดำเนินการรวบรวมข้อมูลที่นำมาใช้ในการจำลองค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ดังนี้

1. การวิจัยใช้ข้อมูลอาคาร 3 ประเภทตามประกาศกระทรวงพลังงาน กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 และประเมินผลการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานอาคาร Building Energy Code Software (BEC)
2. การเก็บรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของกรอบอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานในการวิจัยดังนี้

2.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 10 เซนติเมตร ทำการปิดผิวด้วยอีพ็อกซีความหนา 12 มิลลิเมตร ราคา 58 บาทต่อตารางเมตร ชนิดของผนังโปร่งแสง ได้แก่ กระจกตัดแสงสีเขียว 1 ชั้น หนา 6 มิลลิเมตร โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 2 และมีค่าการอ้างอิงพื้นที่ผิวของผนังภายนอกอาคารตามสีอ่อน ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.3

ตาราง 2 ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิจัย

	ความหนา (ม.)	Thermal Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kgK)
ปูนฉาบสำหรับภายนอก	0.015	0.72	1860	0.84
อิฐมวลเบา	0.07	0.473	1600	0.79
ปูนฉาบสำหรับภายนอก	0.015	0.72	1860	0.84
แผ่นอีพ็อกซีความหนา	0.012	0.318	760	1.09
		Transparent SHGC	Transparent U-value	Transparent Thickness
กระจกตัดแสงสีเขียว	0.06	0.66	5.5	0.01276

หมายเหตุ อ้างอิงตามข้อมูลในโปรแกรม Building Energy Code Software โดยค่าความหนาที่แสดงได้ทำการระบุเพิ่มเติมลงในโปรแกรม

2.2 วัสดุหลังคาประกอบด้วยคอนกรีต หนา 10 เซนติเมตร ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนา 5 เซนติเมตร ช่องว่างอากาศ 20 เซนติเมตร และปิดด้วยแผ่นอีพ็อกซี ความหนา 0.9 เซนติเมตร

2.3 ค่า COEFFICIENT OF PERFORMANCE (C.O.P) คือประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศหาได้จากสมการ COOLING CAPACITY(Kw) / POWER INPUT ในการวิจัยนี้เท่ากับ 3.414 ต่อเครื่อง

3. การเก็บรวบรวมข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์ฉนวนใยแก้วจากผู้ผลิตและจัดจำหน่ายสำหรับงานผนังกรอบอาคาร ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ข้อมูลราคาฉนวนใยแก้วจากผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

ความหนาแน่น	ความหนา (mm.)	ราคาเฉลี่ย (Bath/m ²)	ราคาขั้นต่ำ (Bath/m ²)	Thermal Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kgK)
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³	25	85-100	85	0.038	16	0.96
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³	50	130-160	130	0.035	16	0.96
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m ³	25	100-115	100	0.035	24	0.96
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m ³	50	140-170	140	0.035	24	0.96
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m ³	25	110-125	110	0.033	32	0.96
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m ³	50	150-135	150	0.033	32	0.96
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m ³	25	140-175	140	0.033	48	0.96
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m ³	50	170-210	170	0.033	48	0.96

หมายเหตุ ค่า thermal conductivity, density และ specific heat อ้างอิงตามข้อมูลในโปรแกรม Building Energy Code Software โดยค่าความหนาที่แสดงได้ทำการระบุเพิ่มเติมลงในโปรแกรม และข้อมูลราคาฉนวนจากผู้ประกอบการ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. สมการคำนวณ OTTV

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV_i) คำนวณได้จากสมการดังนี้

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

A_i = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (m²) ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง

OTTV₁ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m²) ซึ่งคำนวณได้จากสมการข้างต้น

2. สมการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุน

2.1 Present Worth มีหน่วยเป็นบาท

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

Present Worth 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%

2.2 Simple Payback Period การคำนวณประเมินระยะเวลาในการคืนทุนหรือจุดคุ้มทุนต่อปี

$$\text{Simple Payback Period} = \frac{C}{A}$$

C = initial capital investment

A = annual saving

2.3 Simple Rate of Return (%)

$$\text{Simple Rate of Return} = \frac{A}{C} \times 100$$

อัตราผลตอบแทนที่ทำให้ผลตอบแทนที่ได้จากการประหยัดตลอดอายุการใช้งานเท่ากับเงินลงทุนทั้งหมด (%)

A = annual saving

C = initial capital investment

ผลการวิจัย

ค่าความหนาและความหนาแน่นของฉนวนใยแก้วที่แตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง นอกจากนี้อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่เพิ่มขึ้นมีนัยสำคัญอย่างมากต่อค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมด (OTTV) ดังแสดงในตาราง 2, 3 และ 4

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนใยแก้วของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 20% ฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 25 mm จะไม่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ และเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ได้ ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนใยแก้วของอาคารที่มีการใช้งาน 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
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³	25	27.013	34.948	43.402	52.191	62.150	69.394
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³	50	23.427	31.963	40.682	49.532	58.901	67.089
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m ³	25	26.524	34.553	43.047	51.842	61.704	69.092
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m ³	50	23.077	31.666	40.410	49.269	58.591	66.862
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m ³	25	26.176	34.273	42.791	51.588	61.380	68.871
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m ³	50	22.850	31.460	40.224	49.087	58.381	66.704
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m ³	25	26.171	34.269	42.787	51.585	61.376	68.869
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m ³	50	22.844	31.455	40.220	49.083	58.376	66.700

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนของอาคารกลุ่มที่ 2 เป็นอาคารที่มีการใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่น้อยลง และที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 10% ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนใยแก้วของอาคารที่มีการใช้งาน 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
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³	25	21.662	28.025	34.389	39.301	47.116	53.479
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³	50	18.561	25.097	31.633	37.582	44.704	51.240
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m ³	25	21.256	27.642	34.028	39.095	46.800	53.186
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m ³	50	18.256	24.809	31.362	37.397	44.467	51.020

ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m ³	25	20.968	27.371	33.772	38.938	46.576	52.978
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m ³	50	18.045	24.609	31.174	37.262	44.302	50.867
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m ³	25	20.967	27.369	33.771	38.939	46.575	52.978
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m ³	50	18.043	24.608	31.172	37.262	44.302	50.866

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

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

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนใยแก้วของอาคารที่มีการใช้งาน 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
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³	25	13.345	16.946	20.837	24.789	28.711	32.633
ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³	50	11.337	15.243	19.251	23.287	27.309	31.331
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m ³	25	13.072	16.721	20.630	24.591	28.526	32.461
ฉนวนใยแก้ว 24 kg/m ³	50	11.143	15.073	19.096	23.137	27.169	31.201
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m ³	25	12.878	16.561	20.483	24.449	28.394	32.339
ฉนวนใยแก้ว 32 kg/m ³	50	11.016	14.958	18.988	23.036	27.074	31.113
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m ³	25	12.879	16.561	20.483	24.449	28.394	32.339
ฉนวนใยแก้ว 48 kg/m ³	50	11.017	14.959	18.988	23.036	27.075	31.113

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน (Economic analysis)

เมื่อนำเงินลงทุนและอัตราการใช้ไฟฟ้าของแต่ละทางเลือกมาประเมินระยะเวลาในการคืนทุนหรือจุดคุ้มทุนต่อปีอย่างง่าย (simple payback period) สามารถเปรียบเทียบระยะการคืนทุนได้ ดังนี้

1. อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 15% และ 20% ระยะเวลาคืนทุนของฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³ ที่ความหนา 25 mm. และอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 25% ระยะเวลาคืนทุนของฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³ ที่ความหนา 50 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)								
	15			20			25		
	PW (ล้านบาท)	SPP (ปี)	SRR (%)	PW (ล้านบาท)	SPP (ปี)	SRR (%)	PW (ล้านบาท)	SPP (ปี)	SRR (%)
16 kg/m ³ 25 mm.	11.08	1.06	94	12.27	1.02	97.6	-	-	-
16 kg/m ³ 50 mm.	10.37	1.17	85	11.62	1.14	87.3	15.29	1.14	87
24 kg/m ³ 25 mm.	11.01	1.14	87.2	12.20	1.10	90.4	-	-	-
24 kg/m ³ 50 mm.	10.31	1.21	82	11.58	1.19	83.9	15.27	1.19	83.8
32 kg/m ³ 25 mm.	10.95	1.19	83.4	12.16	1.15	86.4	-	-	-
32 kg/m ³ 50 mm.	10.28	1.26	78.9	11.54	1.23	80.9	15.27	1.23	80.7
48 kg/m ³ 25 mm.	11.02	1.41	70.8	12.22	1.36	73.3	-	-	-
48 kg/m ³ 50 mm.	10.32	1.38	72	11.58	1.35	73.9	15.31	1.35	73.6

2. อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 15%, 20% และ 25% ระยะเวลาการคืนทุนของฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³ ที่ความหนา 25 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ฉนวนใยแก้ว	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)								
	15			20			25		
	PW (ล้านบาท)	SPP (ปี)	SRR (%)	PW (ล้านบาท)	SPP (ปี)	SRR (%)	PW (ล้านบาท)	SPP (ปี)	SRR (%)
16 kg/m ³ 25 mm.	18.89	0.59	167.7	20.73	0.59	167.7	24.18	1.42	70.1
16 kg/m ³ 50 mm.	17.50	0.65	152.5	19.42	0.65	152.5	23.39	1.43	69.9
24 kg/m ³ 25 mm.	18.73	0.64	155.7	20.58	0.64	155.7	24.10	1.51	65.8
24 kg/m ³ 50 mm.	17.37	0.68	147.1	19.30	0.68	147.1	23.31	1.46	68
32 kg/m ³ 25 mm.	18.62	0.67	149	20.47	0.67	149	24.04	1.57	63.6
32 kg/m ³ 50 mm.	17.29	0.70	141.5	19.22	0.70	141.5	23.26	1.51	65.9
48 kg/m ³ 25 mm.	18.68	0.79	126.4	20.53	0.79	126.4	24.10	1.85	53.9
48 kg/m ³ 50 mm.	17.34	0.77	129.1	19.27	0.77	129.1	23.30	1.66	60.1

3. อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 25% และ 30% ระยะเวลาการคืนทุนของฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³ ที่ความหนา 25 mm. มีความคุ้มค่ามากที่สุด ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของอาคารที่มีการใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง

ฉนวนใยแก้ว	อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด WWR (%)					
	25			30		
	PW (ล้านบาท)	SPP (ปี)	SRR (%)	PW (ล้านบาท)	SPP (ปี)	SRR (%)
16 kg/m ³ 25 mm.	41.26	0.50	196.7	42.25	0.34	293.5
16 kg/m ³ 50 mm.	39.81	0.55	178.6	40.67	0.38	256.8
24 kg/m ³ 25 mm.	41.08	0.54	182.6	42.05	0.36	271.1
24 kg/m ³ 50 mm.	39.67	0.58	172.3	40.53	0.40	246.9
32 kg/m ³ 25 mm.	40.96	0.57	174.8	41.90	0.38	258.7
32 kg/m ³ 50 mm.	39.59	0.60	165.7	40.44	0.42	237.0
48 kg/m ³ 25 mm.	41.02	0.67	148.3	41.96	0.45	219.5
48 kg/m ³ 50 mm.	39.63	0.66	151.2	40.48	0.46	216.2

หมายเหตุ ตารางที่ 7, 8 และ 9

1. คำนวณระยะเวลาการคืนทุนเฉพาะฉนวนที่ผ่านเกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมตามประกาศกระทรวงพลังงาน
2. คำนวณไฟฟ้าเฉลี่ย หน่วยละ 3.10 บาท
3. อัตราการปรับปรุงติดตั้งฉนวนกันความร้อนไม่รวมค่าแรงการติดตั้ง
4. Present worth ใช้ค่า $(A \div P) n=10, i=7\%$
ค่าจากตาราง Factor A เป็น P = 6.7101
5. i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7%
6. n = Life in years (อายุการใช้งานของฉนวน) 10 ปี
7. ไม่คิดค่าบริการจากการไฟฟ้านครหลวง
8. อักษรย่อ PW คือ Present Worth (บาท), SPP คือ Simple Payback Period (ปี) และ SRR คือ Simple Rate of Return (%)

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคารหรือ Building Energy Code (BEC) ภายใต้การดำเนินงานของศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานมีผลบังคับใช้กับอาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลง 3 ประเภทการใช้งานตามช่วงเวลา 9 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงต่อวัน ทำการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) โดยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยฉนวนใยแก้วที่ความหนาแน่นและความหนาแตกต่างกัน 8 ทางเลือก ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (BEC) พบว่ามีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังลดลงตามความหนาแน่นและความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้น และในอาคารทุกประเภทเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 30% ฉนวนกันความร้อนจะไม่สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ ยกเว้นอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 35% ฉนวนกันความร้อนจะไม่ส่งผลต่อการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์

อาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 10% มีค่าการถ่ายเทความร้อนก่อนปรับปรุงผนังด้วยฉนวนที่ 43.019 W/m² ผ่านเกณฑ์ จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงผนังด้วยฉนวนกันความร้อน และ

การปรับปรุงฉนวนที่คุ้มค่าที่สุดของแต่ละอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนไม่ผ่านเกณฑ์เมื่อไม่ติดตั้งฉนวน ดังตาราง 10

ตาราง 10 สรุปผลการศึกษาอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน

WWR	ฉนวนกันความร้อน	OTTV (W/m ²)	Building Energy Consumption (บาท)	Simple Payback Period (ปี)	Simple Rate of Return (%)
15%	ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³ ความหนา 25 mm.	34.948	1,839,114.40	1.06	94
20%	ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³ ความหนา 25 mm.	43.402	2,003,956.87	1.02	97.6
25%	ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³ ความหนา 50 mm.	49.532	2,123,484.22	1.149	87

อาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ในอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 10% มีค่าการถ่ายเทความร้อนก่อนปรับปรุงผนังด้วยฉนวนที่ 37.565 W/m² ผ่านเกณฑ์ จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงผนังด้วยฉนวนกันความร้อน และการปรับปรุงฉนวนที่คุ้มค่าที่สุดของแต่ละอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนไม่ผ่านเกณฑ์เมื่อไม่ติดตั้งฉนวน ดังตาราง 11

ตาราง 11 สรุปผลการศึกษาอาคารที่มีการใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

WWR	ฉนวนกันความร้อน	OTTV (W/m ²)	Building Energy Consumption (บาท)	Simple Payback Period (ปี)	Simple Rate of Return (%)
15%	ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³ ความหนา 25 mm.	28.025	3,192,468.94	0.59	167.78
20%	ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³ ความหนา 25 mm.	34.389	3,424,740.10	0.59	167.77
25%	ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³ ความหนา 25 mm.	39.301	3,604,016.60	1.42	70.14

อาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ในอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ 10%, 15% และ 20% มีค่าการถ่ายเทความร้อนก่อนปรับปรุงผนังด้วยฉนวนที่ 27.388 W/m², 25.752 W/m² และ 28.909 W/m² ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงผนังด้วยฉนวนกันความร้อน และการปรับปรุงฉนวนที่คุ้มค่าที่สุดของอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนไม่ผ่านเกณฑ์เมื่อไม่ติดตั้งฉนวน ดังตาราง 12

ตาราง 12 สรุปผลการศึกษาอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง

WWR	ฉนวนกันความร้อน	OTTV (W/m ²)	Building Energy Consumption (บาท)	Simple Payback Period (ปี)	Simple Rate of Return (%)
25%	ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³ ความหนา 25 mm.	24.789	6,167,316.14	0.50	196.76
30%	ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m ³ ความหนา 25 mm.	28.711	6,400,901.24	0.34	293.59

ในทุกกลุ่มอาคารมีระยะเวลาการคืนทุนของฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³ ที่ความหนา 25 mm มีความคุ้มค่ามากที่สุด ยกเว้นอาคารที่มีการใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับ 25% ฉนวนใยแก้ว 16 kg/m³ ที่ความหนา 50 mm มีความคุ้มค่ามากที่สุด

จากการศึกษาสามารถนำข้อมูลการวิจัยไปใช้ในการประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้วที่มีความหนาแน่นและความหนาแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวน และระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งช่วยให้ผู้ออกแบบและบริหารโครงการสามารถออกแบบปรับปรุงอาคารแต่ละประเภทให้เป็นไปตามกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 และเพิ่มประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนของอาคาร

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. **“แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบการอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม.”** สืบค้น 12 กันยายน 2561. <http://www.enconfund.go.th/pdf/Architectural-Guidebook.pdf>.
- . **“แผนปฏิบัติการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579.”** สืบค้น 10 กันยายน 2561. http://www.dede.go.th/download/files/AEDP%20Action%20Plan_Final.pdf.
- คณะกรรมการการขับเคลื่อนการปฏิรูปประเทศด้านพลังงาน. **“การอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ข้อบัญญัติเกณฑ์มาตรฐานอาคารด้านพลังงาน.”** สืบค้น 12 กันยายน 2561. <http://www.2e-building.com/list.php?cat=download>.
- ตระการ ก้าวไกลกรรม. **คู่มือฉนวนความร้อน.** กรุงเทพมหานคร: หจก.นำอักษรการพิมพ์, 2537.
- ธนิต จินดาวงศ์. **การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบสถาปัตยกรรม.** กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ม.ป.ป.
- พรรณจิรา ทิศาภิชาติ ศรีสุชาพรรณและอวิรุทธ์ ศรีสุชาพรรณ. **เทคนิคการออกแบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.** กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2556.
- ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. **คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานปี 2560.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560.
- สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. **โครงการปรับปรุงข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารควบคุม.** กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547.
- อภิขญา อธิคมบัณฑิตกุล. **“การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุหลังคาที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนทั่วไป.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- อรจัน ศรีบุญตร. **ค่าดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- Surapong Chirattananon and Juntakan Taveekun. **“An OTTV-Based Energy Estimation Model for Commercial Buildings in Thailand: Energy and Buildings.”** Accessed April 17, 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804000210>.