การพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด

โดย
นายรัฐภัทร์ อุปละ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ
ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด

โดย
นายรัฐภัทร์ อุปละ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ
ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF PRESCRIPTIVE METHOD FOR EVALUATING ENERGY PERFORMANCE OF BUILDING ENVELOPE

By

MR. Rattapat OUPALA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Architecture (Architecture)

Department of Architecture

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2020

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร โดยใช้รายการที่กำหนด
โดย	รัฐภัทร์ อุปละ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมลศิริ ประจงสาร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

60054204 : สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร, วิธีการประเมินตามรายการที่กำหนด

นาย รัฐภัทร์ อุปละ: การพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์

กฎหมายอนุรักษ์พลังงานของกระทรวงพลังงาน กำหนดอาคาร 9 ประเภท ที่มีขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องออกแบบให้ได้ตามเกณฑ์ โดยส่วนของกรอบอาคารแบ่งประเภทอาคารเป็น 3 กลุ่ม ใช้การประเมินประสิทธิภาพกรอบอาคารด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ซึ่งต้องคำนวณด้วยโปรแกรม BEC ของกระทรวงพลังงาน แต่ปัจจุบันอาคารที่ผ่านเกณฑ์เฉพาะกรอบอาคารไม่ถึงร้อยละ 50 เกือบทุกกลุ่มอาคาร จึงจะเห็นได้ว่าการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์โดยใช้วิธีคำนวณยังปฏิบัติให้สอดคล้องได้น้อย นำไปสู่การศึกษาทางเลือกในการประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงาน

จากการศึกษากฎหมายและมาตรฐานของต่างประเทศ พบว่ามีทางเลือกในการประเมินกรอบอาคารโดยไม่ต้องใช้การจำลองพลังงานควบคู่กันไปด้วย คือใช้วิธีการประเมินจากคุณสมบัติของส่วนประกอบต่าง ๆ อาคาร เช่น ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา เป็นต้น ซึ่งเรียกว่า วิธีการประเมินตามรายการที่กำหนด (Prescriptive Method) เป็นวิธีการที่ปฏิบัติตามได้ง่าย เหมาะสำหรับอาคารที่มีลักษณะไม่ซับซ้อน วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้จึงต้องการพัฒนาข้อกำหนดของเกณฑ์การออกแบบกรอบอาคาร ที่สามารถให้ผลในการผ่านเกณฑ์ RTTVและ OTTV ได้ตามกฎหมาย โดยที่ไม่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

วิธีการศึกษาใช้การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง และนำค่าที่ได้จากมาตรฐานต่าง ๆ มาวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ BEC เพื่อหาข้อรายการคุณสมบัติของวัสดุในการออกแบบหลังคาและผนัง ที่สามารถให้ผลผ่านค่า RTTV และ OTTV ได้ในทุกกลุ่มประเภทอาคาร ผลการศึกษาพบว่า สำหรับการออกแบบหลังคา การกำหนดให้ใช้ฉนวนกันความร้อนประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีค่า R value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ จะสามารถผ่านเกณฑ์ค่า RTTV ได้ทั้งหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต และหลังคากระเบื้องทุกรูปทรง ตั้งแต่สัดส่วนหลังคา 1:3 ถึง 3:1 ทางทิศหลัก ในทุกกลุ่มประเภทอาคาร และทุกสีหลังคา และสามารถมีช่องแสงหลังคาขนาดไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งต้องออกแบบตามเงื่อนไขของแต่ละกลุ่มอาคาร สำหรับข้อกำหนดของผนังด้านนอก พบว่าการออกแบบให้ค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ได้ในทุกกลุ่มประเภทอาคาร หน้าต่างต้องมีพื้นที่ไม่เกินร้อยละ 40 โดยผนังมวลสาร ชนิดผนังคอนกรีตมวลเบา ควรมีค่า U ผนังทึบไม่เกิน 1.20 $W/m^{2o}C$ เช่น ผนังคอนกรีตมวลเบาประสิทธิภาพสูง หนา 10.5 ซม. ส่วนชนิดผนังอิฐมอญ ควรมีค่า U ผนังทึบไม่มากกว่า 1.50 $W/m^{2o}C$ เช่น ผนังอิฐมอญฉาบปูนหนา 25 ซม. แต่ต้องมีผลคูณของค่าความหนาแน่นของความร้อนจำเพาะ (DSH) มากกว่า 181.92 $kJ/m^{2}\,^{o}C$ ส่วนผนังโครงเคร่าเหล็กติดตั้งฉนวนที่มีค่า R value มากกว่ามาตรฐานของฉลากเบอร์ 5 ควรมีค่า U ผนังทึบไม่เกิน 0.42 $W/m^{2o}C$ ใช้ได้กับผนังทุกสี และต้องออกแบบกระจกให้เป็นไปตามเงื่อนไขของแต่ละกลุ่มอาคาร

60054204 : Major (Architecture)
Keyword : BUILDING ENERGY PERFORMANCE EVALUATION, PRESCRIPTIVE METHOD

MR. RATTAPAT OUPALA : DEVELOPMENT OF PRESCRIPTIVE METHOD FOR EVALUATING ENERGY PERFORMANCE OF BUILDING ENVELOPE THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR PANTUDA PUTHIPIROJ

Presently Thai Building Energy Code of the Ministry of Energy requires nine types of buildings with size of 2,000 sq.m. or more to be compliant. The building envelope performance is determined by using OTTV and RTTV. This needs to be evaluated by using the BEC program. But at present, the building that meet the specific envelope criteria is less than 50%, almost all building groups. Therefore, it can be seen that to pass the criteria is still quite difficult. The objective to must study of alternatives in the assessment of energy conservation buildings.

From literature review it was found that some regulation and standards provide a prescriptive method option such as ASHRAE 90.1, which is a simple method without computer simulation. Therefore, the purpose of this study is to establish the prescriptive criteria for evaluating the energy performance of building envelopes.

The study was conducted by reviewing international and local codes and standards of building envelopes, namely roof and exterior wall. Then the values found were tested with the BEC program to analyze the OTTV and RTTV compliance.

It was found that for roof design using insulations with R value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ would be complied with RTTV criteria for both flat roofs and pitched roofs, from the roof ratios of 1:3 to 3:1 in the main direction. It is also possible to have skylight at 3%, which must be designed according to the conditions of each building group. For the exterior wall, to comply with OTTV criteria the prescriptive requirements are to have WWR ≤ 40% in all building types. The mass wall type of lightweight concrete block should have U-value ≤ 1.20 $W/m^{2o}C$, such as lightweight concrete block with energy label, thickness 10.5 cm. As for the wall of brick type, the U-value should have ≤ 1.50 $W/m^{2o}C$, such as 25 cm thick brick wall. but must have a density-specific heat product ≥ 181.92 kJ/m^2C. The steel frame wall should have U-value ≤ 0.42 $W/m^{2o}C$ and Installed insulation with the R value greater than the standard of no. 5 energy label, can be used on walls of all colors. It must be design the windows according to the conditions of each building group.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความเมตตาและกรุณา จากรองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และชี้แนวทางในการศึกษาวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ พร้อมให้ความรู้ความเข้าใจกับกระบวนการเขียนวิทยานิพนธ์ที่มีประสิทธิภาพ ให้มีความรอบคอบและใส่ใจรายละเอียดของการทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาจากคณาจารย์ หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความรู้และคำแนะนำสำหรับการศึกษาด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมลศิริ ประจงสาร และรองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำสำหรับการปรับปรุงการเขียนวิทยานิพนธ์ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูเกียรติ แซ่ตั้ง ภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและทุนการศึกษาในการศึกษาวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อัครพงศ์ อนุพันธ์พงศ์ ภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สจล. ที่ให้คำแนะนำที่ดีและเป็นกำลังใจการศึกษาวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ สายวิชาอนุรักษ์พลังงานในอาคาร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้กำลังใจเสมอ

ขอขอบพระคุณ ผู้ที่มิได้กล่าวนามทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณยาย ศรีคำ วิทยศักดิ์, คุณพ่อ ภัทรพงศ์ อุปละ, คุณแม่ พิชญ์สินี วิทยศักดิ์ และคุณป้า นลินทิพย์ วิทยศักดิ์ ที่ให้การสนับสนุน ดูแลเอาใจใส่และเป็นกำลังใจสำคัญของข้าพเจ้าตลอดมา และขอบคุณวิทยานิพนธ์เล่มนี้ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้ความรู้และประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้าในการศึกษาระดับที่สูงขึ้นต่อไป คุณค่าที่เกิดจากการศึกษานี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณที่กล่าวมาและผู้ที่สนใจทุกท่านเช่นกัน

รัฐภัทร์ อุปละ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ด
บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา 5
ขอบเขตการศึกษา 5
ขั้นตอนการศึกษา 5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 7
กฎหมายที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน 8
กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 8
แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 - 2579 (Energy Efficiency Plan; EEP 2015) 9
ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 10
เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด 13

นิยามของเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด 13
เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ 16
1. คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ (ประเทศไทย) 16
2. เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 17
3. เกณฑ์ International Energy Conservation Code 20
4. เกณฑ์ BCA Green Mark 22
เปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคาร 23
วัสดุที่ได้การรับรองมาตรฐานการประหยัดพลังงาน 28
การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯ 31
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯในประเทศ 31
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯในต่างประเทศ 33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย 35
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าคุณสมบัติของกรอบอาคาร 36
1. หลังคาอาคาร 36
2. ผนังด้านนอกอาคาร 38
ขั้นตอนที่ 2 กำหนดประเภทวัสดุของกรอบอาคารตามเกณฑ์ฯ 41
1. หลังคาอาคาร 41
2. ผนังด้านนอกอาคาร 43
ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดขนาดและสัดส่วนของกรอบอาคารในการวิเคราะห์เกณฑ์ประเมินฯ 48
ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการคำนวณผลค่า RTTV และค่า OTTV ด้วยเกณฑ์ BEC 50
1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV) 50
2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) 51

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 52
ผลการคำนวณคุณสมบัติของเกณฑ์ในการออกแบบกรอบอาคารโดยการใช้รายการที่กำหนด 53
1. หลังคาอาคาร 53
1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs) 57
1.2 หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) 59
1.3 หลังคาที่มีช่องแสง 65
1.4 รูปทรงของหลังคากระเบื้อง 81
2. ผนังด้านนอกอาคาร 85
2.1 ผนังมวลสาร (Mass Wall) 85
2.2 ผนังอิฐมอญ โดยเลือกกำหนดคุณสมบัติจากเกณฑ์ 2 เกณฑ์ คือ 94
2.3 ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) โดยเลือกกำหนดคุณสมบัติจากเกณฑ์ 3 เกณฑ์ คือ 99
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 106
สรุปผลการวิจัย 106
1. หลังคาอาคาร 106
2. ผนังด้านนอกอาคาร 110
อภิปรายผล 117
1. เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ฯ 117
2. สัดส่วนของกรอบอาคาร 122
ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาเพิ่มเติม 123
รายการอ้างอิง 124
ภาคผนวก 127
ภาคผนวก ก 128
ภาคผนวก ข 140
ภาคผนวก ค 142

ภาคผนวก ง 159
ภาคผนวก จ 169
ภาคผนวก ฉ 182
ประวัติผู้เขียน 201

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ประเทศที่มีข้อกำหนดของเกณฑ์การออกแบบโดยให้ปฏิบัติตามข้อรายการที่กำหนด (Prescriptive Method) 3
ตารางที่ 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา 8
ตารางที่ 3 เกณฑ์ OTTV และ RTTV ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี 10
ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินฯตามข้อรายการกำหนดและประเภทอาคารของแต่ละประเทศ 14
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคาร ส่วนทึบแสง (ระบบหน่วย SI) 25
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคาร ส่วนโปร่งแสง (ระบบหน่วย SI) 26
ตารางที่ 7 ค่าประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงานของกระจก 28
ตารางที่ 8 ค่าประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงานของคอนกรีตมวลเบา 29
ตารางที่ 9 คุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในการทดสอบหลังคาอาคาร 38
ตารางที่ 10 คุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในการทดสอบผนังด้านนอกอาคาร 40
ตารางที่ 11 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาปั้นหยา เมื่อไม่มีช่องแสง 81
ตารางที่ 12 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาจั่ว เมื่อไม่มีช่องแสง 83
ตารางที่ 13 ผลการทดสอบค่า RTTV ของชนิดหลังคาเพิงหมาแหงน เมื่อไม่มีช่องแสง 84
ตารางที่ 14 แนวทางการออกแบบหลังคาให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด 109
ตารางที่ 15 แนวทางการออกแบบผนังด้านนอกอาคารให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด 113
ตารางที่ 16 เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนดของกรอบอาคารทึบแสง 115
ตารางที่ 17 เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนดของกรอบอาคารโปร่งแสง 116

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ ประเภทหลังคา 118

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ ประเภทผนังด้านนอกอาคาร 119

ตารางที่ 20 แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ (ระบบหน่วย SI) 129

ตารางที่ 21 เกณฑ์รายการที่กำหนดของกรอบอาคารทึบแสง ของเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ระบบหน่วย SI) 130

ตารางที่ 22 รายการที่กำหนดของกรอบอาคารโปร่งแสง (fenestration) ของเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ระบบหน่วย SI) 132

ตารางที่ 23 รายการที่กำหนดของเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% (ระบบหน่วย SI) 133

ตารางที่ 24 รายการที่กำหนดของเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 50% (ระบบหน่วย SI) 135

ตารางที่ 25 รายการที่กำหนดของกรอบอาคารทึบแสง ของเกณฑ์ International Energy Conservation Code 2018 (ระบบหน่วย SI) 137

ตารางที่ 26 รายการที่กำหนดของกรอบอาคารโปร่งแสง ของเกณฑ์ International Energy Conservation Code 2018 (ระบบหน่วย SI) 138

ตารางที่ 27 รายการที่กำหนดประเภทการจำลอง (Simulation method) ของกรอบอาคาร ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 2015 139

ตารางที่ 28 รายการที่กำหนด (Non Simulation Checklist) ของกรอบอาคาร ประเภทที่ไม่ใช่อาคารอุตสาหกรรม ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 2015 139

ตารางที่ 29 เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของกระจกประสิทธิภาพสูง หรือ ฉลากเบอร์ 5 141

ตารางที่ 30 ค่า U ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง 143

ตารางที่ 31 ค่า DSH ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง 143

ตารางที่ 32 ค่า TD_{eq} ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง 143

ตารางที่ 33 ค่า U ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1 144
ตารางที่ 34 ค่า DSH ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1..... 144
ตารางที่ 35 ค่า TD_{eq} ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1 144
ตารางที่ 36 ค่า U ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2 145
ตารางที่ 37 ค่า DSH ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2..... 145
ตารางที่ 38 ค่า TD_{eq} ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2 145
ตารางที่ 39 ค่า U ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 พื้นที่ 0 146
ตารางที่ 40 ค่า DSH ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 พื้นที่ 0 146
ตารางที่ 41 ค่า TD_{eq} ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 พื้นที่ 0 146
ตารางที่ 42 ค่า U ของหลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง 147
ตารางที่ 43 ค่า DSH ของหลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง..... 147
ตารางที่ 44 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง 147
ตารางที่ 45 ค่า U ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1 150
ตารางที่ 46 ค่า DSH ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1 150
ตารางที่ 47 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1..... 150
ตารางที่ 48 ค่า U ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2..... 153
ตารางที่ 49 ค่า DSH ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2 153
ตารางที่ 50 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2..... 153
ตารางที่ 51 ค่า U ของหลังคากระเบื้อง ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016..... 156
ตารางที่ 52 ค่า DSH ของหลังคากระเบื้อง ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 156
ตารางที่ 53 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016..... 156
ตารางที่ 54 ค่า U ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ BCA Green Mark..... 160

ตารางที่ 55 ค่า DSH ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 160
ตารางที่ 56 ค่า TD_{eq} ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 160
ตารางที่ 57 ค่า U ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามคู่มือการประเมินฯ 161
ตารางที่ 58 ค่า DSH ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามคู่มือการประเมินฯ 161
ตารางที่ 59 ค่า TD_{eq} ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามคู่มือการประเมินฯ 162
ตารางที่ 60 ค่า U ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 162
ตารางที่ 61 ค่า DSH ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 163
ตารางที่ 62 ค่า TD_{eq} ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 163
ตารางที่ 63 ค่า U ของผนังอิฐมอญ ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 164
ตารางที่ 64 ค่า DSH ของผนังอิฐมอญ ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 164
ตารางที่ 65 ค่า TD_{eq} ของผนังอิฐมอญ ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 164
ตารางที่ 66 ค่า U ของผนังอิฐมอญ ตามคู่มือการประเมินฯ 165
ตารางที่ 67 ค่า DSH ของผนังอิฐมอญ ตามคู่มือการประเมินฯ 165
ตารางที่ 68 ค่า TD_{eq} ของผนังอิฐมอญ ตามคู่มือการประเมินฯ 166
ตารางที่ 69 ค่า U ของผนังโครงเคร่าเหล็ก ต่ำกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนด 167
ตารางที่ 70 ค่า DSH ของผนังโครงเคร่าเหล็ก ต่ำกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนด 167
ตารางที่ 71 ค่า TD_{eq} ของผนังโครงเคร่าเหล็ก จากการทดสอบค่า U ต่ำกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนด . 167
ตารางที่ 72 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร 170
ตารางที่ 73 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 45 องศา ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร 170
ตารางที่ 74 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 30 องศา ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร 171
ตารางที่ 75 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ความลาดชัน 15 องศา ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร 171

ตารางที่ 76 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต ที่มีช่องแสง โดยใช้ฉนวนใยแก้วเบอร์ 5 172

ตารางที่ 77 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนแก้วเบอร์ 5 173

ตารางที่ 78 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนแก้วเบอร์ 5 175

ตารางที่ 79 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนแก้วเบอร์ 5 176

ตารางที่ 80 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาปั้นหยา เมื่อไม่มีช่องแสง 178

ตารางที่ 81 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาจั่ว เมื่อไม่มีช่องแสง 180

ตารางที่ 82 ผลการทดสอบค่า RTTV ของชนิดหลังคาเพิงหมาแหงน เมื่อไม่มีช่องแสง 181

ตารางที่ 83 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังคอนกรีตมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 183

ตารางที่ 84 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 186

ตารางที่ 85 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 188

ตารางที่ 86 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 190

ตารางที่ 87 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 192

ตารางที่ 88 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 194

ตารางที่ 89 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มี WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 196

ตารางที่ 90 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 197

ตารางที่ 91 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35..... 199

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนภูมิสถิติอาคารที่ผ่านการประเมิน BEC ในระบบกรอบอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562) 2

ภาพที่ 2 แผนผังเกณฑ์ Prescriptive Method ของกรอบอาคาร มาตรฐาน ASHRAE Standard 90.1-2016 4

ภาพที่ 3 แผนภูมิตัวเลือกการประเมินอาคาร ของเกณฑ์ ASHRAE 90.1 15

ภาพที่ 4 ภาพวัสดุกรอบอาคารที่ได้ฉลากประหยัดพลังงาน 30

ภาพที่ 5 ขั้นตอนดำเนินการศึกษาวิจัย 35

ภาพที่ 6 ภาพตัดของวัสดุประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ชนิดฉนวนวางบนฝ้าเพดาน 42

ภาพที่ 7 ภาพตัดของวัสดุประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ชนิดฉนวนวางบนดาดฟ้าคอนกรีต R ของฉนวนเท่ากับ 4.4 $m^{2.o}C/W$ 42

ภาพที่ 8 ภาพตัดของวัสดุประเภทหลังคากระเบื้อง 43

ภาพที่ 9 ภาพตัดของวัสดุผนังด้านนอกอาคาร ชนิดผนังคอนกรีตมวลเบา 45

ภาพที่ 10 ภาพตัดของวัสดุผนังอิฐมอญ 46

ภาพที่ 11 ภาพตัดของวัสดุผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) 47

ภาพที่ 12 รูปแบบสัดส่วนอาคารในการทดสอบเกณฑ์ประเมินฯ 49

ภาพที่ 13 กระบวนการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV) 50

ภาพที่ 14 กระบวนการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) 51

ภาพที่ 15 แผนภูมิผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาชนิดที่ไม่มีช่องโปร่งแสง (skylight) ของอาคารกลุ่มที่ 1 54

ภาพที่ 16 แผนภูมิผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาชนิดที่ไม่มีช่องโปร่งแสง (skylight) ของอาคารกลุ่มที่ 2 55

ภาพที่ 17 แผนภูมิผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาชนิดที่ไม่มีช่องโปร่งแสง (skylight) ของอาคารกลุ่มที่ 3 56

ภาพที่ 18 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 1 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 57

ภาพที่ 19 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของฉนวน ที่ใช้ในหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 2 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 58

ภาพที่ 20 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 3 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 58

ภาพที่ 21 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 1 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 59

ภาพที่ 22 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 2 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 60

ภาพที่ 23 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 3 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 60

ภาพที่ 24 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 1 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 61

ภาพที่ 25 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 2 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 62

ภาพที่ 26 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 3 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 62

ภาพที่ 27 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 1 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 63

ภาพที่ 28 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 2 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 64

ภาพที่ 29 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 3 ไม่มีช่องแสง (Skylight)..... 64

ภาพที่ 30 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 1 ที่มีช่องแสง (skylight)..... 66

ภาพที่ 31 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 2 ที่มีช่องแสง (skylight) 67

ภาพที่ 32 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 3 ที่มีช่องแสง (skylight) 68

ภาพที่ 33 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 1 ที่มีช่องแสง (skylight) 70

ภาพที่ 34 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 2 ที่มีช่องแสง (skylight) 71

ภาพที่ 35 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 3 ที่มีช่องแสง (skylight) 72

ภาพที่ 36 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 1 ที่มีช่องแสง (skylight) 74

ภาพที่ 37 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 2 ที่มีช่องแสง (skylight) 75

ภาพที่ 38 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 3 ที่มีช่องแสง (skylight) 76

ภาพที่ 39 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 1 ที่มีช่องแสง (skylight) 78

ภาพที่ 40 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 2 ที่มีช่องแสง (skylight) 79

ภาพที่ 41 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 3 ที่มีช่องแสง (skylight) 80

ภาพที่ 42 แผนภูมิการทดสอบค่า OTTV ของผนังมวลสาร อาคารกลุ่มที่ 1 86

ภาพที่ 43 แผนภูมิการทดสอบค่า OTTV ของผนังมวลสาร อาคารกลุ่มที่ 2 87

ภาพที่ 44 แผนภูมิการทดสอบค่า OTTV ของผนังมวลสาร อาคารกลุ่มที่ 3 88

ภาพที่ 45 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังคอนกรีตมวลเบา อาคารกลุ่ม 1 90

ภาพที่ 46 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังคอนกรีตมวลเบา อาคารกลุ่ม 2 91

ภาพที่ 47 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังคอนกรีตมวลเบา อาคารกลุ่ม 3 92

ภาพที่ 48 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังอิฐมอญ อาคารกลุ่ม 1 95

ภาพที่ 49 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังอิฐมอญ อาคารกลุ่ม 2 96

ภาพที่ 50 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังอิฐมอญ อาคารกลุ่ม 3 97

ภาพที่ 51 แผนภูมิการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าทุกประเภทกลุ่มอาคาร 100

ภาพที่ 52 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังโครงเคร่าเหล็ก อาคารกลุ่ม 1 102

ภาพที่ 53 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังโครงเคร่าเหล็ก อาคารกลุ่ม 2 103

ภาพที่ 54 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังโครงเคร่าเหล็ก อาคารกลุ่ม 3 104

ภาพที่ 55 แนวทางการออกแบบหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด 107

ภาพที่ 56 แนวทางการออกแบบหลังกระเบื้อง สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด 109

ภาพที่ 57 แนวทางการออกแบบผนังมวลสาร ชนิดผนังคอนกรีตมวลเบา สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด 111

ภาพที่ 58 แนวทางการออกแบบผนังมวลสาร ชนิดผนังอิฐมอญ สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด 112

ภาพที่ 59 แนวทางการออกแบบผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด 113

ภาพที่ 60 เปรียบเทียบค่า RTTV กับสัดส่วนและทิศของหลังคากระเบื้อง ทรงปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา ที่ไม่มีช่องแสง 122

ภาพที่ 61 เปรียบเทียบค่า OTTV กับสัดส่วนและทิศของผนังมวลสาร ตามข้อสรุปงานวิจัย ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 123

มหาวิทยาลัยศิลปากร

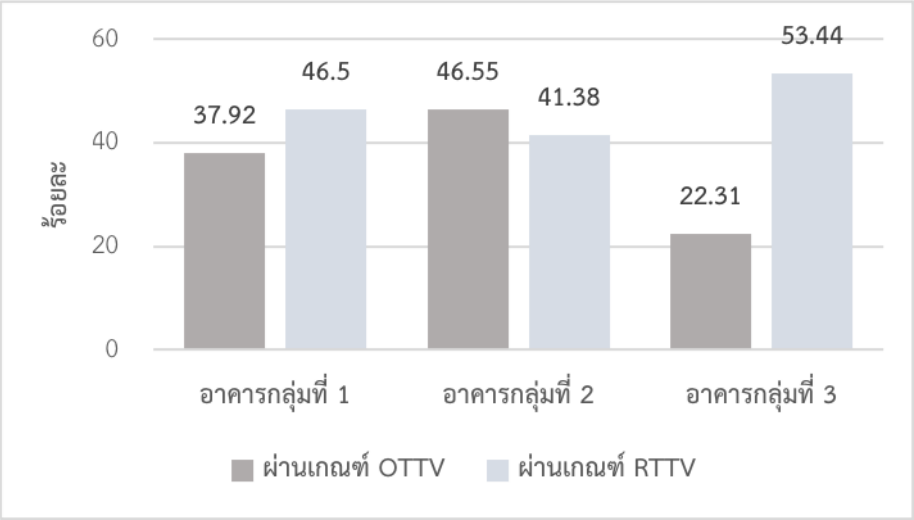
บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบอาคารในปัจจุบันจำเป็นต้องคำนึงถึงการอนุรักษ์พลังงานเป็นสำคัญ เนื่องจากปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งมีสาเหตุส่วนหนึ่งจากการใช้พลังงานในอาคาร สำหรับประเทศไทย กระทรวงพลังงานจึงได้ออกกฎกระทรวง เรื่องกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการ พ.ศ.2552 ตามมาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) โดยมีผลบังคับใช้กับอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลง ขึ้นเพื่อควบคุมอาคารที่มีขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ซึ่งแบ่งอาคารออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 อาคารใช้งานไม่เกินวันละ 9 ชั่วโมง คือ 1) สถานศึกษา และ 2) สำนักงาน, กลุ่มที่ 2 อาคารใช้งานไม่เกินวันละ 12 ชั่วโมง คือ 1) โรงมหรสพ 2) ห้างสรรพสินค้า 3) สถานบริการ และ 4) อาคารชุมนุมคน และกลุ่มที่ 3 อาคารใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง คือ 1) โรงแรม 2) สถานพยาบาล และ 3) อาคารชุด รวมทั้งหมด 9 ประเภทอาคาร (กระทรวงพลังงาน, 2552) การจะผ่านเกณฑ์ได้นั้นต้องออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการที่กำหนด ในกฎกระทรวง ซึ่งจำเป็นต้องประเมินด้วยโปรแกรม BEC

โดยมาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบ ประกอบไปด้วยหลายส่วน แต่ส่วนที่สำคัญในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานเป็นอันดับแรกคือ ระบบกรอบอาคาร เป็นออกแบบกรอบภายนอกอาคารเพื่อคำนวณให้สามารถผ่านค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer value, OTTV), ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal transfer, RTTV) ในส่วนที่มีการปรับอากาศ ต้องมีค่าไม่เกินที่กฎกระทรวงกำหนด

จากการกำหนดมาตรฐานและหลักเกณฑ์ของกฎกระทรวง ได้ประกาศใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ได้มีอาคารตรวจประเมินแบบอาคารที่ก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคารจนถึงปี พ.ศ. 2562 มีจำนวนอาคาร 803 แบบ แบ่งเป็น อาคารภาครัฐ จำนวน 498 แบบ และเอกชน จำนวน 305 แบบ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562) ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลอาคารที่ผ่านการประเมินด้วยโปรแกรม BEC ในระบบกรอบอาคาร คือ ระบบกรอบอาคารส่วนผนัง (OTTV), และระบบกรอบอาคารส่วนหลังคา (RTTV) ของทั้ง 3 กลุ่มอาคาร โดยอาคารกลุ่มที่ 1 มีจำนวน 385 แบบ, อาคารกลุ่มที่ 2 มีจำนวน 58 แบบ และอาคารกลุ่มที่ 3 มีจำนวน 363 แบบ สามารถสรุปเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบดังนี้



ภาพที่ 1 แผนภูมิสถิติอาคารที่ผ่านการประเมิน *BEC* ในระบบกรอบอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562)

จากแผนภูมิข้างต้น พบว่าอาคารทั้ง 3 กลุ่มสามารถผ่านเกณฑ์ BEC ระบบกรอบอาคาร ไม่เกินร้อยละ 50 ของจำนวนแบบอาคารแต่ละกลุ่ม ยกเว้นอาคารกลุ่มที่ 3 ที่สามารถผ่านมากกว่าร้อยละ 50 เพียงเกณฑ์ระบบ RTTV เท่านั้น จึงจะเห็นได้ว่าการออกแบบระบบกรอบอาคารให้ผ่านเกณฑ์ OTTV และ RTTV โดยใช้วิธีคำนวณยังปฏิบัติให้สอดคล้องได้น้อย ซึ่งเกณฑ์ของกฎกระทรวงนี้เป็นมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในวิธีการคำนวณเพื่อผ่านเกณฑ์ที่กำหนด โดยใช้โปรแกรม BEC เท่านั้น ดังนั้นนำไปสู่การศึกษาทางเลือกในการประเมินอาคารการอนุรักษ์พลังงาน

ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าพบว่า ในกฎหมายและมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของต่างประเทศนั้น มักกำหนดให้มีทางเลือกในการประเมินมากกว่า 1 วิธี หนึ่งในนั้นคือ การออกแบบโดยให้ปฏิบัติตามข้อรายการที่กำหนด (Prescriptive Method) ประเทศที่กำหนดใช้เกณฑ์ Prescriptive Method แสดงดังตารางที่ 1

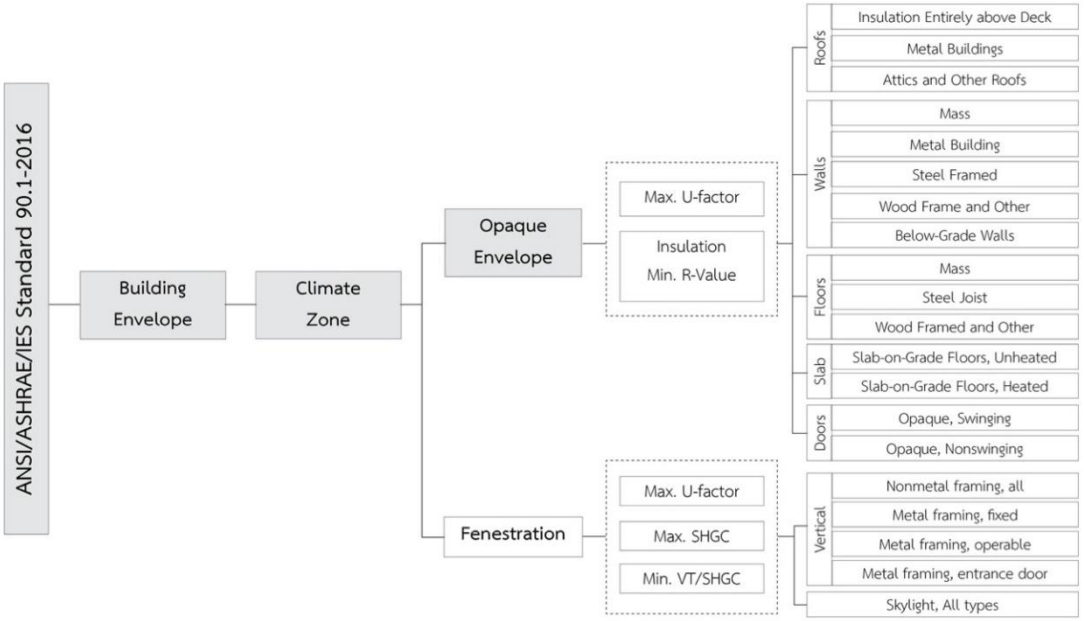
ตารางที่ 1 ประเทศที่มีข้อกำหนดของเกณฑ์การออกแบบโดยให้ปฏิบัติตามข้อรายการที่กำหนด (Prescriptive Method)

ประเทศ	ประเภทอาคาร
สหรัฐอเมริกา	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
อังกฤษ	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
สเปน	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
เกาหลีใต้	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
รัสเซีย	อาคารพาณิชย์
เม็กซิโก	อาคารพาณิชย์ก่อสร้างใหม่
ญี่ปุ่น	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
อิตาลี	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
อินเดีย	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
เยอรมัน	อาคารพาณิชย์ : สำนักงาน, โรงแรม, โรงพยาบาล อาคารสาธารณะ : สำนักงาน, โรงพยาบาล
ฝรั่งเศษ	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
จีน	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
แคนนาดา	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ
ออสเตรเลีย	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ

ที่มา : (Young, 2014)

เกณฑ์การออกแบบโดยให้ปฏิบัติตามข้อรายการที่กำหนด (Prescriptive Method) ยกตัวอย่างประเทศสหรัฐอเมริกา มีมาตรฐาน ASHRAE Standard 90.1-2016 (American Society of Heating, 2016) โดยเกณฑ์กำหนดการออกแบบเป็นหลายส่วน แต่ส่วนสำคัญลำดับแรกคือ กรอบอาคาร (Building Envelop) ซึ่งแบ่งเป็นแต่ละพื้นที่ตามภูมิอากาศ และข้อรายการที่กำหนด จะแบ่งประเภทออกเป็น 2 ประเภทคือ ส่วนกรอบอาคารทึบแสง (Opaque Envelope) และส่วนหน้าต่าง/กระจกโปร่งแสง (Fenestration)

การกำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคาร ประกอบไปด้วย ค่าความต้านทานความร้อนรวมของฉนวน (R), ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U), อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR), อัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR), และค่าการถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก (SHGC) เป็นต้น ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังเกณฑ์ Prescriptive Method ของกรอบอาคาร มาตรฐาน ASHRAE Standard 90.1-2016

ที่มา : (American Society of Heating, 2016)

นอกจากวิธีการใช้รายการที่กำหนดของ ASHRAE Standard 90.1 ยังมีคู่มืออธิบายแนวทางการออกแบบตามมาตรฐาน คือ Standard 90.1 User's Manual ซึ่งให้คำแนะนำโดยละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบในข้อกำหนดส่วนต่าง ๆ ของกรอบอาคาร

จากที่กล่าวมาข้างต้น เกณฑ์การออกแบบกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด ซึ่งเป็นวิธีที่ดำเนินงานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และเหมาะสำหรับผู้ที่ไม่ต้องการใช้โปรแกรมคำนวณ และอาคารที่ไม่มีลักษณะซับซ้อน การศึกษานี้จึงต้องการพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารโดยวิธีการใช้รายการที่กำหนด (Prescriptive Method) ที่สามารถให้ผลผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน โดยไม่ต้องใช้โปรแกรม BEC คำนวณ สำหรับทุกประเภทอาคาร ที่มีขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ประกอบไปด้วยคุณสมบัติของกรอบอาคาร เช่น ค่าความต้านทานความร้อน (R), ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U_w), ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงหรือกระจก (U_f), ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก (SHGC), อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) และอัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR) เป็นต้น เพื่อใช้เป็นทางเลือกคู่ขนานกับเกณฑ์ตามกฎหมายสำหรับประเทศไทยในปัจจุบันที่ต้องใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และกำหนดรายละเอียดในการออกแบบกรอบอาคารให้สอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงาน

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร โดยวิธีการใช้รายการที่กำหนด (Prescriptive Method) ที่สามารถให้ผลผ่านเกณฑ์ BEC โดยไม่ต้องใช้โปรแกรม BEC คำนวณ สำหรับทุกกลุ่มประเภทอาคารตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน

2. เพื่อศึกษาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ที่สามารถนำมาออกแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงาน

ขอบเขตการศึกษา

ด้านประเภทอาคารและขนาดอาคาร

ศึกษาอาคาร 9 ประเภท ประกอบไปด้วย 1) สถานศึกษา 2) สำนักงาน 3) โรงมหรสพ 4) ห้างสรรพสินค้า 5) สถานบริการ 6) อาคารชุมนุมคน 7) โรงแรม 8) สถานพยาบาล และ 9) อาคารชุด ขนาดอาคาร 2,000 ตารางเมตร ในส่วนที่มีการปรับอากาศ ตามกฎหมาย ของกระทรวงพลังงาน

ด้านการกำหนดค่าคุณสมบัติของผนังด้านนอกและหลังคา

1. ผนังด้านนอกอาคาร ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบและหลังคา (U), สัดส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง ต่อพื้นที่ผนังทึบ (WWR) และค่าการถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก (SHGC) รวมถึงสีภายนอกของผนัง

2. หลังคาอาคาร ได้แก่ ค่าความต้านท้านความร้อนของฉนวน (R), สัดส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือหลังคาโปร่งแสง ต่อพื้นที่หลังคา (SRR) และสีภายนอกของหลังคา

ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษากฎหมายอนุรักษ์พลังงาน เกณฑ์ประเมินอาคารฯ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร โดยใช้รายการที่กำหนด

1.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

1.2 เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด

1.3 วัสดุที่ได้การรับรองมาตรฐานการประหยัดพลังงาน

1.4 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯ

2. กำหนดค่าคุณสมบัติและประเภทวัสดุของกรอบอาคาร โดยการเลือกจากค่าคุณสมบัติของเกณฑ์การประเมินฯทั้งในประเทศและต่างประเทศ และกำหนดวัสดุในการออกแบบกรอบอาคาร ได้แก่ 1) หลังคา แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs) และ หลังคา

กระเบื้อง (Pitched roof) และ 2) ผนังด้านนอก ซึ่งชนิดของผนัง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ผนังมวลสาร (Mass Wall) และผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel Framed)

4. การกำหนดขนาดของกรอบอาคารในการวิเคราะห์เกณฑ์ประเมินฯ โดยอ้างอิงจากกฎกระทรวงพลังงาน

5. การดำเนินการคำนวณผลค่า RTTV และค่า OTTV ด้วยเกณฑ์ BEC ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ หลังคาอาคาร คำนวณด้วยเกณฑ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV) และผนังด้านนอกอาคาร คำนวณด้วยเกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV)

6. การวิเคราะห์เกณฑ์ในการออกแบบกรอบอาคารโดยการใช้รายการที่กำหนด จากการคำนวณผลเพื่อหาค่าการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV ตามกฎหมาย ในทุกกลุ่มประเภทอาคาร แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

5.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ประกอบไปด้วยหลังคา 2 ชนิด คือ หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs) และ หลังคากระเบื้อง (Pitched roof)

5.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ประกอบไปด้วยผนัง 2 ชนิด คือ ผนังมวลสาร (Mass Wall) และผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel Framed)

7. สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะของการศึกษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สำหรับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด สามารถเป็นทางเลือกในการออกแบบกรอบอาคารเพื่อผ่านเกณฑ์ OTTV และ RTTV ของกระทรวงพลังงานโดยไม่ต้องใช้โปรแกรมคำนวณ และเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง คู่ขนาดกับกฎหมายอนุรักษ์พลังงานในอนาคต

2. ได้แนวทางการเลือกใช้วัสดุในการออกแบบกรอบอาคารที่สอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงาน

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด (Prescriptive Method) โดยศึกษาประเด็นที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯ ซึ่งจะต้องมีการศึกษานโยบายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร กฎกระทรวงพลังงาน การศึกษาคำนิยามและเกณฑ์ประเมินฯของกรอบอาคารเกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ วัสดุที่ได้การรับรองมาตรฐานการประหยัดพลังงาน รวมถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่นำไปสู่แนวทางการออกแบบเกณฑ์ประเมินฯได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยได้รวบรวมและสรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1. กฎหมายที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
2. เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของกรอบอาคาร
3. วัสดุที่ได้การรับรองมาตรฐานการประหยัดพลังงาน
4. การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กฎหมายที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

กฎหมายในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทย กำหนดโดยกระทรวงพลังงาน ได้ออกกฎกระทรวงเกี่ยวกับ กำหนดประเภท ขนาดอาคาร มาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคาร พ.ศ.2552 โดยเป็นกฎหมายอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดให้ใช้การคำนวณ ตามประกาศกระทรวง เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร พ.ศ.2552 โดยมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับกรอบแนวทางการพัฒนาเกณฑ์ฯ ดังนี้

กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

ในกฎกระทรวงได้กำหนดให้อาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ในอาคารหลังเดียวกัน 9 ประเภท ได้แก่ 1) สถานศึกษา 2) สำนักงาน 3) อาคารโรงมหรสพ 4) ศูนย์การค้า 5) สถานบริการ 6) อาคารชุมนุมคน 7) โรงแรม 8) สถานพยาบาล และ 9) อาคารชุด ให้ออกแบบตามเกณฑ์ในกฎหมาย โดยอาจใช้การพิจารณาจากค่าพลังงานรวมของอาคารที่ใช้เปรียบเทียบกับอาคารอ้างอิง หรือ ผ่านเกณฑ์ในรายระบบ โดยในระบบกรอบอาคารส่วนที่มีการปรับอากาศ ได้กำหนดเกณฑ์เป็น 2 ส่วน คือ 1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer value, OTTV) และ 2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal transfer, RTTV) เป็น 3 กลุ่ม ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ($W/m^{2o}C$)	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ($W/m^{2o}C$)
1. สถานศึกษา สำนักงาน	≤ 50	≤ 15
2. โรงมหรสพห้างสรรพสินค้า สถานบริการ อาคาชุมนุมคน	≤ 40	≤ 12
3. โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	≤ 30	≤ 10

ที่มา : (กระทรวงพลังงาน, 2552)

จากตารางอาคารกลุ่มที่ 1 กำหนดค่า OTTV ≤ 50 W/m^{2}°C และ RTTV ≤ 15 W/m^{2}°C, อาคารกลุ่มที่ 2 กำหนดค่า OTTV ≤ 40 W/m^{2}°C และ RTTV ≤ 12 W/m^{2}°C ส่วนอาคารกลุ่มที่ 3 กำหนดค่า OTTV ≤ 30 W/m^{2}°C และ RTTV ≤ 10 W/m^{2}°C

นอกจากกฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 แล้วกระทรวงพลังงานได้กำหนดแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2552 - 2573 เพื่อกำหนดแนวทางการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยในระยะยาว

แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 - 2579 (Energy Efficiency Plan; EEP 2015) (ส. กระทรวงพลังงาน)

กระทรวงพลังงานได้จัดทำนโยบายอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งปรับปรุงจากแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2554-2573 มาเป็นแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558-2579 มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย โดยมีมาตรการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย คือ มาตรการกำหนดมาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารใหม่ (Building Code) เพื่อลดความต้องการ ใช้พลังงานในอาคารใหม่ รวมทั้งดำเนินการส่งเสริมมาตรฐานขั้นสูง ให้มีมาตรการสนับสนุนเพื่อยกระดับ อาคารที่ก่อสร้างใหม่ให้ได้ระดับการประเมินมาตรฐานอาคารเขียวในระดับสากล เช่น มาตรฐาน LEED หรือมาตรฐาน TREES ของสถาบันอาคารเขียวไทย เป็นต้น

ซึ่งเกณฑ์ปัจจุบัน กำหนดใช้เกณฑ์ Building Energy Code (BEC) ส่วนในแผนอนุรักษ์พลังงานกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงานในระดับที่สูงกว่ามี 3 ระดับ ได้แก่

1) HEPS (High Energy Performance Standard) คือ ระดับเกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของระบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่บรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน

2) Econ (Economic building) คือ เป้าหมายในอนาคตอันใกล้เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่ยังมีความคุ้มค่าในการลงทุน

3) ZEB (Zero Energy Building) คือ เป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์ เนื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมากและยังมีการผลิตพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย

โดยทั้ง 3 ระดับ ได้กำหนดค่าการผ่านเกณฑ์ OTTV และ RTTV ที่สูงกว่าปัจจุบัน ตัวอย่างกรณีเป็นอาคารกลุ่มที่ 1 ประเภทอาคารสำนักงาน และสถานศึกษา ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์ OTTV และ RTTV ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี

ปี พ.ศ.	2558	2564	2570	2573 / 2576
เกณฑ์	BEC	HEPS	Econ	ZEB
OTTV (W/m2)	≤ 50	≤ 40	≤ 30	≤ 20
RTTV (W/m2)	≤ 15	≤ 15	≤ 12	≤ 12

ที่มา : (ดนัย เอกกมล, 2558)

ดังนั้น จากการศึกษาแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558-2579 จึงเป็นแนวทางในการวิเคราะห์และกำหนดเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานตามข้อรายการที่กำหนดของกรอบอาคารในอนาคตต่อไป

จากเกณฑ์กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนังและหลังคา กระทรวงได้ออกประกาศเกี่ยวกับหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารให้การผ่านเกณฑ์ควบคู่กับกฎกระทรวง

ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 (กระทรวงพลังงาน, 2552)

ประกาศกระทรวงได้กำหนดการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบกรอบอาคาร โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer value, OTTV) และ 2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal transfer, RTTV) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer value, OTTV)

2.1.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$OTTV_i = (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

เมื่อ $OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา (W/m^2)

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^{2\circ}C$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสง

ต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ (°C)

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก ($W/m^{2\circ}C$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (°C)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ (W/m^2)

2.1.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \ldots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \ldots + A_{wi}}$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง (m^2)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา (W/m^2)

2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal transfer, RTTV)

2.2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$RTTV_i = (U_r)(1 - SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

เมื่อ $RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา (W/m^2)

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ ($W/m^{2\circ}C$)

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่

พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในของหลังคาซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา (°C)

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง ($W/m^{2o}C$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกหลังคา (°C)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสงและ/หรือ หลังคาทึบแสง (W/m^2)

2.2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$RTTV = \frac{(A_{w1})(RTTV_1) + (A_{w2})(RTTV_2) + \ldots + (A_{wi})(RTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \ldots + A_{wi}}$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง (m^2)

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (W/m^2)

จากหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณของประกาศกระทรวงพลังงาน จึงเป็นกรอบแนวทางในการกำหนดค่าคุณสมบัติที่มีความสำคัญของการออกแบบกรอบอาคารโดยใช้สมการคำนวณหาค่าการผ่านเกณฑ์ OTTV และ RTTV จากกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน สำหรับขั้นตอนในการพัฒนาเกณฑ์ประเมินฯ

เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด

นิยามของเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด

กฎกระทรวงพลังงานกำหนดเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน โดยต้องใช้โปรแกรมคำนวณ วิธีนี้เรียกว่า Performance Building Option ซึ่งต่างจากเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด หรือวิธี Prescriptive Option ที่ไม่ต้องใช้โปรแกรมคำนวณ

ข้อแตกต่างระหว่างวิธี Performance Building Option และ Prescriptive Option (Building Design and Construction, 2019) คือ วิธีการประเมินฯประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร หรือ Performance Building Option เป็นวิธีการคำนวณประสิทธิภาพของอาคาร ที่จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลอง ซึ่งจะดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่กำหนด โดยสร้างอาคารเสมือน จากนั้นใช้ข้อมูลสภาพอากาศในอดีต เพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานของอาคาร

ส่วนวิธีรายการที่กำหนด หรือ Prescriptive Option วิธีการนี้กำหนดแต่ละองค์ประกอบของอาคาร ให้มีมาตรฐานขั้นต่ำที่ยอมรับได้ ตัวอย่างเช่น รายการที่กำหนด ให้ใช้ค่าฉนวนสำหรับการก่อสร้างผนังและหลังคาประเภทต่าง ๆ ในเขตภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ตารางของรายการที่กำหนดส่วนใหญ่จะแสดงรายการของค่า R และหรือค่า U ที่จำเป็นต้องใช้ ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดสำหรับหลังคา ผนัง และหน้าต่าง เมื่อใช้วิธีรายการที่กำหนด จึงไม่จำเป็นต้องมีการจำลองประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร และใช้กับอาคารที่ไม่มีความซับซ้อน

ขนาดของอาคารที่ใช้เกณฑ์ตามรายการที่กำหนดนั้นยกตัวอย่างจากเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide ระดับประหยัดพลังงานร้อยละ 30 ที่เป็นเกณฑ์รายการที่กำหนด แบ่งเป็นแต่ละประเภทอาคาร เช่น อาคารสำนักงานขนาดเล็ก กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 1,800 ตร.ม. (American Society of Heating, 2004), อาคารสรรพสินค้าขนาดเล็ก กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 1,800 ตร.ม. (American Society of Heating, 2006), อาคารคลังสินค้าขนาดเล็ก กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 4,600 ตร.ม. (American Society of Heating, 2008), หรืออาคารประเภทโรงพยาบาลขนาดเล็ก กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 8,300 ตร.ม. (American Society of Heating, 2009) เป็นต้น

เกณฑ์การออกแบบกรอบอาคารตามรายการที่กำหนด เป็นอีกทางเลือกในการออกแบบอาคารที่ต้องผ่านกฎหมายอนุรักษ์พลังงานในแต่ละประเทศ โดยเกณฑ์ส่วนใหญ่จะแบ่งการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานเป็นหัวข้อต่าง ๆ เช่น ระบบกรอบอาคาร, ระบบเครื่องทำความร้อน, ระบบการระบายอากาศและเครื่องปรับอากาศ, ระบบน้ำร้อน, ระบบแสงสว่าง เป็นต้น โดยแบ่งการประเมินตามเขตภูมิอากาศ (Climate Zones) (American Society of Heating, 2016) โดยกำหนดจาก

จำนวนอุณหภูมิวันในการทำความร้อนหรือการทำความเย็น (Heating and Cooling Degree day) ของแต่ละเขต ซึ่งหัวข้อระบบกรอบอาคารที่สามารถดำเนินตามรายการที่กำหนดนั้น ส่วนใหญ่แบ่งอาคารเป็น 2 ประเภท คือ อาคารพาณิชย์ และอาคารอยู่อาศัย และกำหนดค่าคุณสมบัติของกรอบอาคารเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ส่วนทึบแสง เช่น ฉนวนในผนังและฝ้าเพดานหรือหลังคา และ 2) ส่วนโปร่งแสง เช่น หน้าต่าง หรือช่องแสง

สามารถสรุปเกณฑ์รายการในต่างประเทศที่กำหนดองค์ประกอบต่าง ๆ ดังตารางต่อไป

ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินฯตามข้อรายการกำหนดและประเภทอาคารของแต่ละประเทศ

ประเทศ	อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ	ข้อรายการกำหนดเรื่อง ฉนวนในผนัง และฝ้าเพดาน (Insulation)	ข้อรายการกำหนดเรื่อง U-Factor ของหน้าต่าง และค่า Shading/ SHGC	เครื่องทำความร้อนและความเย็น	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง	การติดตั้งทางเทคนิค	การออกแบบตำแหน่งและการวางแนวแกน
สหรัฐอเมริกา	✓	✓	✓	✓	✓	x	x
อังกฤษ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
สเปน	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
เกาหลีใต้	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รัสเซีย	✓	✓	x	✓	x	x	✓
เม็กซิโก	✓	✓	x	✓	✓	x	x
ญี่ปุ่น	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
อิตาลี	✓	✓	✓	✓	✓	x	x
อินเดีย	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
เยอรมัน	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ฝรั่งเศส	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
จีน	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
แคนนาดา	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
ออสเตรเลีย	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ - ✓ หมายถึง มีข้อรายการกำหนด, X หมายถึง ไม่มีข้อรายการกำหนด

ที่มา : (Young, 2014)

จากตารางที่กล่าวมานั้น ในหลายประเทศได้กำหนดเกณฑ์และหรือเป็นกฎหมายของการประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน มากกว่าหนึ่งวิธี นอกจากวิธี Prescriptive Option ตัวอย่างเช่นประเทศสหรัฐอเมริกา ประเภทอาคารพาณิชย์จำนวน 38 รัฐ กำหนดใช้เกณฑ์ ASHRAE 90.1 ซึ่งเกณฑ์แบ่งการประเมินออกเป็น 4 วิธี ได้แก่

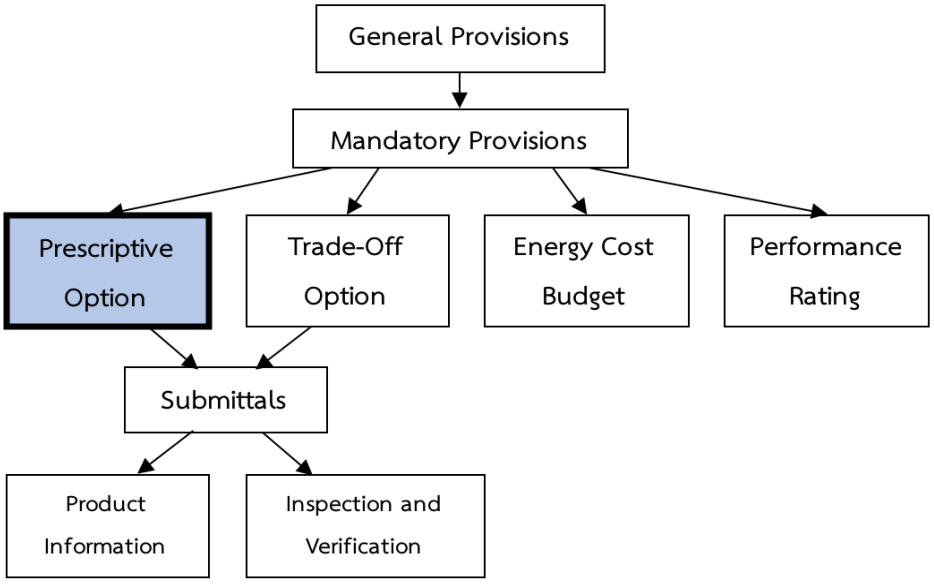
1) Prescriptive Building Envelope Option คือ การประเมินของกรอบอาคารโดยการใช้รายการที่กำหนด

2) Building Envelope Trade-Off Option คือ การแลกเปลี่ยนประสิทธิภาพในส่วนประกอบของกรอบอาคาร

3) Energy Cost Budget Method คือ การนำพลังงานรวมและงบประมาณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเปรียบเทียบกับอาคารมาตรฐาน (Baseline Building)

4) Performance Rating Method คือ การนำอาคารมาเปรียบเทียบกับอาคารมาตรฐาน (Baseline Building) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคาร โดยใช้โปรแกรมจำลอง

แสดงวิธีการประเมินดังภาพแผนภูมิด้านล่าง



ภาพที่ 3 แผนภูมิตัวเลือกการประเมินอาคาร ของเกณฑ์ ASHRAE 90.1
ที่มา : (American Society of Heating, 2017)

จากที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาค้นคว้าเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ที่เกณฑ์กำหนดเขตภูมิอากาศสอดคล้องกับประเทศไทย โดยเกณฑ์ในประเทศ คือ คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ และ

ต่างประเทศ ได้แก่ เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016, เกณฑ์ International Energy Conservation Code และเกณฑ์ BCA Green Mark โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ

เกณฑ์การประเมินฯของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด สำหรับในประเทศไทยนั้น พบว่า กระทรวงพลังงานได้จัดทำ คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 โดยการใช้วิธี Prescriptive เป็นทางเลือกคู่ไปกับการใช้ค่า OTTV และ RTTV ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) แบบประเมิณที่ใช้กับอาคารพักอาศัย และ 2) แบบประเมินที่ใช้กับอาคารที่ไม่ใช่พักอาศัย โดยประเภทที่ 2 เป็นประเภทที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและมีรายละเอียดดังนี้

1. คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ (ประเทศไทย)

แบบประเมินสำหรับอาคารที่ไม่ใช่พักอาศัย คู่มือได้แบ่งออกเป็น 3 แบบย่อยโดยใช้กับอาคารที่มีการใช้งานในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่

แบบที่ 1 อาคารสำนักงาน และห้องสมุด ที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางวัน

แบบที่ 2 อาคารสรรพสินค้า อาคารพาณิชย์ อาคารแสดงสินค้า/นิทรรศการ ที่มีการใช้งานในช่วงกลางวันและคาบเกี่ยวกลางคืน

แบบที่ 3 อาคารโรงแรม โรงพยาบาล ที่มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง

โดยในคู่มือได้แบ่งการประเมินทั้ง 3 ประเภทอาคารออกเป็นหมวดต่างๆ 9 หมวด ซึ่งหมวดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือ หมวดของเปลือกอาคาร ได้แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อได้แก่ 1) การป้องกันความร้อนจากหลังคา และ 2) การป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก มีรายละเอียดดังนี้

1) การป้องกันความร้อนจากหลังคา

- ขนาดช่องแสงระนาบเดียวกับหลังคา
- ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนหลังคา (R)
- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV)

2) การป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก

- อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR)
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผนัง (U-value)

- การใช้หน้าต่างกระจก และ/หรือ กระจก
- สัมประสิทธิ์การบังแดดกระจก (SC หรือ SHGC)
- สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (SC)
- สีผิวผนังภายนอกและมวลของผนัง
- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV)

ในแต่ละหัวข้อได้กำหนดค่าที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของผนังและหลังคา ซึ่งแต่ละแบบมีค่ากำหนดที่แตกต่างกันตามประเภทอาคาร

จากการศึกษาพบว่ามีบางหัวข้อที่ได้กำหนดค่าคุณสมบัติแตกต่างกันในแต่ละประเภทอาคาร ได้แก่ ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนหลังคา (R), ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV), อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) ซึ่งทุกหัวข้อที่มีผลอย่างมากต่อการผ่านเกณฑ์ของกฎกระทรวงพลังงาน และค่าคุณสมบัติที่คู่มือฯกำหนดต่ำกว่าเกณฑ์ของกระทรวงพลังงาน

2. เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016

ส่วนในต่างประเทศ ของประเทศสหรัฐอเมริกามีกฎหมายที่กำหนดเกณฑ์ประเภท Prescriptive Method เช่น มาตรฐาน ASHRAE 90.1 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings ซึ่งเป็นมาตรฐานในการออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการนำไปใช้เป็นกฎหมายอนุรักษ์พลังงานในบางรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา และยังใช้ในการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคารเขียวตามมาตรฐาน LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ด้วย

โดยวิธีการประเมินของกรอบอาคารโดยการใช้รายการที่กำหนด (Prescriptive Building Envelope Option) ของ ASHRAE 90.1 ปี 2016 แบ่งการประเมินตามเขตภูมิอากาศ (Climate Zones) เป็น 9 เขต ส่วนประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศร้อนชื้น จะอยู่ในเขตภูมิอากาศ 0-A (Zone 0-A) ร้อนสุดขีด (extremely hot) เช่น กรุงเทพ และเขตภูมิอากาศ 1-A (Zone 1-A) ร้อนมาก (very hot) เช่น เชียงใหม่ เป็นต้น และยังแบ่งประเภทอาคารออกเป็น 3 แบบ โดยประเภทอาคารที่สอดคล้องกับวิจัยนี้คือ ประเภทอาคารไม่ใช่ที่อยู่อาศัย (Nonresidential)

ข้อกำหนดของกรอบอาคารแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. ส่วนกรอบอาคารทึบแสง (Opaque Element) และ 2. ส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง (fenestration) ซึ่งค่าคุณสมบัติของกรอบอาคารกำหนดให้เลือกใช้ 2 ค่า คือ ค่าความต้านทานความร้อน (R) ของฉนวน และค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของกรอบอาคาร และแต่ละประเภทของกรอบอาคารกำหนดคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

1) ส่วนกรอบอาคารทึบแสง (Opaque Element) ประกอบด้วย 6 ประเภท ได้แก่

1.1 หลังคา แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ฉนวนวางต่อเนื่องบนดาดฟ้า (Insulation Entirely above Deck), หลังคาโลหะ (Metal Building) และหลังคาที่มีห้องใต้หลังคาและอื่นๆ (Attic and Other)

1.2 ผนังเหนือดิน (Walls, above Grade) แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ ผนังมวลสาร (Mass), ผนังโลหะ (Metal Building), ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel Framed), และผนังโครงเคร่าไม้และอื่นๆ (Wood Framed and Other)

โดยผนังมวลสาร (Mass) (American Society of Heating, 2017) ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนด คือ

1) ต้องมีน้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 122 kg/m^2

2) ต้องมีน้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 122 kg/m^2 ของพื้นที่ผนังที่วัสดุมีน้ำหนักไม่เกิน 1,900 kg/m^3

3) มีความจุความร้อนมากกว่าหรือเท่ากับ 143 kJ/m^2K

4) มีความจุความร้อนมากกว่าหรือเท่ากับ 102 kJ/m^2K ของพื้นที่ผนังที่วัสดุมีน้ำหนักไม่เกิน 1,900 kg/m^3

1.3 ผนังใต้ดิน (Wall, below Grade)

1.4 พื้น แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ พื้นมวลสาร (Mass), พื้นจุดเชื่อมต่อด้วยเหล็ก (Steel Joist) และพื้นโครงไม้และอื่นๆ (Wood Framed and Other)

1.5 พื้นคอนกรีตวางบนดิน (Slab-on-Grade Floors) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ พื้นดินแบบไม่อุ่น (Unheated) และพื้นดินแบบอุ่น (Heated)

1.6 ประตูทึบ (Opaque Doors) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ประตูบานเปิด (Swinging) และประตูที่ไม่ใช่บานเปิด (Non-swinging)

ในส่วนกรอบอาคารทึบแสง หัวข้อผนังและหลังคาจะกำหนดโดยใช้สองค่า คือ ค่า U-factor หรือ ค่า R-value ต่ำสุดของฉนวน

2) ส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง (fenestration) ประกอบด้วย 2 ประเภท ได้แก่

2.1 ผนัง/หน้าต่าง โปร่งแสง (Vertical Fenestration) แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ 1) ไม่มีกรอบวงกบและอื่นๆ (Nonmetal framing, all) 2) แบบกรอบวงกบโลหะปิดตาย (Metal framing, fixed) 3) แบบกรอบวงกบโลหะเปิดได้ (Metal framing, operable) และ 4) แบบประตูทางเข้ากรอบวงกบโลหะ (Metal framing, entrance door)

2.2 ช่องแสงหลังคา (Skylight) ทุกประเภท

ซึ่งทั้ง 2 ประเภทของกรอบอาคารโปร่งแสงจะกำหนดโดยใช้ร้อยละของพื้นที่หน้าต่างต่อผนังทึบ และร้อยละของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่รวมของหลังคา กำหนดโดยใช้ ค่า U-factor และ ค่า SHGC

นอกจากมาตรฐาน 90.1 ที่กล่าวมาข้างต้น ยังพบว่ามีคู่มือการออกแบบอาคารการประหยัดพลังงานอื่นของ ASHRAE ที่ใช้วิธี Prescriptive Method ด้วยเช่นกัน คือ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% และ Advanced Energy Design Guide Achieving 50% สำหรับอาคารที่ต้องการประหยัดพลังงานสูงกว่ามาตรฐานในอดีต ในระดับร้อยละ 30 และระดับร้อยละ 50

โดยคู่มือการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานขั้นสูง (Advanced Energy Design Guide) ระดับประหยัดพลังงานร้อยละ 30 ประกอบไปด้วย 5 ประเภทอาคาร ได้แก่ 1) สำนักงานขนาดเล็ก (Small Office Buildings) (American Society of Heating, 2004) กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 1,800 ตร.ม., 2) โรงเรียน, 3) อาคารสรรพสินค้าขนาดเล็ก (Small Retail Buildings) (American Society of Heating, 2006) กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 1,800 ตร.ม., 4) คลังสินค้าขนาดเล็ก (Small Warehouses and Self-Storage Buildings) (American Society of Heating, 2008) กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 4,600 ตร.ม. และ 5) โรงพยาบาลขนาดเล็กและสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการดูแลสุขภาพ (Small Hospitals and Healthcare Facilities) (American Society of Heating, 2009) กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 8,300 ตร.ม.

ส่วนระดับประหยัดพลังงานร้อยละ 50 ประกอบไปด้วย 5 ประเภทอาคาร ได้แก่ 1) อาคารสำนักงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (Small to Medium Office Buildings) (American Society of Heating, 2011b) กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 9,300 ตร.ม., 2) โรงเรียน, 3) อาคารค้าปลีกขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ (Medium to Big Box Retail Buildings) (American Society of Heating, 2011a) กำหนดพื้นที่อาคารตั้งแต่ 1,800 - 9,300 ตร.ม., 4) ร้านขายของชำ (Grocery Stores) (American Society of Heating, 2015) กำหนดพื้นที่อาคารตั้งแต่ 2,300 - 6,000 ตร.ม. และ 5) โรงพยาบาลขนาดใหญ่ (Large Hospitals) (American Society of Heating, 2012) กำหนดพื้นที่อาคารตั้งแต่ 9,300 ตร.ม.ขึ้นไป ซึ่งข้อรายการที่กำหนดในส่วนของกรอบอาคารทึบแสง และส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง กำหนดค่าคุณสมบัติและชนิดของกรอบอาคาร

โดยในการศึกษาค่าคุณสมบัติและชนิดกรอบอาคาร ของเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% และ Advanced Energy Design Guide Achieving 50% พบว่ารายการกำหนดคล้ายกันกับมาตรฐาน ASHRAE 90.1 ทั้งส่วนกรอบอาคารทึบแสง และส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง

3. เกณฑ์ International Energy Conservation Code

นอกจากเกณฑ์ ASHRAE 90.1 แล้ว ในต่างประเทศยังมีเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงานสากล หรือ International Energy Conservation Code (IECC) (ICC Digital Codes Library, 2018) สร้างขึ้นโดย International Code Council (ICC) เป็นเกณฑ์ที่รับรองโดยหลายรัฐและรัฐบาลแห่งชาติในสหรัฐอเมริกา สำหรับการจัดตั้งข้อกำหนดในการออกแบบอาคารและการก่อสร้างเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากการศึกษาเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงานระหว่างประเทศแบ่งข้อรายการกำหนดออกเป็น 4 หมวด ได้แก่ ข้อกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพสำหรับเปลือกอาคาร, ระบบเครื่องกล, ระบบไฟส่องสว่าง และระบบน้ำร้อน ซึ่งเกณฑ์แบ่งอาคารเป็น 2 ประเภท คือ อาคารเชิงพาณิชย์ และอาคารพักอาศัย

ข้อกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพสำหรับกรอบอาคาร ได้กำหนดเขตภูมิอากาศอากาศออกเป็น 8 เขตภูมิอากาศ คล้ายกับเกณฑ์ ASHRAE 90.1 สำหรับประเทศไทยสอดคล้องกับเขตภูมิอากาศ 1 (Zone 1) ซึ่งการใช้รายการที่กำหนดของกรอบอาคารนั้น เกณฑ์กำหนดให้ต้องมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

- อาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยมากกว่า 50 ตารางเมตร
- มีความจุของระบบทำความร้อนเกิน 5 kW และจุดควบคุมอุณหภูมิที่ จำกัด เกิน 10 ° C
- มีค่าเฉลี่ย U-factor ของผนังและหลังคา มากกว่า 0.20 ในเขตภูมิอากาศ 1 ถึง 5 และมากกว่า 0.12 ในเขตภูมิอากาศ 6 ถึง 8

รายการกำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคารนั้น ประกอบไปด้วย 1) ส่วนทึบแสง และ 2) ส่วนโปร่งแสง โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1) ส่วนกรอบอาคารทึบแสง แบ่งประเภทของกรอบอาคาร ซึ่งแต่ละประเภทแบ่งชนิดเหมือนกับ ASHRAE 90.1 และกำหนดค่าคุณสมบัติให้เลือกออกเป็น 2 แบบ คือ ค่า U-factor (กำหนดค่าผลรวมมากสุด) และ ค่า R-value (กำหนดค่าต่ำสุดของฉนวน)

1.1 หลังคา ประกอบไปด้วย ฉนวนวางต่อเนื่องบนดาดฟ้า (Insulation Entirely above Deck), หลังคาโลหะ (Metal Building) และหลังคาที่มีห้องใต้หลังคาและอื่นๆ (Attic and Other)

1.2 ผนังเหนือดิน ประกอบไปด้วย ผนังมวลสาร (Mass), ผนังโลหะ (Metal Building), ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel Framed), และผนังโครงเคร่าไม้และอื่นๆ (Wood Framed and Other)

โดยผนังมวลสาร (Mass) ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนด คือ

1) ต้องมีน้ำหนักมากกว่า 171 kg/m^2

2) ต้องมีน้ำหนักมากกว่า 122 kg/m^2 ของพื้นที่ผนัง ที่วัสดุน้ำหนักไม่เกิน 1900 kg/m^3

3) มีความจุความร้อนมากกว่า 144 kJ/m^2K

4) มีความจุความร้อนมากกว่า 103 kJ/m^2K ของพื้นที่ผนัง ที่วัสดุน้ำหนักไม่เกิน 1900 kg/m^3

1.3 ผนังใต้ดิน (Wall, below Grade)

1.4 พื้น ประกอบไปด้วย พื้นมวลสาร (Mass), พื้นจุดเชื่อมต่อหรือพื้นโครงไม้ (Joist/framing)

1.5 พื้นคอนกรีตวางบนดิน (Slab-on-Grade Floors) ประกอบไปด้วย พื้นดินแบบไม่อุ่น (Unheated) และพื้นดินแบบอุ่น (Heated)

1.6 ประตูทึบ (Opaque Doors) ประกอบไปด้วย ประตูบานเปิด (Swinging), ประตูที่ไม่ใช่บานเปิด (Non-swinging) และประตูโรงรถ

2) ส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- ผนังโปร่งแสงแนวตั้ง (Vertical Fenestration)

กำหนดให้อัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่าง ต่อพื้นที่ผนัง (WWR) สามารถมีได้ไม่เกินร้อยละ 30 ของผนังทั้งหมด แต่ในเขตภูมิอากาศ 1-6 สามารถมี WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ตามเกณฑ์กำหนดและมีค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Light to solar gain; LSG) ไม่น้อยกว่า 1.1 ซึ่งค่าคุณสมบัติที่เกณฑ์กำหนดของผนังโปร่งแสงมี 2 ค่า คือ ค่า U-factor และ SHGC มีรายละเอียดดังนี้

- ค่า U-factor กำหนดชนิดของผนังโปร่งแสงประกอบไปด้วย ช่องแสงปิดตาย, ช่องแสงเปิดได้ และประตูภายนอกอาคาร

- ค่า SHGC กำหนดตามทิศที่ถูกกระทำกับผนังโปร่งแสงแนวตั้งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ 1. อยู่ภายใน 45 องศา ของทิศเหนือ และ 2. ทิศอื่น ๆ

1. หลังคาโปร่งแสง (Skylight)

กำหนดให้อัตราส่วนของพื้นที่หลังคาโปร่งแสง ต่อพื้นที่หลังคาทึบ (SRR) สามารถมีได้ไม่เกินร้อยละ 3 ของหลังคาทั้งหมด โดยค่าคุณสมบัติที่เกณฑ์กำหนดคือ ค่า U-factor และ SHGC

จากการศึกษาพบว่าเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงานสากล หรือ International Energy Conservation Code (IECC) กำหนดรูปแบบเกณฑ์ประเมินฯตามรายการที่กำหนด คล้ายกับ ASHRAE 90.1 ทั้งประเภทของกรอบอาคาร (ส่วนกรอบอาคารทึบแสง และกรอบอาคารโปร่งแสง) และการกำหนดค่า U-factor, R-value ของฉนวน และ SHGC

เกณฑ์ประเมินประเมินประสิทธิภาพพลังงานทั้ง 3 เกณฑ์ ได้แก่ ASHRAE 90.1, Advanced Energy Design Guide และ International Energy Conservation Code (IECC) กำหนดชนิดของกรอบอาคารในส่วนกรอบอาคารทึบแสง คล้ายกันทั้งประเภท หลังคา และผนังเหนือดิน โดยรายการที่กำหนดของคุณสมบัติกรอบอาคารทึบแสง ใช้ค่า U-factor ของผนัง หรือ R-value ของฉนวน ซึ่งส่วนผนังใต้ดิน, พื้น, พื้นวางบนดิน และประตู ไม่ได้อยู่ในการคำนวณการผ่านเกณฑ์ OTTV และ RTTV ของกฎกระทรวงพลังงาน จึงไม่นำมาวิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้

ส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง ทั้ง 3 เกณฑ์กำหนดเช่นเดียวกัน ทั้ง ช่องแสงแนวตั้ง และหลังคาโปร่งแสง โดยรายการที่กำหนดของคุณสมบัติกรอบอาคารโปร่งแสง กำหนด อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR), อัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR), ค่า U-factor ของหน้าต่างและช่องแสง, ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และ ค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย (LSG)

4. เกณฑ์ BCA Green Mark

ประเทศสิงคโปร์ โดย The Building and Construction Authority (BCA) เป็นหน่วยงานตามกฎหมายภายใต้กระทรวงการพัฒนาแห่งชาติของรัฐบาล โดยควบคุมอุตสาหกรรมอาคารและการก่อสร้างของสิงคโปร์ ได้กำหนดเกณฑ์ BCA Green Mark ขึ้นเพื่อส่งเสริมความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมในภาคการก่อสร้างและอสังหาริมทรัพย์

เกณฑ์ BCA Green Mark 2015 (ฉบับแก้ไข 2018) (Building and Construction Authority (BCA), 2015) ประกอบไปด้วย 5 หัวข้อหลัก คือ 1. การออกแบบที่ตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศ (Climatic Responsive Design), 2. ประสิทธิภาพพลังงานอาคาร (Building Energy Performance), 3. การดูแลทรัพยากร (Resource Stewardship), 4. อาคารอัจฉริยะและสุขภาพ (Smart and Healthy Building) และ 5. อาคารเขียวขั้นสูง (Advanced Green Efforts)

หัวข้อที่ทำการศึกษาคือ การออกแบบที่ตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศ (Climatic Responsive Design) ในเรื่อง ข้อรายการที่กำหนดของกรอบอาคารเขตร้อน (Tropical Façade Performance) กำหนดอาคาร 2 ประเภทคือ อาคารอุตสาหกรรมและอาคารอื่น ๆ ซึ่งรายการที่กำหนดแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 แบบ คือ 1) แบบการจำลอง (Simulation method) และ 2) แบบรายการที่กำหนด (Non Simulation Checklist)

1) แบบการจำลอง (Simulation method) โดยมีข้อรายการที่กำหนดของค่าคุณสมบัติกรอบอาคาร ได้แก่ 1. หน้าต่าง , 2. ผนังด้านนอก, 3. กรอบอาคารทั้งหมด, 4. อัตราส่วนของพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อผนังทึบ (WWR), 5. ผลรวมสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสงกับสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SC1 x SC2), 6. หลังคา, 7. หลังคาโปร่งแสง และ 8. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

2) แบบรายการที่กำหนด (Non-Simulation Checklist) โดยมีข้อรายการที่กำหนดของค่าคุณสมบัติกรอบอาคาร ได้แก่ 1. กรอบอาคาร , 2. อัตราส่วนของพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อผนังทึบ (WWR) (แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก และกรณีทิศอื่น ๆ), 3. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสง (SC1), 4. สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SC2), 5. หลังคา และ 6. หลังคาโปร่งแสง

โดยในการศึกษาแบบการจำลองและแบบข้อรายการที่กำหนดของเกณฑ์ BCA Green Mark 2015 (ฉบับแก้ไข 2018) ค่าคุณสมบัติของกรอบอาคาร ประเภทผนังด้านนอก และหลังคา กำหนดใช้ค่า U-value เพียงอย่างเดียว ซึ่งต่างจากเกณฑ์ ASHRAE 90.1 และ International Energy Conservation Code (IECC) ที่สามารถเลือกใช้ได้ทั้ง U-factor และ R-value ของฉนวน รวมถึงเกณฑ์ BCA Green Mark 2015 ไม่ได้แยกชนิดของกรอบอาคารแต่ละประเภท เพียงแต่กำหนดหัวข้อของกรอบอาคารเท่านั้น

เปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคาร

จากการทวบทวนเอกสารเกณฑ์ Prescriptive Option จากทั้ง 4 เกณฑ์ ได้กำหนดประเภทและค่าคุณสมบัติของกรอบอาคารเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ส่วนของกรอบอาคารทึบแสง และ 2) ส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง

1) ส่วนของกรอบอาคาร ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ 1. หลังคา และ 2. ผนังด้านนอกอาคาร คุณสมบัติโดยใช้ค่าความต้านทานของฉนวนภายในผนังและหลังคา (R) หรือใช้ค่าความถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา

2) ส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง จะกำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคารโดยใช้ อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR), อัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR), ค่าความการถ่ายเท

ความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงและหลังคาโปร่งแสง (U_f &U_s) และค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) เป็นต้น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินทั้ง 4 ดังตารางต่อไปนี้

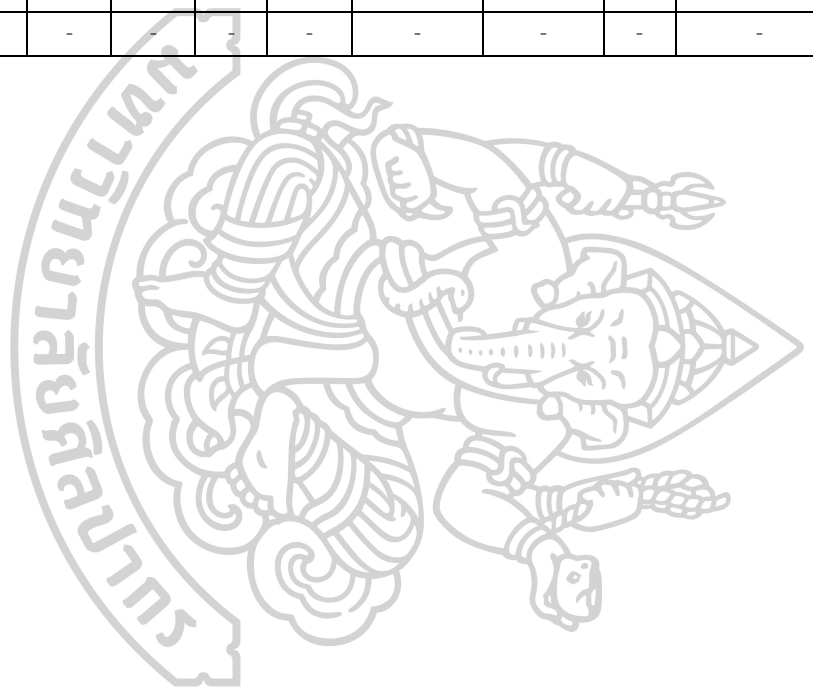
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคาร ส่วนทึบแสง (ระบบหน่วย SI)

Standard / Elements	ASHRAE Standard 90.1-2016				Advanced Energy Design Guide (Zone1)																IECC		BCA Green Mark				คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ			
	Zone 0		Zone 1		Achieving 30%								Achieving 50%								Zone 1		Simulation method		Non-Simulation Checklist		สำหรับอาคารสาธารณะ			
	Nonresidential				Small Office		School		Small Retail		Small Hospital		Small to Medium Office		School		Medium to Big Retail		Large Hospital		Commercial buildings		ndustrial Buildings	Other building types	ndustrial Buildings	Other building types	Office, School & Retail		Hospital & Hotel	
	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -factor	R -value	U -value	U -value	U -value	U -value	U-value	R -value	U -value	R -value
Roof																														
Insulation Entirely Above Deck	0.22	4.4	0.273	3.5	0.36	2.7	0.22	4.4	0.36	2.7	0.22	4.4	0.28	3.53	0.28	3.53	0.28	3.53	0.28	3.53	0.22	4.4	1.1	0.8	1.0	0.8	-	2.6	-	1.3
Metal Building	0.233	1.8+ 3.3	0.233	1.8+ 3.3	0.37	3.4	0.37	3.4	0.37	3.4	-	-	0.23	3.4 + 1.8	0.23	3.4 + 1.8	0.23	3.4 + 1.8	-	-	0.20	1.9 + 3.4								
Attic and Other	0.153	6.7	0.153	6.7	0.20	5.3	0.20	5.3	0.20	5.3	-	-	0.15	6.72	0.15	6.72	-	-	-	-	0.16	6.7								
Wall																														
Mass	3.293	NR	3.293	NR	NR	0.87	1.0	NR	0.87	1.0	0.87	1.0	0.87	1.0	NR	0.87	1.0	0.87	1.0				1.5	0.7	-	-	1.0	-	1.0	-
Metal Building	0.533	0 +1.7	0.533	0 +1.7	0.65	2.3	0.53	2.8	0.65	2.3	-	-	0.54	0 +1.7	0.54	0 +1.7	0.54	0 +1.7	-	-	0.45	2.3 +1.1								
Steel Framed	0.705	2.3	0.705	2.3	0.71	2.3	0.71	2.3	0.71	2.3	0.37	2.3 +1.3	0.37	2.3 + 2.3	0.37	2.3+ 2.3	0.37	2.3 + 2.3	0.37	2.3 + 2.3	0.44	2.3 + 0.9								
Wood Framed and Other	0.504	2.3	0.504	2.3	0.51	2.3	0.51	2.3	0.51	2.3	-	-	0.51	2.3	0.51	2.3	-	-	-	-	0.37	2.3 +0.7								

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคาร ส่วนโปร่งแสง (ระบบหน่วย SI)

Standard / Elements	ASHRAE Standard 90.1-2016		Advanced Energy Design Guide (Zone1)								IECC	BCA Green Mark				คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ	
	Zone 0	Zone 1	Achieving 30%				Achieving 50%				Zone 1	Simulation method		Non-Simulation Checklist		สำหรับอาคารสาธารณะ	
	Nonresidential		Small Office	School	Small Retail	Small Hospital	Small to Medium Office	School	Medium to Big Retail	Large Hospital	Commercial buildings	Industrial Buildings	Other building types	Industrial Buildings	Other building types	Office, School & Retail	Hospital & Hotel
Vertical Fenestration																	
WWR	0 – 0.4		0.2–0.4	≤ 0.35	≤ 0.40	≤ 0.40	0.2 – 0.4	(FFR) E-W=0.05, N-S=0.07	-	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.2	≤ 0.4 (E,W ≤ 0.3)	≤ 0.35	≤ 0.30
U (fenestration)	Nonmetal framing, all ≤ 1.82, Metal framing ≤ 2.84, fixed Metal framing ≤ 3.69 operable Metal framing, entrance door ≤ 4.71	Nonmetal framing, all ≤ 2.84, Metal framing ≤ 3.24, fixed Metal framing ≤ 3.69 operable Metal framing, entrance door ≤ 6.25	≤ 3.21	≤ 3.21	≤ 3.97	≤ 2.47	Nonmetal framing ≤ 3.21, Metal framing ≤ 3.7	Nonmetal framing ≤ 3.21, Metal framing ≤ 3.7	≤ 6.90	Nonmetal framing ≤ 3.21, Metal framing ≤ 3.7	Fixed fenestration ≤ 2.87 Operable fenestration ≤ 3.45 Entrance door ≤ 6.32	≤ 5.4	≤ 2.8	-	-	ใช้หน้าต่างกระจก 2 ชั้น (double glazing) หรือมากกว่า หรือใช้กระจก Low-E	
SHGC	≤ 0.22	≤ 0.25	N,S,E,W ≤ 0.35 N only ≤ 0.49	≤ 0.25	≤ 0.44	≤ 0.26	Nonmetal framing ≤0.25, Metal framing ≤0.25	E-W ≤ 0.25 N ≤ 0.62	≤ 0.25	Nonmetal framing ≤0.25, Metal framing ≤0.25	S,E,W ≤ 0.25 – 0.40 N ≤ 0.33 – 0.40	≤ 0.6 (SC_1 x SC_2)	≤ 0.4 (SC_1 x SC_2)	≤ 0.5	≤ 0.4	≤ 0.65	≤ 0.65
LSG	≥ 1.10	≥ 1.10	-	-	-	-	-	-	-	≥ 1.5	-	-	-	-	-	-	-
Skylight																	
SRR	0 – 0.03		≤ 0.03	-	≤ 0.03	≤ 0.03	-	-	-	-	≤ 0.03	-	-	-	-	≤ 0.02	≤ 0.02

U (Skylight)	≤ 4.26	≤ 4.26	≤ 7.8	-	≤ 7.8	≤ 4.3	-	-	-	-	≤ 4.31	≤ 4.3	≤ 2.2	-	-	-	-
SHGC	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.19	-	≤ 0.19	≤ 0.35	-	-	-	-	≤ 0.35	-	-	-	-	-	-
LSG	NR	NR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



จากการกำหนดคุณสมบัติของเกณฑ์ที่กล่าวมานั้น ตรงกับกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน และจากการค้นคว้าพบว่าประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงาน มีการรับรองมาตรฐานวัสดุประหยัดพลังงาน ที่ได้กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคาร เช่น ค่า R-value ของอิฐมวลเบาและฉนวน, ค่า SHGC และ LSG ของกระจก เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินฯตามรายการที่กำหนด

วัสดุที่ได้การรับรองมาตรฐานการประหยัดพลังงาน

ในปัจจุบันกระทรวงพลังงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้จัดทำมาตรฐานวัสดุประหยัดพลังงานหลายชนิด โดยการให้ฉลากประสิทธิภาพสูง หรือฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 (ก. กระทรวงพลังงาน) ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงต้องหาความเป็นไปได้ ที่จะระบุคุณสมบัติ โดยการใช้ฉลากประหยัดพลังงาน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงานต้องปฏิบัติตามเกณฑ์ ดังนี้

1. ฉนวนใยแก้วประสิทธิภาพสูง

ฉนวนใยแก้ว เป็นวัสดุกันความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคารทางหลังคา ช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศให้น้อยลง ซึ่งฉนวนใยแก้วที่ได้รับฉลากฯจะต้องเป็นชนิดแผ่นเรียบเท่านั้น ฉนวนจะต้องมีค่าความต้านทานความร้อน (R-value) ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 $m^{2o}C/W$

2. กระจก

การเลือกใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยลดความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ที่ส่องผ่านเข้ามาในอาคาร ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

การได้ฉลากประสิทธิภาพสูง จะพิจารณาใน 2 ส่วนได้แก่ ค่าสัมประสิทธิการส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC) และค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Light to solar gain; LGS) โดยกำหนดค่าประสิทธิภาพตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 7 ค่าประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงานของกระจก

ค่าสัมประสิทธิการส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC)	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.55
ค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อ สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Light to solar gain; LGS)	มากกว่าหรือเท่ากับ 1.20

3. คอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบาที่ได้รับฉลากประสิทธิภาพสูงจะต้องเป็นคอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีขนาดเดียวกัน เหมาะสำหรับใช้ก่อผนัง มีขนาดความหนา 75 หรือ 100 มิลลิเมตร ค่าประสิทธิภาพของคอนกรีตมวลเบา ที่ได้ฉลากประสิทธิภาพสูงต้องมีค่าความต้านทานความร้อนตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 8 ค่าประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงานของคอนกรีตมวลเบา

ขนาดความหนา (มิลลิเมตร)	**ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2{}^oC/W$)**
75	มากกว่าหรือเท่ากับ 0.58
100	มากกว่าหรือเท่ากับ 0.77

4. หลังคากระเบื้อง

ชนิดหลังคากระเบื้องที่ให้ฉลากประสิทธิภาพสูง ได้แก่ 4.1) กระเบื้องคอนกรีต (concrete tile), 4.2) กระเบื้องดินเผา (clay tile), และ 4.3) กระเบื้องซีเมนต์เส้นใย (fiber cement tile)

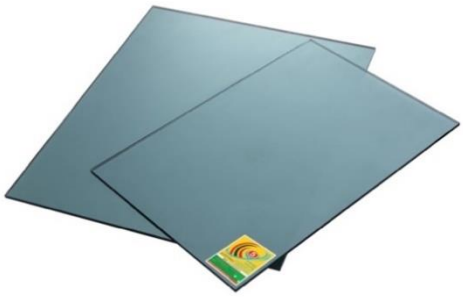
4.1 กระเบื้องคอนกรีต หมายถึง วัสดุซึ่งทำจาก คอนกรีตซึ่งเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ มวลผสมคอนกรีต และน้ำ

4.2 กระเบื้องดินเผา หมายถึง วัสดุซึ่งทาจาก ดินผสมวัสดุอื่นนำไปอัดเป็นรูปกระเบื้องขนาดต่าง ๆ แล้วนำไปเผา มีทั้งชนิดชนิดเคลือบและไม่เคลือบ

4.3 กระเบื้องซีเมนต์เส้นใย หมายถึง วัสดุที่ทำจากเส้นใยที่ได้จากสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ ปูนซีเมนต์ และน้ำ มีลักษณะเป็นแผ่นสำหรับใช้ในการก่อสร้างทั่วไปหรือทำเครื่องอุปโภค

โดยค่าประสิทธิภาพพลังงานของหลังคากระเบื้อง ต้องมีค่าการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ (solar radiation reflectance) มากกว่าหรือ เท่ากับร้อยละ 45

(ก)



(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4 ภาพวัสดุกรอบอาคารที่ได้ฉลากประหยัดพลังงาน

(ก) ฉนวนใยแก้ว (ข) กระจก (ค) คอนกรีตมวลเบา (ง) หลังคากระเบื้อง

ที่มา : (ก. กระทรวงพลังงาน)

จากการศึกษาวัสดุที่ได้ฉลากประสิทธิภาพสูง สามารถนำไปประกอบเป็นแนวทางการพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพกรอบอาคาร โดยการคำนวณจากค่า U หรือ ค่า R จากวัสดุจริงที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน จึงจะสามารถเป็นกรอบของการออกแบบอาคารได้

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯในประเทศ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการพัฒนาเกณฑ์ประเมินฯ พบว่า มีงานวิจัยที่ศึกษาที่เกี่ยวกับการสร้างเกณฑ์การประเมินด้านพลังงาน สำหรับอาคารต่าง ๆ ในประเทศไทย ในส่วนกรอบอาคาร โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์ และคณะ (Chirarattananon, Rakwamsuk, Hien, & Taweekun, 2004) ได้วิจัยเรื่องการพัฒนาเกณฑ์การมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารใหม่ในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์คือศึกษากณฑ์การมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน เพื่อพัฒนาเกณฑ์ประเมินฯใหม่สำหรับอาคารสร้างใหม่ ในการศึกษาได้ใช้มาตรฐานจากเกณฑ์ BEC รวมถึงค่าการผ่านเกณฑ์ OTTV ซึ่งในการวิเคราะห์กำหนดรูปทรงอาคารเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทั้ง 4 ทิศ (ทิศเหนือ, ทิศตะวันออก , ทิศใต้ และทิศตะวันตก) และกำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคารทั้งผนังทึบแสงและกระจก

จากการวิจัยสามารถสรุปคุณสมบัติกรอบอาคารที่สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV โดยใช้ผนังทึบชนิดติดตั้งฉนวนกันความร้อน PE Foam ซึ่งแบ่งกระจกได้ 2 แบบ ได้แก่

1) กระจกสะท้อนความร้อน สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ที่อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 30

2) กระจก Low-E 2 ชั้น สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ที่อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 50

นอกจากนั้น กาญจนา ปะทะนมปีย์ (กาญจนา ปะทะนมปีย์, 2557) ได้วิจัยในเรื่องการศึกษาแนวทางการสร้างเกณฑ์การประเมินด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อม สำหรับโรงเรียนในประเทศไทย โดยมีจุดประสงค์คือ การศึกษาเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินโรงเรียนของต่างประเทศและแบบอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศ และการพัฒนาเกณฑ์ประเมินด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงเรียนในประเทศไทย ซึ่งในงานวิจัยได้นำคู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและฉลากประสิทธิภาพสูง กระทรวงพลังงาน ประกอบการทำวิจัย โดยได้ศึกษาจากการเปรียบเทียบอาคารเรียน 2 อาคาร รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า หลังคารูปทรงปั้นหยา โดยแบ่งผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องคือประเด็นเรื่อง การออกแบบเปลือกอาคารและการใช้วัสดุก่อสร้าง กำหนดให้

1) ผนัง : ควรออกแบบให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (U-value) ต่ำ เช่น ผนังก่ออิฐมวลเบา หรือมีการเพิ่มฉนวนกับความร้อน

2) หลังคา : ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่มีค่าต้านทานความร้อน (R) มากกว่า 1.25 $m^{2o}C/W$ ตามเกณฑ์มาตรฐานของฉลากประสิทธิภาพสูงของกระทรวงพลังงาน โดยติดตั้งบริเวณเหนือฝ้าเพดานในชั้นบนสุดของอาคาร

3) ประตู, หน้าต่าง, ช่องระบายอากาศ : ควรออกแบบให้มากกว่าร้อยละ 10 และไม่เกินร้อยละ 25 ตามแบบประเมินของ TEEAM

4) การเลือกใช้ประจก : ควรมีค่า SHGC อยู่ระหว่าง 0.3 - 0.55 และค่า LSG อยู่ระหว่าง 1.20 - 1.60 ตามกำหนดฉลากกระจกประสิทธิภาพสูง กระทรวงพลังงาน ในกรณีที่มีการปรับอากาศ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประสิทธิภาพวัสดุของกรอบอาคาร ได้แก่ สวิชญา ดาวประกายมงคล (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2555) ได้ศึกษาเรื่องแนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยมีวัตถุประสงค์คือวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของกระจกประเภทต่าง ๆ สำหรับแนวทางในการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงาน โดยมีค่า OTTV สอดคล้องกับกฎกระทรวง ซึ่งงานวิจัยศึกษาเฉพาะอาคารสำนักงานปรับอากาศขนาดใหญ่ที่มีความสูงเกิน 23 เมตร และมีพื้นที่มากกว่า 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป โดยผลการวิจัยได้กำหนดรายละเอียดของผนังทึบและกระจก ดังนี้

1) ผนังทึบ ใช้ระบบ Curtain Wall โดยมีองค์ประกอบคือ (1) แผ่นอลูมิเนียมสำเร็จรูป หนา 4 มม., (2) ช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร หนา 100 มม., (3) ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ความหนาแน่น 24 Kg/m^3 และ (4) แผ่นผนังยิปซั่มสำเร็จรูปหนา 12 มม. โดยมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U-value) เท่ากับ 0.413 และอาคารทุกด้านมีพื้นที่เท่ากันทุกทิศ (4 ทิศ) และมีคุณลักษณะเหมือนกัน

2) ผนังกระจก เป็นระบบ Curtain Wall ตั้งฉากที่กำหนด WWR ในอัตราส่วนร้อยละ 80, 60, 40 และ 20 ซึ่งกำหนดให้ไม่มีอุปกรณ์บังแดดทั้งภายในและนอกอาคาร และผนังกระจกทุกด้านมีพื้นที่เท่ากัน โดยเลือกใช้กระจก 5 ชนิด ได้แก่

1. กระจกลามิเนตสีเขียวธรรมดา หนา 12.76 มม. คุณสมบัติกระจกมีค่า U=5.52 W/m^2C, SHGC=0.522, LSG=1.36 และ VT=71%

2. กระจกลามิเนตสีเขียว Hard Coated Low-E หนา 12.76 มม. คุณสมบัติกระจกมีค่า U=3.69 W/m^2C, SHGC=0.45, LSG=1.46 และ VT=66%

3. กระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง หนา 12.76 มม. คุณสมบัติกระจกมีค่า U=5.52 W/m^2C, SHGC=0.30, LSG=0.7 และ VT=21%

4. กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low-E ใส่ก๊าซอาร์กอน หนา 30.76 มม. คุณสมบัติกระจกมีค่า U=1.46 W/m^{2}C, SHGC=0.34, LSG=1.71 และ VT=58%

5. กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 มม. คุณสมบัติกระจกมีค่า U=1.56 W/m^{2}C, SHGC=0.21, LSG=1.67 และ VT=35%

จากการวิเคราะห์สรุปได้ว่าการใช้กระจกชนิดที่ 5 กระจกลามิเนตอินซูเลต สีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low-E สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ต่ำกว่ากฎหมาย ที่สัดส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 80 ในขณะที่กระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสาร Low-E ใส่ก๊าซอาร์กอน และกระจกลามิเนตสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ที่สัดส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ส่วนกระจกลามิเนตสีเขียว Hard Coated Low-E สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV เมื่อมี WWR เพียงไม่เกินร้อยละ 20 ของผนังอาคารทั้งหมด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินฯในต่างประเทศ

ในต่างประเทศมีวิจัยเกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินฯตามรายการที่กำหนด ของต่างประเทศ เช่น Rachel Young (Young, 2014) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน ใน 15 ประเทศ ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับในการประเมินอาคาร ทั้งอาคารพาณิชย์และอาคารพักอาศัย ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา, สหราชอาณาจักร, จีน, ญี่ปุ่น, เยอรมัน, ฝรั่งเศส, บราซิล, อิตาลี, อินเดีย, รัสเซีย, แคนาดา, ออสเตรเลีย, เม็กซิโก, สเปน และเกาหลีใต้ เพื่อประเมินประสิทธิภาพระดับความเข้มของข้อกำหนดเกณฑ์ประเมินพลังงานแต่ละประเทศ และแนวทางการปฏิบัติที่สอดคล้องกัน ซึ่งพบว่า ประเภทอาคารพาณิชย์ในประเทศส่วนใหญ่ กำหนดค่า R-value ของฉนวน ในส่วนกรอบอาคาร จำนวน 14 ประเทศ ยกเว้นบราซิล และประเทศที่กำหนดค่า U-value ของกระจก กับค่า SHGC มีจำนวน 12 ประเทศ

ส่วน Meredydd Evans, Volha Roshchanka และ Peter Graham (Evans, Roshchanka, & Graham, 2017) ได้ศึกษาการสร้างเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (building energy codes) ของแต่ละประเทศใน 22 ประเทศและการนำไปปฏิบัติ ซึ่งมีความคล้ายกับงานวิจัยข้างต้นของ Rachel Young โดยศึกษาเปรียบเทียบในเรื่องการกำหนดมาตรฐานของแต่ละเกณฑ์, การทดสอบและการติดฉลากวัสดุก่อสร้าง และอื่นๆ พบว่าเกณฑ์ของแต่ละประเทศส่วนใหญ่กำหนดพื้นที่อาคารมากกว่า 2,000 ตร.ม. สำหรับอาคารประเภทพาณิชยกรรม และวัสดุที่ได้รับ

ฉลากประหยัดพลังงาน คือ หน้าต่าง, ประตู, หลังคา และฉนวนกันความร้อน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเกณฑ์ BEC ของประเทศไทย

งานวิจัยของ Zahid Usman และ Khalid Ibrahim (Usman & Ibrahim, 2018) ได้การวิเคราะห์เปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานอาคารของอาคารปากีสถาน อินเดีย และสหรัฐอเมริกา พบว่าทั้ง 3 ประเทศได้กำหนดประเภทสัมประสิทธิ์คุณสมบัติของกรอบอาคารที่เหมือนกัน คือ 1. U-factor ของ หลังคา, ผนัง และหน้าต่าง 2. SHGC ของหน้าต่าง 3. อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ส่วน U-factor ของประตูและช่องแสงหลังคา กำหนดเฉพาะอินเดีย และสหรัฐอเมริกา ยกเว้นปากีสถานไม่ได้กำหนด

นอกจากนี้การกำหนดพื้นที่เขตภูมิอากาศของปากีสถานกำหนด 1 เขตภูมิอากาศ โดยตรงกับเขตภูมิอากาศ 1 (Climate Zone 1) ของสหรัฐอเมริกา (Standard 90.1) ซึ่งคล้ายกับประเทศไทยที่ถูกกำหนดในเขตเดียวกัน

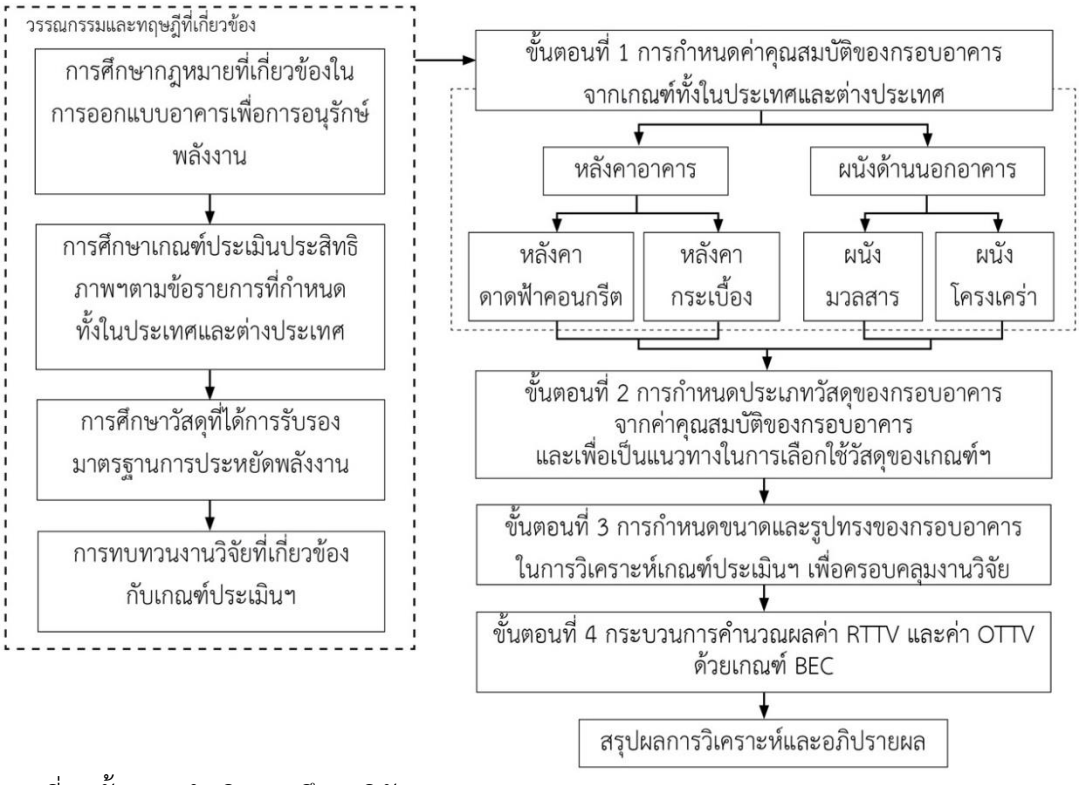
การศึกษาในการทบทวนเอกสารและงานวิจัยข้างต้นสรุปได้ว่าเกณฑ์การประเมินฯอาคารประหยัดพลังงานในต่างประเทศส่วนใหญ่ แบ่งประเภทอาคารออกเป็นอาคารพักอาศัยและอาคารพาณิชยกรรม หรืออาคารอุตสาหกรรม เป็นต้น และกำหนดการประเมินฯอย่างน้อย 2 วิธี คือ Prescriptive Method และ Simulation Method ซึ่ง Prescriptive Method กำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคาร ได้แก่ ค่า R-value ของฉนวนทั้งผนังและหลังคา, ค่า U ของผนังทึบ, ค่า U ของกระจก, ค่า SHGC และอัตราส่วน WWR เป็นต้น โดยเฉพาะผนังทึบแบ่งเป็นประเภทผนังมวลสารและไม่เป็นมวลสาร แต่บางเกณฑ์ไม่มีการแบ่งชนิดผนัง เช่น เกณฑ์ BCA Green Mark เป็นต้น

จากการทบทวนเอกสารทั้งกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน เกณฑ์ประเมินฯ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวมานั้นนำไปสู่การสร้างเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนดสำหรับประเทศไทย โดยการกำหนดค่าคุณสมบัติจากการทบทวนเกณฑ์ฯต่าง ๆ ที่ผ่านมา ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดขนาดพื้นที่ของอาคารตามที่กฎหมายกำหนด คือ 2,000 ตารางเมตร ทั้ง 9 ประเภทอาคารตามเกณฑ์ BEC รวมถึงแนวทางการเลือกใช้วัสดุในการออกแบบ พร้อมกับการนำวัสดุที่ได้ฉลากประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน เบอร์ 5 กระทรวงพลังงาน มาใช้ในการกำหนดประเภทวัสดุของกรอบอาคาร และสุดท้ายจะนำไปสู่การวิเคราะห์ผลการคำนวณในการผ่านเกณฑ์ OTTV และ RTTV ของกฎหมายอนุรักษ์พลังงานในบทต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด (Prescriptive Method) โดยทำการเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินฯทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อกำหนดค่าความต้านทานความร้อน (R), ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U_w), ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงหรือกระจก (U_f), ค่าการถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก (SHGC), อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) และอัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR) ซึ่งนำไปคำนวณผลโดยเกณฑ์ BEC จากนั้นเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการผ่านเกณฑ์ของกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน

หลังจากนั้นจึงสามารถกำหนดคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ การถ่ายเทความร้อนของผนังกระจก/หน้าต่าง สัดส่วนพื้นที่หน้าต่าง การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังกระจก/หน้าต่าง เป็นต้น โดยการศึกษาในขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 5 ขั้นตอนดำเนินการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าคุณสมบัติของกรอบอาคาร

จากการการศึกษาเกณฑ์การประเมินฯตามรายการที่กำหนดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ได้แก่ คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ, ASHRAE Standard 90.1 (2016), Advanced Energy Design Guide (Achieving 30% and Achieving 50%), International Energy Conservation Code (IECC) และ BCA Green Mark รวมไปถึงฉลากประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกระทรวงพลังงาน โดยสามารถนำมาคัดเลือกค่าคุณสมบัติกรอบอาคาร ซึ่งแบ่งประเภทของกรอบอาคารจากการทบทวนวิจัยที่เกี่ยวข้องและให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงพลังงานนั้น ได้แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ 1. หลังคาอาคาร และ 2. ผนังด้านนอกอาคาร

โดยค่าคุณสมบัติของหลังคา ประกอบไปด้วย ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R), อัตราส่วนพื้นที่ช่องแสง ต่อพื้นที่หลังคา (SRR), ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาโปร่งแสง (U_s) และสัมประสิทธิ์การบังแดดกระจก (SC หรือ SHGC) ส่วนค่าคุณสมบัติของผนังด้านนอก ประกอบไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U_w), อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่าง ต่อพื้นที่ผนัง (WWR), ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสง (U_f) และ สัมประสิทธิ์การบังแดดกระจก (SC หรือ SHGC) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. หลังคาอาคาร

จากเกณฑ์ที่ศึกษาค่าคุณสมบัติของหลังคาอาคารจะกำหนดเป็นค่า R-value ของฉนวนกันความร้อน โดยประเภทหลังคาจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs) และหลังคากระเบื้อง (Pitched roof) เนื่องจากหลังคากระเบื้องมีความลาดชันจึงแบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 กรณี คือ ความลาดชัน 45 องศา, 30 องศา และ 15 องศา ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดค่า R-value ของฉนวนดังนี้

1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs) ซึ่งกำหนดค่า R-value เป็น 4 ระดับ คือ

1) ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ของกระทรวงพลังงาน มีค่า R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบบที่ 1 ค่า R-value ≥ 2.6 $m^{2o}C/W$

3) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบบที่ 2 ค่า R-value ≥ 3.9 $m^{2o}C/W$

4) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016, เกณฑ์ IECC และ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% ฉนวนวางต่อเนื่องบนดาดฟ้า (Insulation Entirely above Deck) กำหนดค่า R-value ≥ 4.4 $m^{2\circ}C/W$

1.2 หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) กำหนดค่า R-value เป็น 4 ระดับ คือ

1) ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ของกระทรวงพลังงาน ค่า R-value ≥ 1.25 $m^{2\circ}C/W$

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบบที่ 1 ค่า R-value ≥ 2.6 $m^{2\circ}C/W$

3) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบบที่ 2 ค่า R-value ≥ 3.9 $m^{2\circ}C/W$

4) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 และเกณฑ์ IECC ประเภทหลังคาที่มีห้องใต้หลังคาและอื่นๆ (Attic and Other) กำหนดค่า R-value ≥ 6.7 $m^{2\circ}C/W$

ซึ่งหลังคาจะแบ่งการทดสอบเป็นหลังคาที่ไม่มีช่องแสงและมีช่องแสง (skylight) โดยกำหนดให้ทดสอบกับกระจก 2 ประเภท คือ กระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น Low-E ที่ได้รับฉลากประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน ซึ่งมีค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.55 จำนวนทั้งหมด 5 ชนิด แสดงดังตารางที่ 18 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 จำนวน 2 แบบ คือ

a) กระจกชนิดที่ 1 กระจก AGC - โฟลตสีตัดแสง Energy Green หนา 6 mm. มีค่า U กระจก = 5.74 $W/m^{2\circ}C$, ค่า SHGC = 0.47 และค่า LSG = 1.28

b) กระจกชนิดที่ 2 กระจก AGC - Sunergy Green หนา 6 mm. มีค่า U กระจก = 3.30 $W/m^{2\circ}C$, ค่า SHGC = 0.42 และค่า LSG = 1.34

- กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 จำนวน 3 แบบ คือ

c) กระจกชนิดที่ 3 กระจก AGC - Pair TAG-BLUE GREEN หนา 24 mm. มีค่า U กระจก = 2.58 $W/m^{2\circ}C$, ค่า SHGC = 0.35 และค่า LSG = 1.55

d) กระจกชนิดที่ 4 กระจก AGC - Stopray Vision หนา 24 mm. มีค่า U กระจก = 1.60 $W/m^{2\circ}C$, ค่า SHGC = 0.30 และค่า LSG = 1.63

e) กระจกชนิดที่ 5 กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้า เคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 mm. มีค่า U กระจก = 1.56 $W/m^{2\circ}C$, ค่า SHGC = 0.21 และค่า LSG = 1.67 (อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในการทดสอบหลังคาอาคาร

ชนิดกระจก			U กระจก ($W/m^{2\circ}C$)	SHGC	LSG
กระจกชั้นเดียว	a	กระจกโฟลตสีตัดแสง Energy Green หนา 6 mm.	5.74	0.47	1.28
	b	Sunergy Green หนา 6 mm.	3.30	0.42	1.34
กระจก 2 ชั้น Low-E	c	PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 mm.	2.58	0.35	1.55
	d	Stopray Vision หนา 24 mm.	1.60	0.30	1.63
	e	กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้า เคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 mm.	1.56	0.21	1.67

2. ผนังด้านนอกอาคาร

สำหรับข้อกำหนดที่สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ได้ จะเริ่มจากการกำหนดค่า WWR ตามผลการทบทวนเอกสารข้างต้นแบ่งเป็น 2 แบบ คือ 1) WWR เท่ากับ 0.4 และ 2) WWR เท่ากับ 0.35 ซึ่งมีค่า U ของผนังทึบที่ต่างกัน โดยแบ่งผนังด้านนอกอาคารเป็น 2 ประเภท คือ ผนังมวลสาร (Mass Wall) และผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed)

2.1 ผนังมวลสาร (Mass Wall) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1. ผนังคอนกรีตมวลเบา และ 2. ผนังอิฐมอญ

- ผนังคอนกรีตมวลเบา กำหนดใช้ค่าจาก 3 เกณฑ์ ดังนี้

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.5 $W/m^{2\circ}C$, ค่า U-factor ของผนังกระจก ≤ 2.80 $W/m^{2\circ}C$

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.0 $W/m^{2\circ}C$, ใช้กระจก 2 ชั้น (double glazing) หรือมากกว่า และ/หรือ ใช้กระจก Low-E และ SHGC ไม่เกิน 0.65

3) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 3.293 $W/m^{2\circ}C$, ค่า U-factor ของผนังกระจกแบบกรอบวงกบโลหะเปิดได้ ≤ 3.69 $W/m^{2\circ}C$ และ SHGC แบ่งออกเป็น 2 ค่า คือ ≤ 0.22 และ ≤ 0.25 $W/m^{2\circ}C$

- ผนังอิฐมอญ กำหนดใช้ค่าจาก 2 เกณฑ์ ดังนี้

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.5 W/m^{2}°C, ค่า U-factor ของผนังกระจก ≤ 2.80 W/m^{2}°C

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.0 W/m^{2}°C, ใช้กระจก 2 ชั้น (double glazing) หรือมากกว่า และ/หรือ ใช้กระจก Low-E และ SHGC ไม่เกิน 0.65

2.2 ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) กำหนดใช้ค่าจาก 3 เกณฑ์ ดังนี้

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ≤ 1.5 W/m^{2}°C, ค่า U ผนังโปร่งแสง ≤ 5.4 และ 2.8 W/m^{2}°C และ SHGC แบ่งออกเป็น 3 ค่า คือ ≤ 0.6, ≤ 0.5 และ ≤ 0.4 W/m^{2}°C

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.0 W/m^{2}°C, ใช้กระจก 2 ชั้น (double glazing) หรือมากกว่า และ/หรือ ใช้กระจก Low-E และ SHGC ไม่เกิน 0.65

3) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนดค่า U ≤ 0.71 W/m^{2}°C, ค่า U-factor ของผนังกระจกแบบกรอบวงกบโลหะเปิดได้ ≤ 3.69 W/m^{2}°C และ SHGC แบ่งออกเป็น 2 ค่า คือ ≤ 0.22 และ ≤ 0.25 W/m^{2}°C

ซึ่งผนังทั้ง 2 ชนิด กำหนดให้ทดสอบกับกระจก 2 ประเภท คือ กระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น Low-E ที่ได้รับฉลากประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน ซึ่งมีค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.55 จำนวนทั้งหมด 5 ชนิด แสดงดังตารางที่ 19 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 จำนวน 2 แบบ ได้แก่

a. กระจก AGC - โฟลตสีตัดแสง Energy Green หนา 6 mm. มีค่า U กระจก = 5.74 W/m^{2}°C, ค่า SHGC = 0.47 และค่า LSG = 1.28

b. กระจก AGC - Sunergy Green หนา 6 mm. มีค่า U กระจก = 3.30 W/m^{2}°C, ค่า SHGC = 0.42 และค่า LSG = 1.34

- กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 จำนวน 3 แบบ ได้แก่

c. กระจก AGC - PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 mm. มีค่า U กระจก = 2.58 W/m^{2}°C, ค่า SHGC = 0.35 และค่า LSG = 1.55

d. กระจก AGC - Stopray Vision หนา 24 mm. มีค่า U กระจก = 1.60 W/m^{2o}C, ค่า SHGC = 0.30 และค่า LSG = 1.63

e. กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้า เคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 mm. มีค่า U กระจก = 1.56 W/m^{2o}C, ค่า SHGC = 0.21 และค่า LSG = 1.67 (อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)

ตารางที่ 10 คุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในการทดสอบผนังด้านนอกอาคาร

ชนิดกระจก			**U กระจก** (W/m^{2o}C)	**SHGC**	**LSG**
กระจกชั้นเดียว	a	กระจกโฟลตสีตัดแสง Energy Green หนา 6 mm.	5.74	0.47	1.28
	b	Sunergy Green หนา 6 mm.	3.30	0.42	1.34
กระจก 2 ชั้น Low-E	c	PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 mm.	2.58	0.35	1.55
	d	Stopray Vision หนา 24 mm.	1.60	0.30	1.63

การกำหนดค่าคุณสมบัติของกรอบอาคารทั้งสองประเภท โดยคัดเลือกจากแต่ละเกณฑ์ จากนั้นจึงนำแต่ละค่ามากำหนดและออกแบบประเภทของวัสดุกรอบอาคาร เพื่อการทดสอบการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดประเภทวัสดุของกรอบอาคารตามเกณฑ์ฯ

การกำหนดวัสดุของกรอบอาคารตามแต่ละเกณฑ์ที่ได้คัดเลือกไว้ ทั้งหลังคา และผนังด้านนอก โดยนำคุณสมบัติที่กำหนดจากฉลากประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน ของกระทรวงพลังงานเป็นทางเลือกในการออกแบบกรอบอาคาร เพื่อสอดคล้องกับกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง และภาคผนวก จ)

1. หลังคาอาคาร

1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs)

ลักษณะหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต ประกอบไปด้วยชั้นวัสดุดังนี้ 1. คอนกรีตเสริมเหล็ก (หนา 10 ซม.), 2. ช่องว่างอากาศ (ขนาด 10 ซม.), 3. แผ่นฝ้าเพดานยิปซั่ม (หนา 9 มม.) และ 4. ฉนวนที่มีค่า R ต่างกันตามกำหนดข้างต้น วางในฝ้าหรือวางบนดาดฟ้าคอนกรีต แบ่งตามเกณฑ์ดังนี้

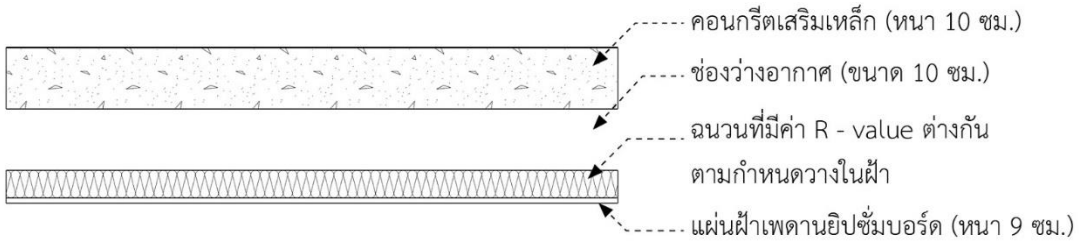
1) ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ของกระทรวงพลังงาน มีค่า R-value ≥ 1.25 $m^{2\circ}C/W$ จากการคำนวณวัสดุรวมกับฉนวนจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.33 $W/m^{2\circ}C$

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบบที่ 1 ค่า R-value ≥ 2.6 $m^{2\circ}C/W$ จากการคำนวณวัสดุรวมกับฉนวนจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.23 $W/m^{2\circ}C$

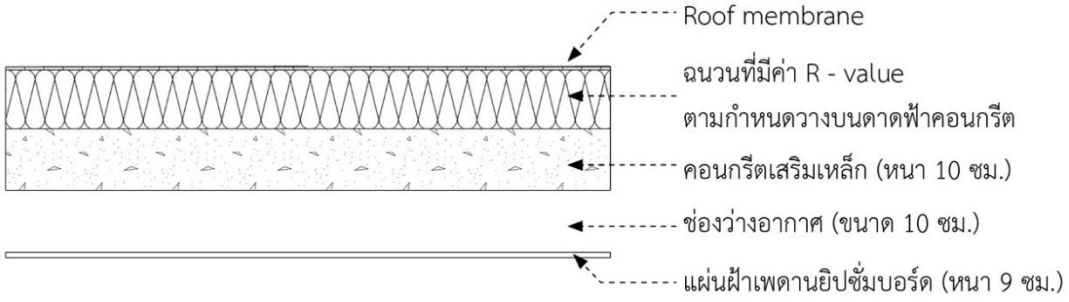
3) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบบที่ 2 ค่า R-value ≥ 3.9 $m^{2\circ}C/W$ จากการคำนวณวัสดุรวมกับฉนวนจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.18 $W/m^{2\circ}C$

4) เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 พื้นที่ 0 ฉนวนวางต่อเนื่องบนดาดฟ้า (Insulation Entirely above Deck) ค่า R-value ≥ 4.4 $m^{2\circ}C/W$ จากการคำนวณวัสดุรวมกับฉนวนจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.20 $W/m^{2\circ}C$ ซึ่งมีการติดตั้ง Roof membrane (Taylor, Willits, Hartwig, & Kirby, 2018) ด้านบนฉนวนต่อเนื่อง

จากค่า U ของวัสดุประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต สามารถแบ่งการวางฉนวนกันความร้อนเป็น 2 แบบ คือ 1) แบบฉนวนวางบนแผ่นฝ้าเพดาน และ 2) แบบฉนวนวางบนดาดฟ้าคอนกรีต ดังแสดงภาพตัดต่อไปนี้



ภาพที่ 6 ภาพตัดของวัสดุประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ชนิดฉนวนวางบนฝ้าเพดาน



ภาพที่ 7 ภาพตัดของวัสดุประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ชนิดฉนวนวางบนดาดฟ้าคอนกรีต R ของฉนวนเท่ากับ 4.4 $m^{2.o}C/W$

1.2 หลังคากระเบื้อง (Pitched roof)

ลักษณะหลังคากระเบื้อง เป็นรูปทรงปั้นหยา ที่มีความลาดชัน 45 องศา, 30 องศา และ 15 องศา ประกอบไปด้วยวัสดุดังนี้ 1. กระเบื้องลอน (หนา 5 มม.) 2. ช่องว่างอากาศ 3. ฉนวน (ขนาดตามเกณฑ์กำหนดข้างต้น) และ 4. แผ่นฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. ได้แบ่งตามเกณฑ์ดังนี้

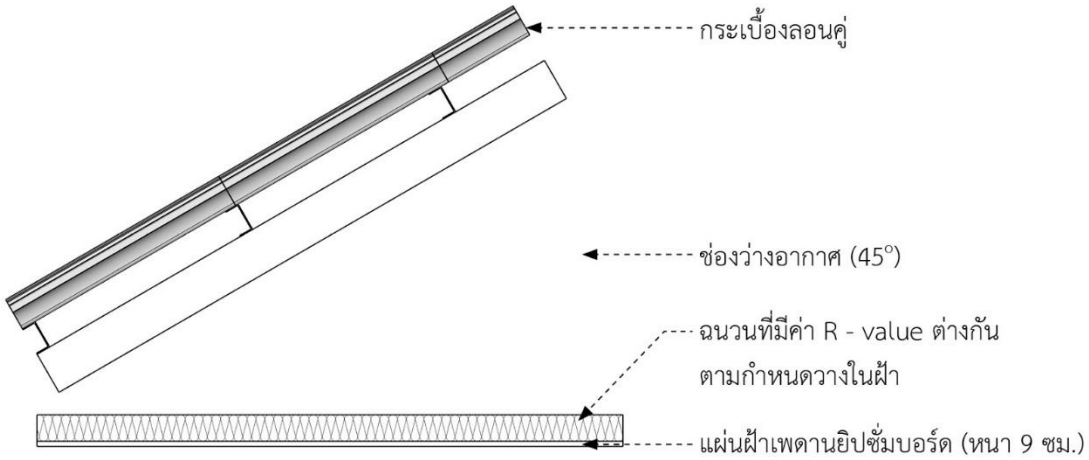
1) ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ของกระทรวงพลังงาน ค่า R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ จากการคำนวณวัสดุรวมกับฉนวนจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.35 $W/m^{2o}C$ ตามตารางด้านล่าง

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบบที่ 1 ค่า R-value ≥ 2.6 $m^{2o}C/W$ จากการคำนวณวัสดุรวมกับฉนวนจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.24 $W/m^{2o}C$ ตามตารางต่อไปนี้

3) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบบที่ 2 ค่า R-value ≥ 3.9 $m^{2o}C/W$ จากการคำนวณวัสดุรวมกับฉนวนจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.18 $W/m^{2o}C$ ตามตารางด้านล่าง

4) เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 ประเภทหลังคาที่มีห้องใต้หลังคาและอื่นๆ (Attic and Other) กำหนดค่า R-value ≥ 6.7 $m^{2\circ}C/W$ จากการคำนวณวัสดุรวมกับฉนวนจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.12 $W/m^{2\circ}C$ ตามตารางด้านล่าง

จากค่า U ของวัสดุประเภทหลังคากระเบื้อง สามารถแสดงเป็นภาพตัดอธิบายการวางฉนวนวางบนฝ้าเพดาน ดังแสดงภาพตัดต่อไปนี้



ภาพที่ 8 ภาพตัดของวัสดุประเภทหลังคากระเบื้อง

2. ผนังด้านนอกอาคาร

ลักษณะของผนังอาคารที่นำมาคำนวณคือ ใช้อาคารรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีสัดส่วนพื้นที่ WWR = 0.4 และ WWR = 0.35 เท่ากันในทุกด้าน

2.1 ผนังมวลสาร (Mass Wall) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1. ผนังคอนกรีตมวลเบา และ 2. ผนังอิฐมอญ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผนังคอนกรีตมวลเบา โดยแบ่งตามเกณฑ์ดังนี้

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.5 $W/m^{2\circ}C$

- จากการคำนวณวัสดุจึงได้ค่า U เท่ากับ 1.20 $W/m^{2\circ}C$ และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 68.04 $kJ/m^{2}C$

- ซึ่งส่วนประกอบของวัสดุ ได้แก่ คอนกรีตมวลเบา ที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 (สมาร์ทบล็อก ขนาดหนา 7.5) (บริษัท สมาร์ทคอนกรีต จำกัด (มหาชน))และฉาบปูนสำหรับอิฐมวลเบาด้านละ 1.5 ซม. รวมความหนาผนังเท่ากับ 10.5 ซม.

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.0 $W/m^{2\circ}C$

- จากการคำนวณวัสดุจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.98 $W/m^{2\circ}C$ และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 80.64 kJ/m^2C

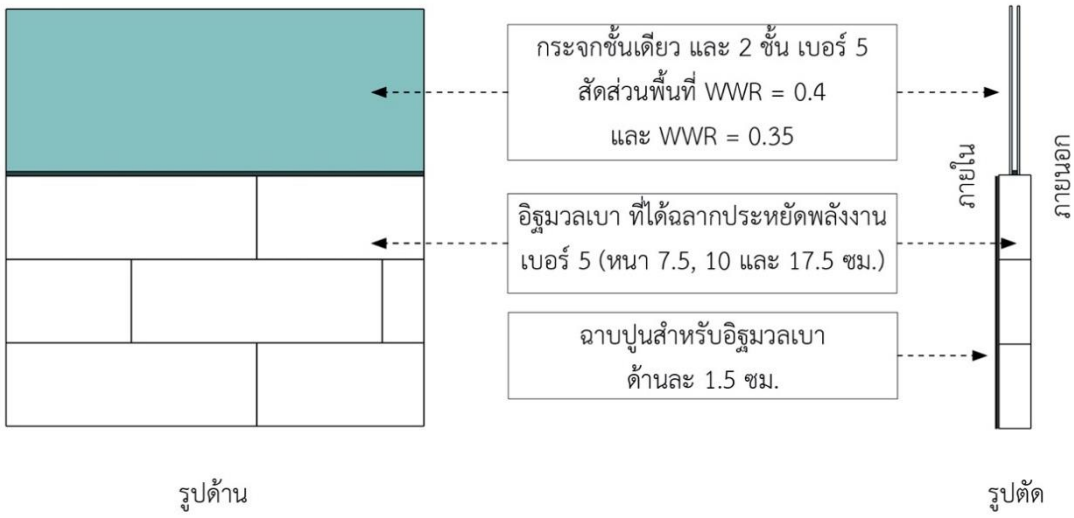
- ซึ่งส่วนประกอบของวัสดุ ได้แก่ คอนกรีตมวลเบา ที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 (สมาร์ทบล็อก ขนาดหนา 10 ซม.) และฉาบปูนสำหรับอิฐมวลเบาด้านละ 1.5 ซม. รวมความหนาผนังเท่ากับ 13 ซม.

3) เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 3.293 $W/m^{2\circ}C$ โดยคำนวณภายใต้ข้อกำหนดของผนังมวลสาร (ต้องมีน้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 122 kg/m^2 ของพื้นที่ผนังที่วัสดุมีน้ำหนักไม่เกิน 1,900 kg/m^3 และมีความจุความร้อนมากกว่าหรือเท่ากับ 102 kJ/m^2C)

- จากการคำนวณวัสดุจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.62 $W/m^{2\circ}C$ มีน้ำหนักเท่ากับ 141 kg/m^2 วัสดุน้ำหนักเท่ากับ 1,800 kg/m^3 และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 118 kJ/m^2C

- ซึ่งส่วนประกอบของวัสดุ ได้แก่ คอนกรีตมวลเบา ที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 (สมาร์ทบล็อก ขนาดหนา 17.5) และฉาบปูนสำหรับอิฐมวลเบาด้านละ 1.5 ซม. รวมความหนาผนังเท่ากับ 20.5 ซม. เพื่อให้มี DSH ตามเงื่อนไขข้างต้น

จากค่า U ของวัสดุประเภทผนังคอนกรีตมวลเบา สามารถอธิบายแสดงภาพรูปด้านและรูปตัดอธิบายผนังดังภาพด้านล่าง



ภาพที่ 9 ภาพตัดของวัสดุผนังด้านนอกอาคาร ชนิดผนังคอนกรีตมวลเบา

2. ผนังอิฐมอญ โดยแบ่งตามเกณฑ์ดังนี้

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.5 W/m^{2}°C

- จากการคำนวณวัสดุจึงได้ค่า U เท่ากับ 1.45 W/m^{2}°C และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 194.56 kJ/m^{2}C

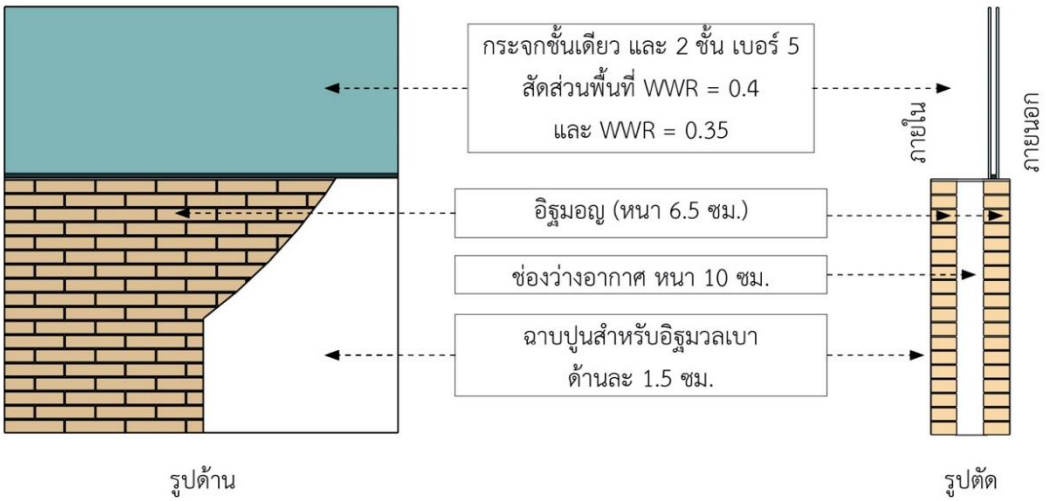
- ซึ่งส่วนประกอบของวัสดุ ได้แก่ 1. อิฐมอญ (ขนาดหนา 6.5 ซม.) 2 ชั้น, 2. ช่องว่างอากาศ 10 ซม. และ 3. ฉาบปูนด้านละ 1.5 ซม. ผนังจึงมีความหนารวมเท่ากับ 26 ซม. เพื่อให้ได้ค่า U ตามเกณฑ์)

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.0 W/m^{2}°C

- จากการคำนวณวัสดุจึงได้ค่า U เท่ากับ 1.0 W/m^{2}°C ซึ่งเท่ากับเกณฑ์ และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 358.88 kJ/m^{2}C

- ซึ่งส่วนประกอบของวัสดุ ได้แก่ 1. อิฐมอญ (ขนาดหนา 6.5 ซม.) วางเต็มแผ่น 2 ชั้น, 2. ช่องว่างอากาศ 10 ซม. และ 3. ฉาบปูนด้านละ 1.5 ซม. ผนังจึงมีความหนารวมเท่ากับ 37 ซม. เพื่อให้ได้ค่า U ตามเกณฑ์)

จากค่า U ของวัสดุประเภทประเภทผนังอิฐมอญ สามารถแสดงเป็นรูปด้านและรูปตัดอธิบายการติดตั้งผนัง ดังแสดงภาพตัดด้านล่าง



ภาพที่ 10 ภาพตัดของวัสดุผนังอิฐมอญ

2.2 ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) โดยกำหนดคุณสมบัติจากเกณฑ์ 3 เกณฑ์ คือ

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.5 W/m^{2}°C,

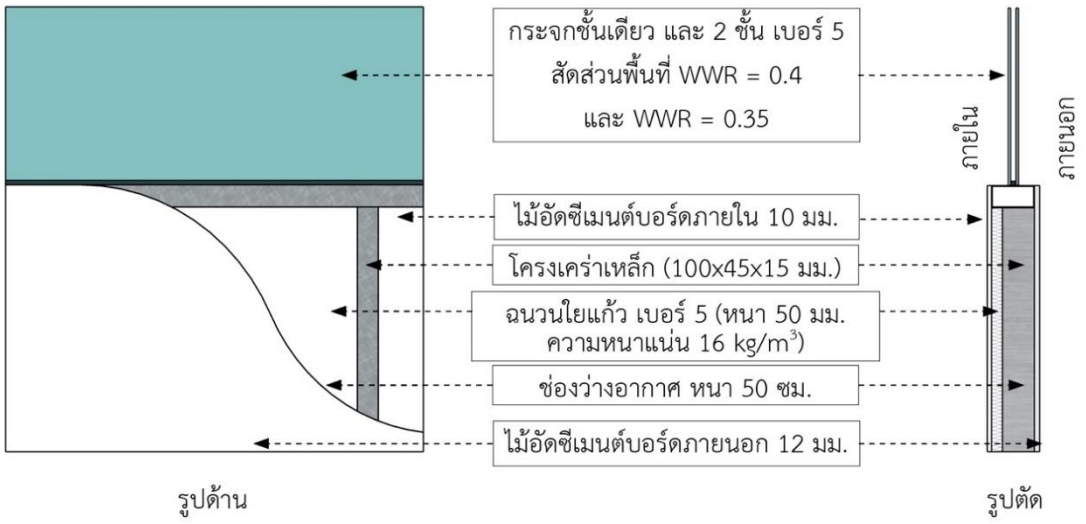
2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.0 W/m^{2}°C และ 3) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 ชนิดผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) กำหนดค่า U ≤ 0.71 W/m^{2}°C

ซึ่งมีส่วนประกอบของวัสดุ ได้แก่ ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดภายนอก (หนา 12 มม.), 2. ช่องว่างอากาศ (ขนาด 50 มม.), 3. ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 (ขนาด 50 มม.) และ 4. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดภายใน (หนา 10 มม.) ผนังจึงมีความหนารวมเท่ากับ 12.2 ซม.

จากการคำนวณวัสดุจึงได้ค่า U เท่ากับ 0.42 W/m^{2}°C ซึ่งทำให้ค่า U ในการคำนวณต่ำกว่าทั้ง 3 เกณฑ์ที่กำหนด และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 37.95 kJ/m^{2}C

หมายเหตุ - ส่วนประกอบของผนังโครงเคร่าที่ไม่มีฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 มีผลการคำนวณวัสดุไม่ผ่านเกณฑ์ของค่า U ผนังที่กำหนดทั้ง 3 เกณฑ์

จากค่า U ของวัสดุประเภทผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) สามารถแสดงเป็นรูปด้านและรูปตัดอธิบายการติดตั้งผนัง ดังแสดงภาพตัดด้านล่าง



ภาพที่ 11 ภาพตัดของวัสดุผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed)

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดขนาดและสัดส่วนของกรอบอาคารในการวิเคราะห์เกณฑ์ประเมินฯ

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งกฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดอาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ให้ออกแบบตามเกณฑ์ในกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดขนาดพื้นที่ของอาคารตามที่กฎหมายกำหนด คือ 2,000 ตารางเมตร ทั้ง 9 ประเภทอาคาร ประกอบกับการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สำหรับการกำหนดรูปทรงอาคารในการวิเคราะห์การผ่านเกณฑ์ BEC โดยแบ่งสัดส่วนของอาคารเป็น 3 แบบ เพื่อเปรียบเทียบเกณฑ์ OTTV และ RTTV ให้ครอบคลุมผลการวิเคราะห์มากกว่าหนึ่งสัดส่วน เนื่องจากอาคารโดยทั่วไปมีสัดส่วนที่หลากหลายรวมถึงทิศทางที่ตั้งฉากกับกรอบอาคารแต่ละด้านด้วยเช่นกัน การแบ่งสัดส่วนเป็นดังนี้

1. สัดส่วน 1 : 1 โดยอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเท่ากันทั้ง 4 ทิศหลัก คือ ทิศเหนือ, ทิศตะวันออก, ทิศใต้ และทิศตะวันตก

2. สัดส่วน 1 : 2 โดยอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1 มีความยาวในด้านทิศเหนือกับทิศใต้ และมีความกว้างในด้านทิศตะวันตก กับทิศตะวันออก

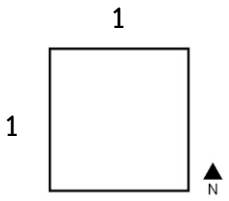
2.1 มีความยาวในด้านทิศตะวันตกกับทิศตะวันออก และมีความกว้างในด้านทิศเหนือกับทิศใต้

3. สัดส่วน 1 : 3 โดยอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ เช่นเดียวกับสัดส่วน 1 : 2 คือ

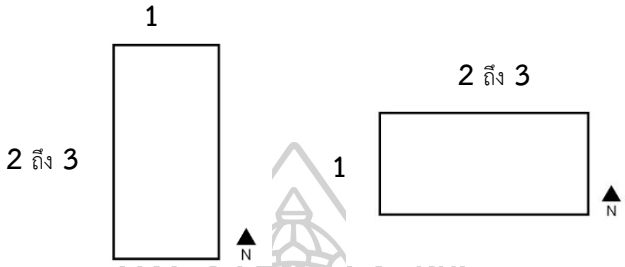
2.1 มีความยาวในด้านทิศเหนือกับทิศใต้ และมีความกว้างในด้านทิศตะวันตก กับทิศตะวันออก

2.1 มีความยาวในด้านทิศตะวันตกกับทิศตะวันออก และมีความกว้างในด้านทิศเหนือกับทิศใต้

สามารถแสดงรูปแบบสัดส่วนอาคารในการทดสอบเกณฑ์ประเมินฯรายการที่กำหนด ในภาพต่อไป



สัดส่วนอาคาร 1 : 1



สัดส่วนอาคาร 1 : 2 และ 1 : 3

ภาพที่ 12 รูปแบบสัดส่วนอาคารในการทดสอบเกณฑ์ประเมินฯ

จากขั้นตอนแรกจนถึงการกำหนดขนาดและสัดส่วนของอาคารที่ทำให้ครอบคลุมการวิเคราะห์อาคารสัดส่วนที่หลากหลายในงานวิจัยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำการดำเนินงานขั้นตอนทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นนั้น นำไปสู่การคำนวณผลของการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV โดยใช้เกณฑ์ BEC ในขั้นตอนต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร

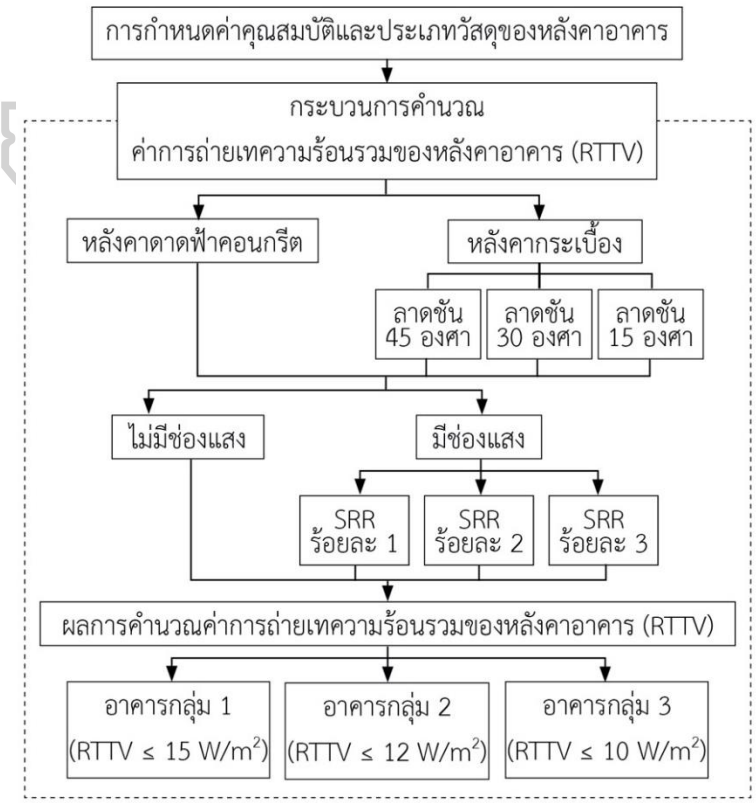
ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการคำนวณผลค่า RTTV และค่า OTTV ด้วยเกณฑ์ BEC

เมื่อกำหนดค่าคุณสมบัติของกรอบอาคาร รวมถึงการกำหนดประเภทวัสดุของกรอบอาคาร และการกำหนดขนาดและสัดส่วนแล้ว จึงเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณผล โดยในงานวิจัยนี้ยึดหลักการผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงานสำหรับประเทศไทย นั่นคือการใช้เกณฑ์ BEC เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะต้องใช้การคำนวณด้วยสูตรของเกณฑ์ RTTV และ OTTV ดังที่กล่าวเบื้องต้นในการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

โดยขั้นตอนการคำนวณจะเป็นเป็น 2 แบบคือ หลังคาอาคาร คำนวณด้วยเกณฑ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV) และผนังด้านนอกอาคาร คำนวณด้วยเกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV)

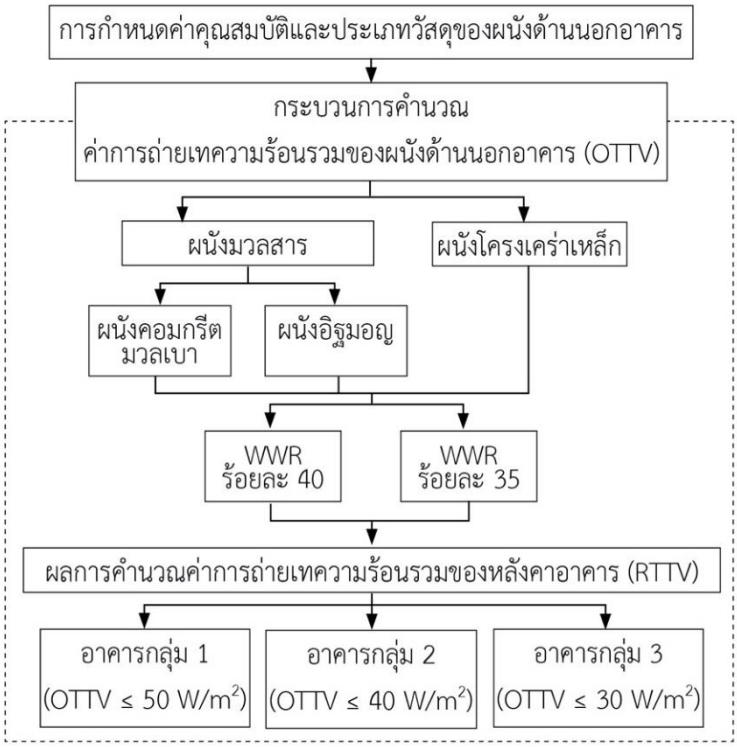
จากการกำหนดค่าฉนวนหลังคาของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต และหลังคากระเบื้องของแต่ละเกณฑ์ ประกอบกับการกำหนดวัสดุหลังคา ซึ่งได้ค่า U-value ของหลังคาแต่ละเกณฑ์แล้ว นำไปสู่การคำนวณผลการผ่านเกณฑ์ RTTV แสดงรายละเอียดการดำเนินการดังนี้



ภาพที่ 13 กระบวนการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV)

2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV)

จากการกำหนดค่า U-value ผนังด้านนอกอาคารของผนังมวลสาร (ผนังคอนกรีตมวลเบา และผนังอิญมอญ) และผนังโครงเคร่าเหล็กของแต่ละเกณฑ์ ประกอบกับการกำหนดวัสดุผนัง ซึ่งได้ค่า U-value และค่า DSH ของผนังแต่ละเกณฑ์แล้ว นำไปสู่การคำนวณผลการผ่านเกณฑ์ OTTV แสดงรายละเอียดการดำเนินการดังนี้



ภาพที่ 14 กระบวนการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV)

จากขั้นตอนการดำเนินงานโดยการเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินฯทั้งในประเทศและต่างประเทศ การกำหนดค่าคุณสมบัติของกรอบอาคาร การกำหนดประเภทวัสดุของกรอบอาคารทั้งหลังคาและผนังด้านนอกอาคาร การกำหนดขนาดและสัดส่วนของอาคาร และกระบวนการคำนวณเพื่อทดสอบผลของแต่ละค่าที่กำหนด ซึ่งทำให้สามารถการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV โดยใช้เกณฑ์ BEC จากนั้นจะนำไปสู่การวิเคราะห์และสรุปผลในขั้นตอนต่อไป เพื่อพัฒนาเกณฑ์ในการออกแบบกรอบอาคารโดยการใช้รายการที่กำหนด ที่สามารถให้ผลผ่านเกณฑ์ โดยไม่ต้องใช้โปรแกรม BEC คำนวณ สำหรับทุกกลุ่มประเภทอาคารตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ที่สามารถนำมาออกแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงาน

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากขั้นตอนการศึกษาเกณฑ์ประเมินฯ ที่นำไปสู่การกำหนดคุณสมบัติและวัสดุของกรอบอาคาร ทั้งหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต หลังคากระเบื้อง ผนังมวลสาร และผนังโครงเคร่าเหล็ก ซึ่งนำค่าคุณสมบัติมาคำนวณผลโดยใช้เกณฑ์ BEC และเปรียบเทียบผลคำนวณเพื่อหาค่าการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV ตามกฎหมาย ในทุกกลุ่มประเภทอาคาร เพื่อสรุปผลการวิเคราะห์และกำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคาร

โดยเริ่มจากการวิเคราะห์หลังคาอาคาร ได้แก่ หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต และหลังคากระเบื้อง ซึ่งหลังคากระเบื้องแบ่งความลาดชั้นเป็น 3 ระดับ คือ 45, 30 และ 15 องศา การวิเคราะห์หลังคาอาคารแบ่งเป็น 2 แบบ คือหลังคาที่ไม่มีช่องแสง และหลังคาที่มีช่องแสง โดยหลังคาที่มีช่องแสงประกอบไปด้วย SRR ร้อยละ 1 ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 ตามลำดับ รวมถึงรูปทรงของหลังคากระเบื้อง ได้วิเคราะห์ 3 รูปทรงคือ หลังคาทรงปั้นหยา, หลังคาทรงจั่ว และหลังคาทรงเพิงหมาแหงน โดยการวิเคราะห์หลังคาทั้งหมดจะมีสัดส่วนกรอบของหลังคา ตั้งแต่สัดส่วน 1:1 จนถึง 1:3

ส่วนผนังด้านนอกอาคาร ได้แก่ ผนังมวลสาร (ผนังคอนกรีตมวลเบา และผนังอิฐมอญ) และผนังโครงเคร่าเหล็ก โดยผนังด้านนอกอาคารแบ่งการวิเคราะห์จากการกำหนดผนังโปร่งแสงเป็น 2 แบบ คือ WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ซึ่งการวิเคราะห์ผนังทุกประเภททั้งหมดจะมีสัดส่วนอาคารตั้งแต่ 1:1 จนถึง 1:3

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้คือรูปแบบการวิเคราะห์ผลทั้งหลังคาอาคารและผนังด้านนอกอาคาร โดยการวิเคราะห์ผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้

ผลการคำนวณคุณสมบัติของเกณฑ์ในการออกแบบกรอบอาคารโดยการใช้รายการที่กำหนด

จากการศึกษาแนวทางการพัฒนาเกณฑ์ในการออกแบบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการพัฒนาเกณฑ์การออกแบบกรอบอาคารโดยการใช้รายการที่กำหนดนี้ ต้องผ่านกฎหมายของกระทรวงพลังงาน ซึ่งหมายถึงการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV จึงจะสามารถกำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคาร และนำไปใช้สำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานได้ จึงนำค่าคุณสมบัติและวัสดุของกรอบอาคาร ที่ได้กำหนดไว้ไปคำนวณโดยเกณฑ์ BEC

1. หลังคาอาคาร

1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs) แบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ

1) ฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง มีค่า R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 1 ค่า R-value ≥ 2.6 $m^{2o}C/W$

3) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 2 ค่า R-value ≥ 3.9 $m^{2o}C/W$

4) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016, เกณฑ์ IECC และ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% ฉนวนวางต่อเนื่องบนดาดฟ้า (Insulation Entirely above Deck) ค่า R-value ≥ 4.4 $m^{2o}C/W$

1.2 หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) แบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ

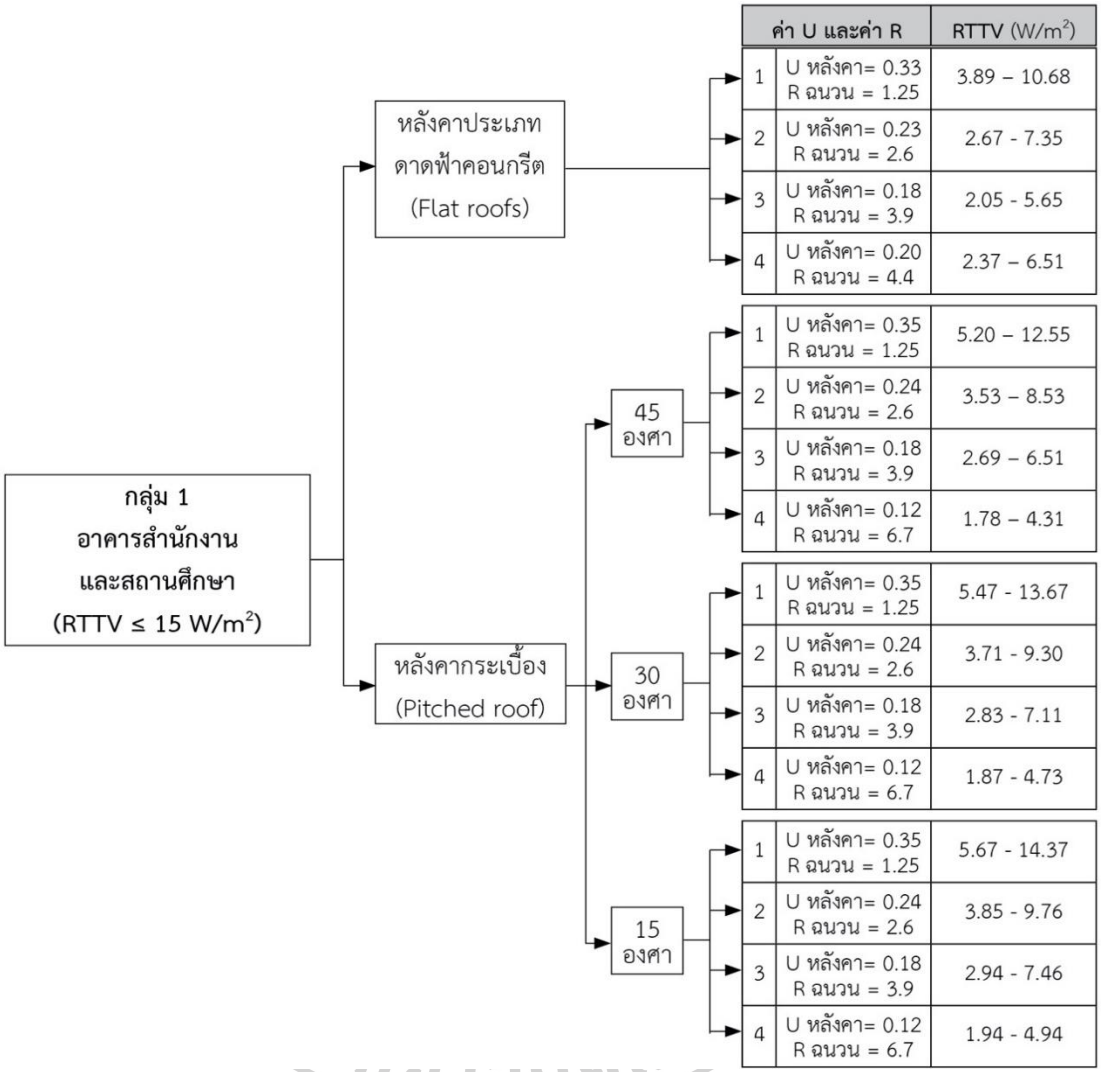
1) ฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง ค่า R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 1 ค่า R-value ≥2.6 $m^{2o}C/W$

3) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 2 ค่า R-value ≥ 3.9 $m^{2o}C/W$

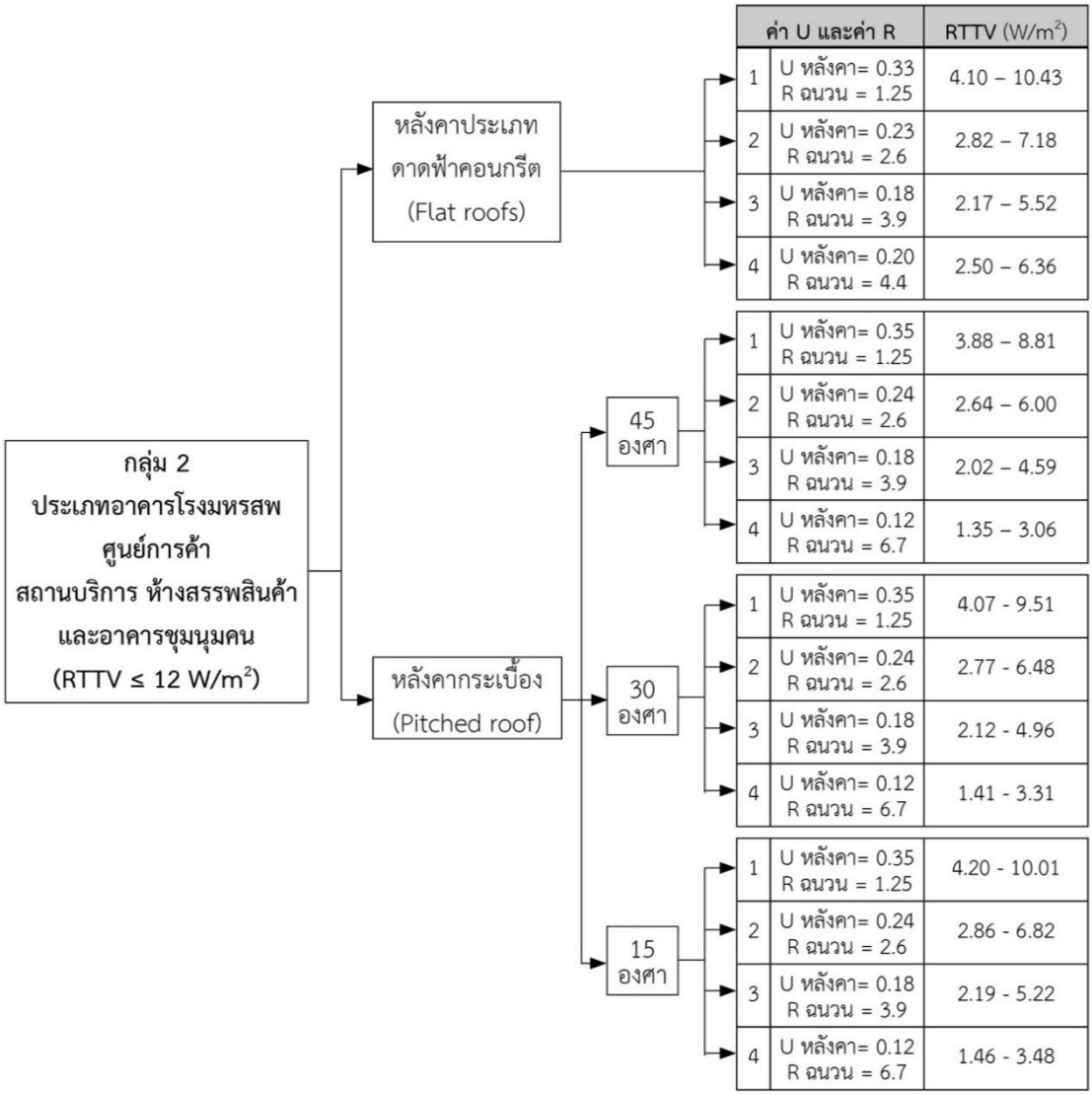
4) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 และเกณฑ์ IECC ประเภทหลังคาที่มีห้องใต้หลังคาและอื่นๆ (Attic and Other) กำหนดค่า R-value ≥ 6.7 $m^{2o}C/W$

ผลการคำนวณคุณสมบัติของเกณฑ์ในการออกแบบกรอบอาคารโดยการใช้รายการที่กำหนด สรุปรายละเอียดดังต่อไปนี้



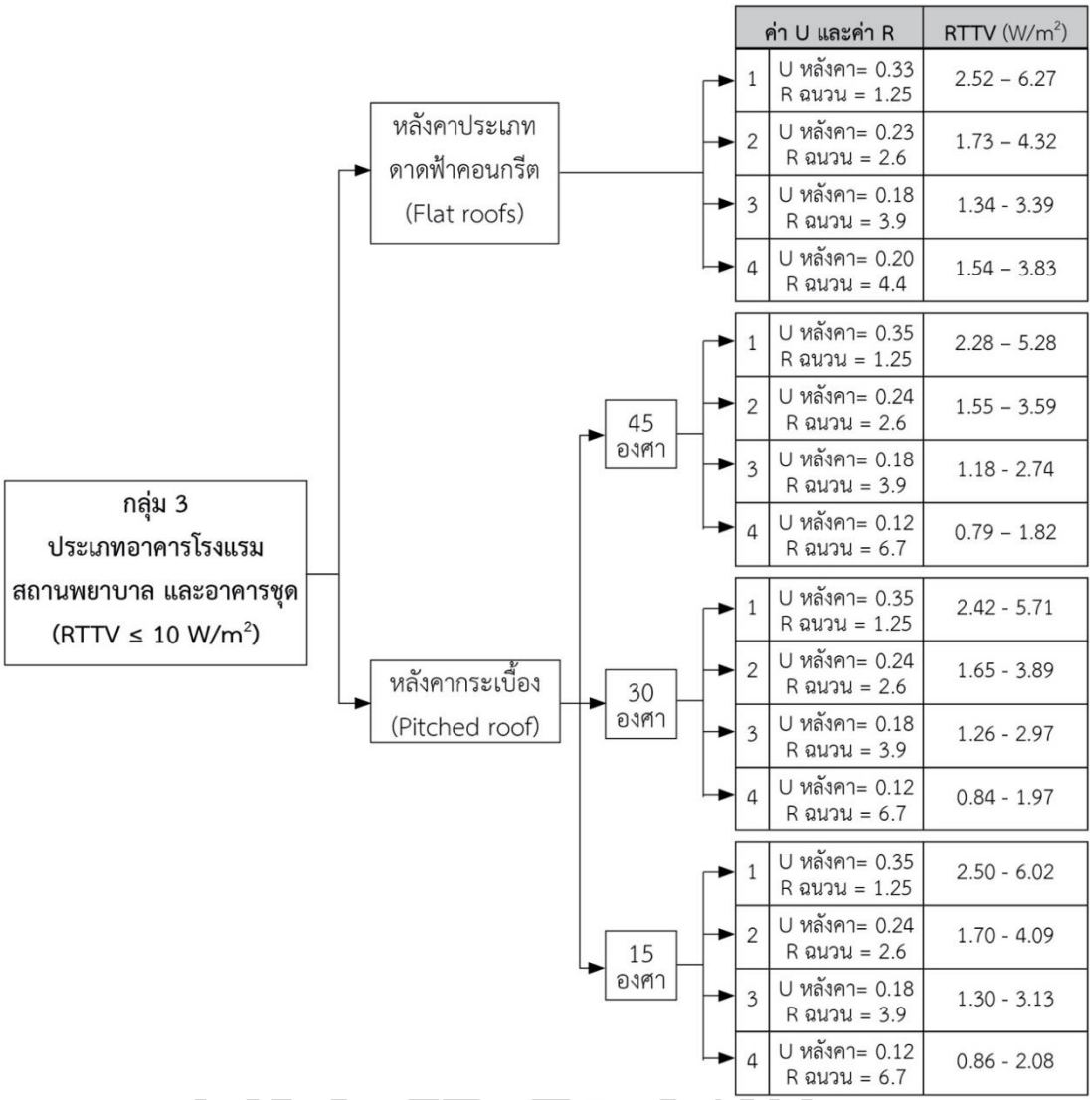
ภาพที่ 15 แผนภูมิผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาชนิดที่ไม่มีช่องโปร่งแสง (skylight) ของอาคารกลุ่มที่ 1

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2\circ}C$, ค่า R มีหน่วย $m^{2\circ}C/W$, (1) = ฉนวนเบอร์ 5, (2) = คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 1, (3) = คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 2 และ (4) = เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016



ภาพที่ 16 แผนภูมิผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาชนิดที่ไม่มีช่องโปร่งแสง (skylight) ของอาคารกลุ่มที่ 2

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2\circ}C$, ค่า R มีหน่วย $m^{2\circ}C/W$, (1) = ฉนวนเบอร์ 5, (2) = คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 1, (3) = คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 2 และ (4) = เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016



ภาพที่ 17 แผนภูมิผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาชนิดที่ไม่มีช่องโปร่งแสง (skylight) ของอาคารกลุ่มที่ 3

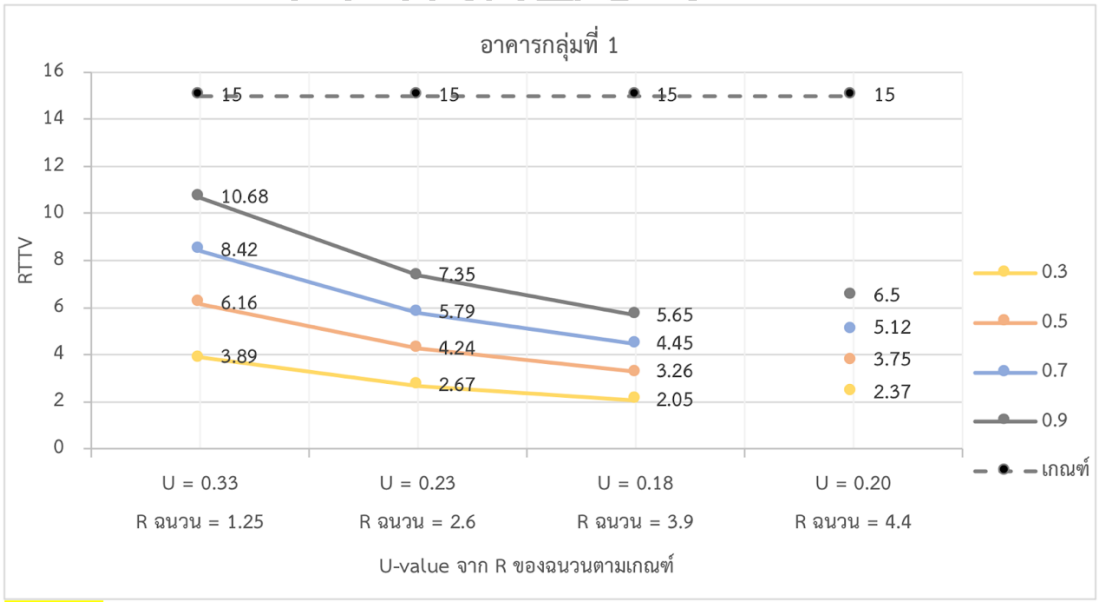
หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2\circ}C$, ค่า R มีหน่วย $m^{2\circ}C/W$, (1) = ฉนวนเบอร์ 5, (2) = คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 1, (3) = คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 2 และ (4) = เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016

จากภาพข้างต้นเป็นการสรุปผลการทดสอบค่า RTTV ที่ไม่มีช่องแสง (skylight) ของทุกกลุ่มอาคาร ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R-value) ของแต่ละเกณฑ์ เป็นดังต่อไปนี้

1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs)

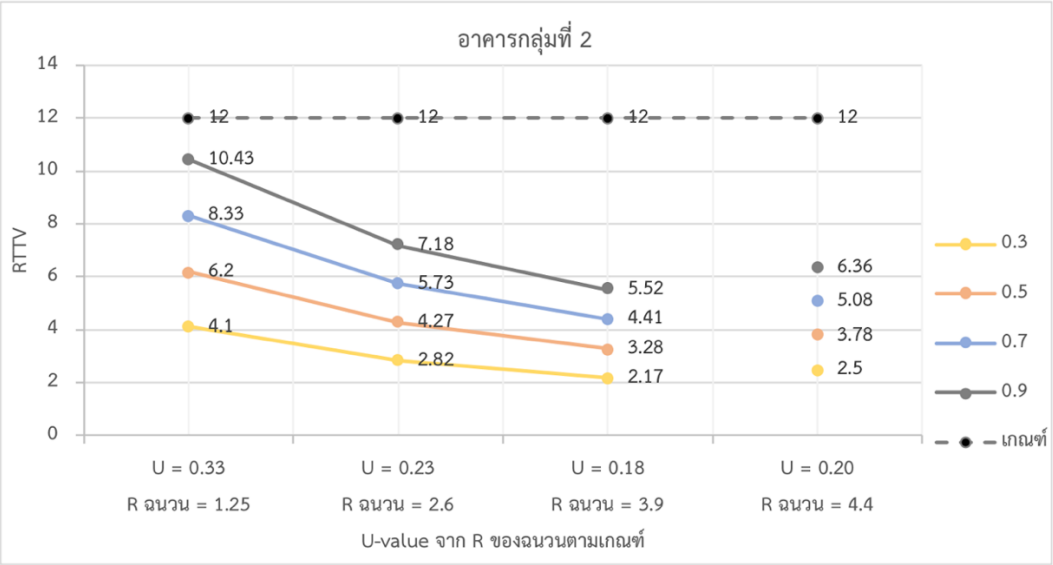
จากผลการทดสอบเกณฑ์ RTTV ประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต จึงนำค่าคุณสมบัติของฉนวนมาเปรียบเทียบแต่ละเกณฑ์ โดยแสดงในรูปแบบแผนภูมิที่แบ่งการวิเคราะห์เป็นแต่ละกลุ่มอาคาร 3 กลุ่ม

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทดาดฟ้าคอนกรีต ไม่มีช่องแสง (Skylight) โดยใช้ภาพแสดงแผนภูมิ พบว่าการใช้ฉนวนประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงาน ที่กำหนดค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R) มากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 $m^2{}^oC/W$ ก็สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ตามกฎหมายได้ ในทุกสีของหลังคา และทุกกลุ่มประเภทอาคาร โดยได้แสดงภาพแผนภูมิการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้



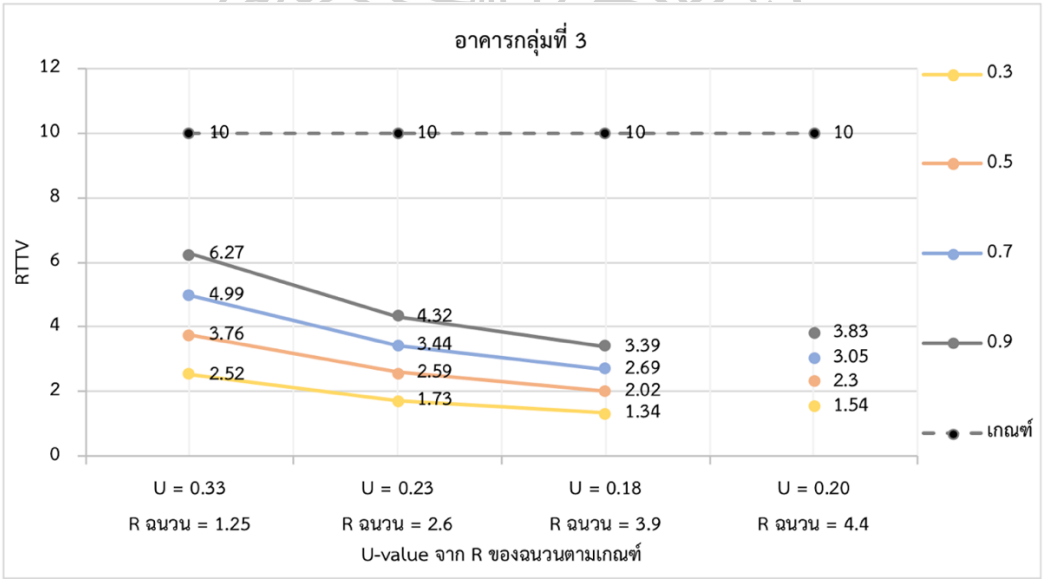
ภาพที่ 18 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 1 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^2{}^oC$, ค่า R มีหน่วย $m^2{}^oC/W$ และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 19 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของฉนวน ที่ใช้ในหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 2 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2\circ}C$, ค่า R มีหน่วย $m^{2\circ}C/W$ และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 20 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 3 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

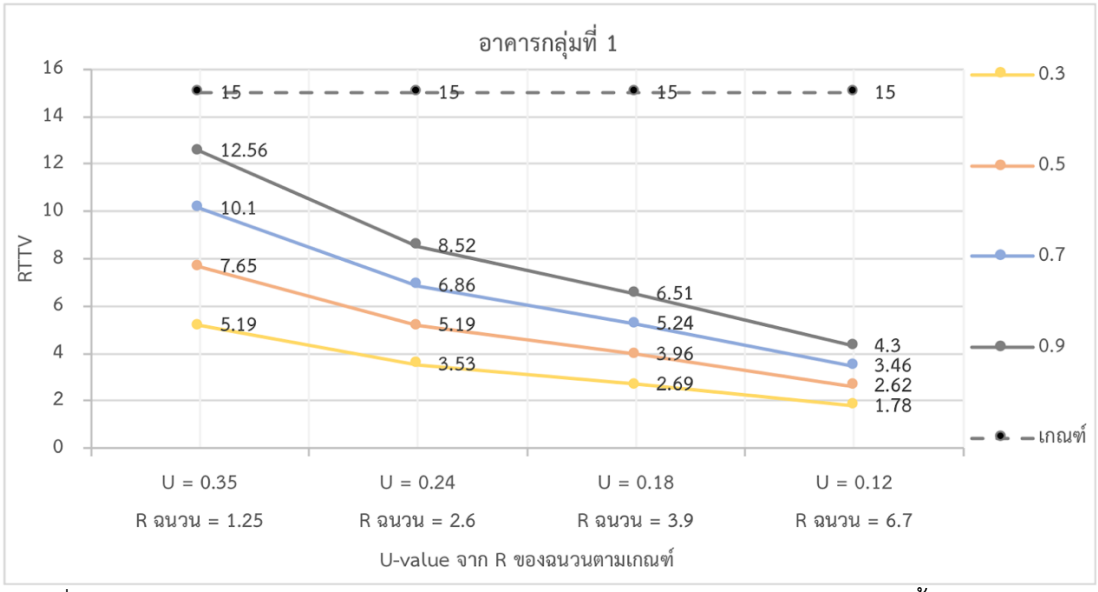
หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2\circ}C$, ค่า R มีหน่วย $m^{2\circ}C/W$ และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

1.2 หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ชนิดหลังคาปั้นหยา โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ความลาดชันของหลังคา คือ หลังคาลาดชัน 45 องศา และหลังคาลาดชัน 30 องศา

- หลังคาลาดชัน 45 องศา

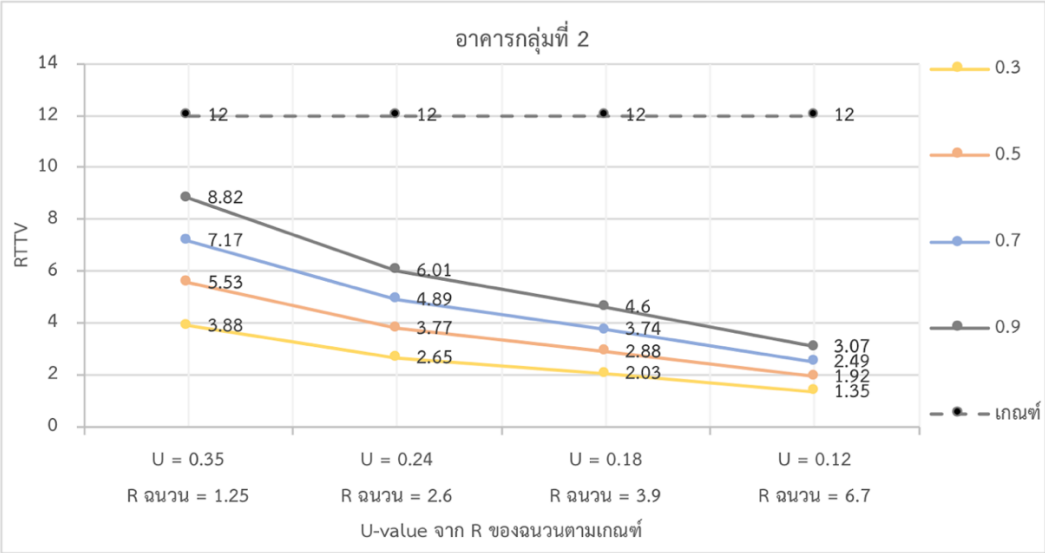
จากผลการทดสอบจึงนำค่าคุณสมบัติของฉนวน ประเภทหลังคากระเบื้อง ไม่มีช่องแสง (skylight) ความลาดชัน 45 องศา มาเปรียบเทียบแต่ละเกณฑ์ โดยแสดงในรูปแบบแผนภูมิที่แบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 กลุ่มอาคาร

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value พบว่าการใช้ฉนวนประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงาน ที่กำหนดค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R) มากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 $m^{2o}C/W$ ก็สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ตามกฎหมายได้ ในทุกสีของหลังคา และทุกกลุ่มประเภทอาคาร โดยได้แสดงภาพแผนภูมิการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้



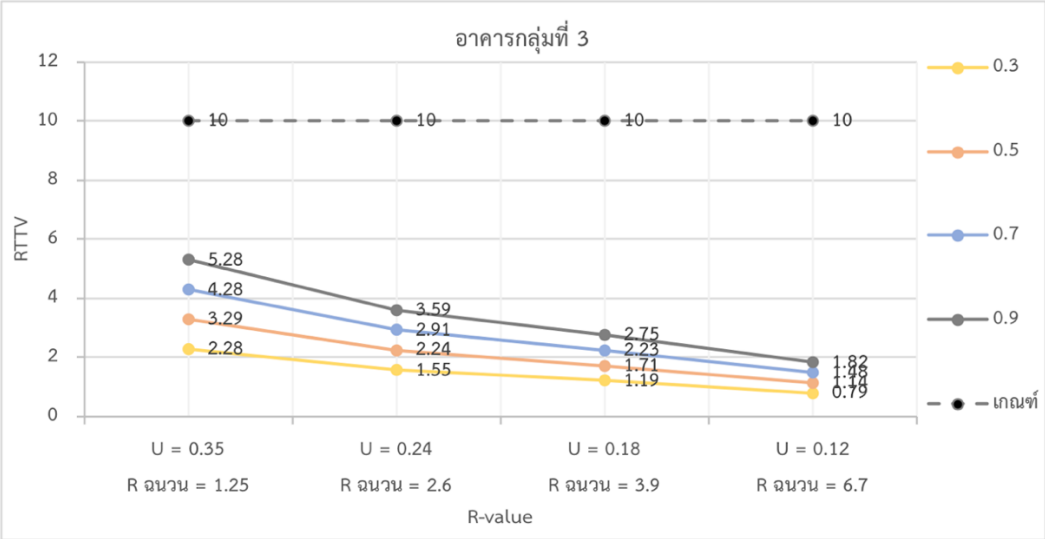
ภาพที่ 21 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 1 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2o}C$, ค่า R มีหน่วย $m^{2o}C/W$ และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 22 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 2 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย W/m^2°C, ค่า R มีหน่วย m^2°C/W และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



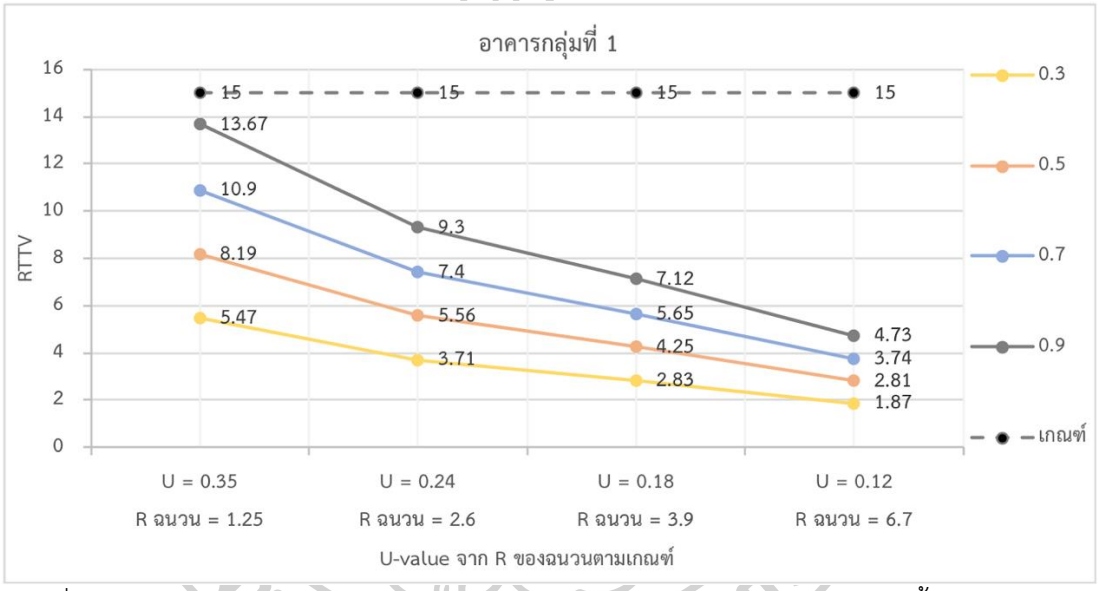
ภาพที่ 23 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 3 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย W/m^2°C, ค่า R มีหน่วย m^2°C/W และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

- หลังคาลาดชัน 30 องศา

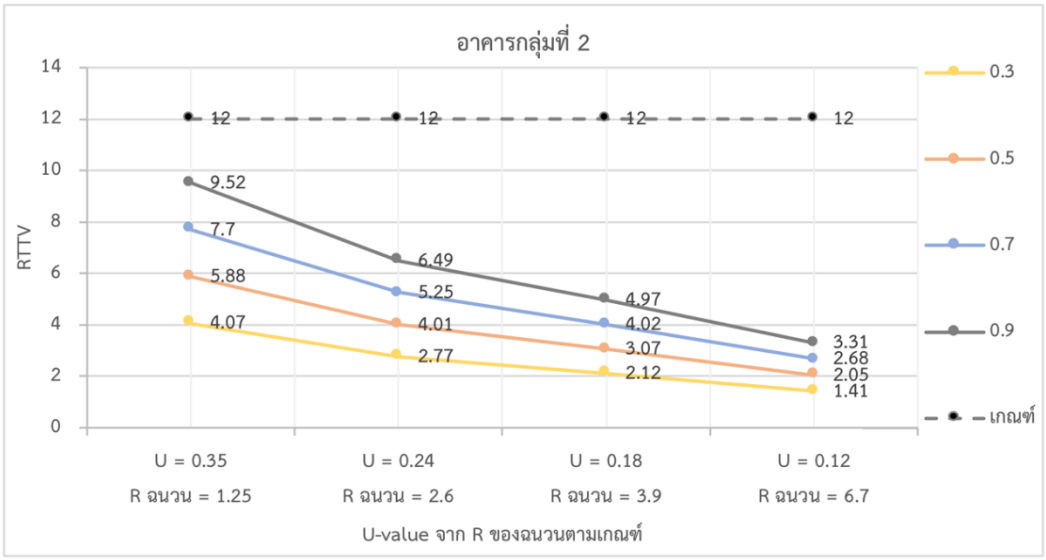
จากผลการทดสอบจึงนำค่าคุณสมบัติของฉนวน ประเภทหลังคากระเบื้อง ไม่มีช่องแสง (skylight) ความลาดชัน 30 องศา มาเปรียบเทียบแต่ละเกณฑ์ โดยแสดงในรูปแบบแผนภูมิที่แบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 กลุ่มอาคาร

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value พบว่าการใช้ฉนวนประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงาน ที่กำหนดค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R) มากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 m^{2}°C/W ก็สามารถผ่านเกณฑ์RTTV ตามกฎหมายได้ ในทุกสีของหลังคา และทุกกลุ่มประเภทอาคาร โดยได้แสดงภาพแผนภูมิการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้



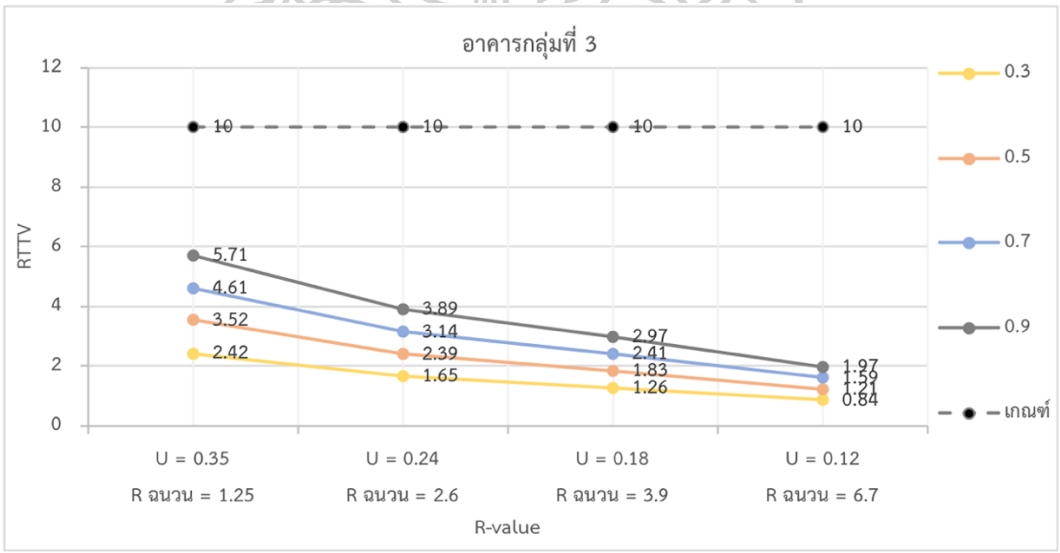
ภาพที่ 24 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 1 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย W/m^{2}°C, ค่า R มีหน่วย m^{2}°C/W และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^{2}, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 25 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 2 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย W/m^2°C, ค่า R มีหน่วย m^2°C/W และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



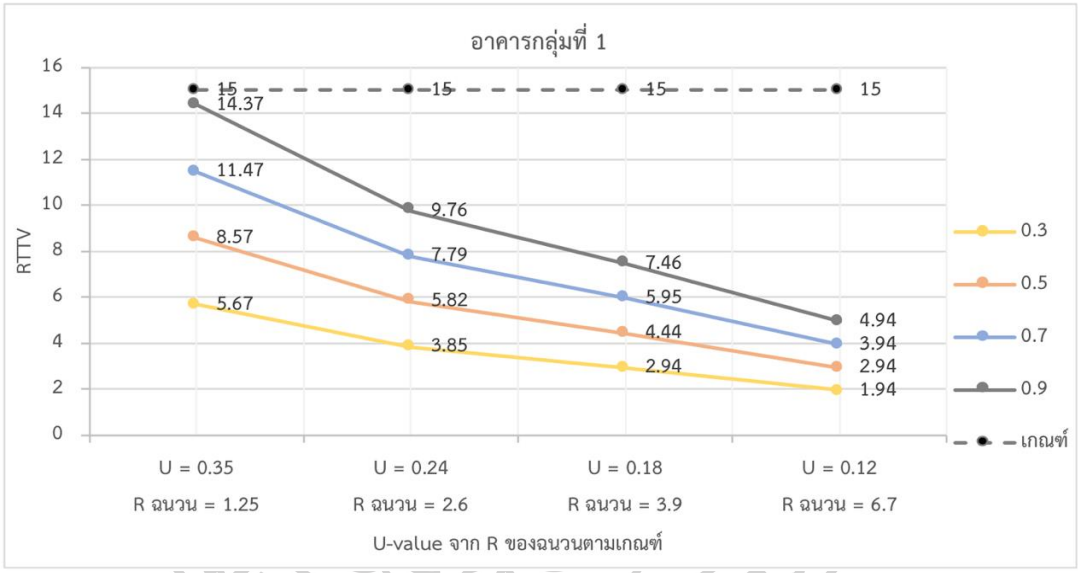
ภาพที่ 26 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 3 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย W/m^2°C, ค่า R มีหน่วย m^2°C/W และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

- หลังคาลาดชัน 15 องศา

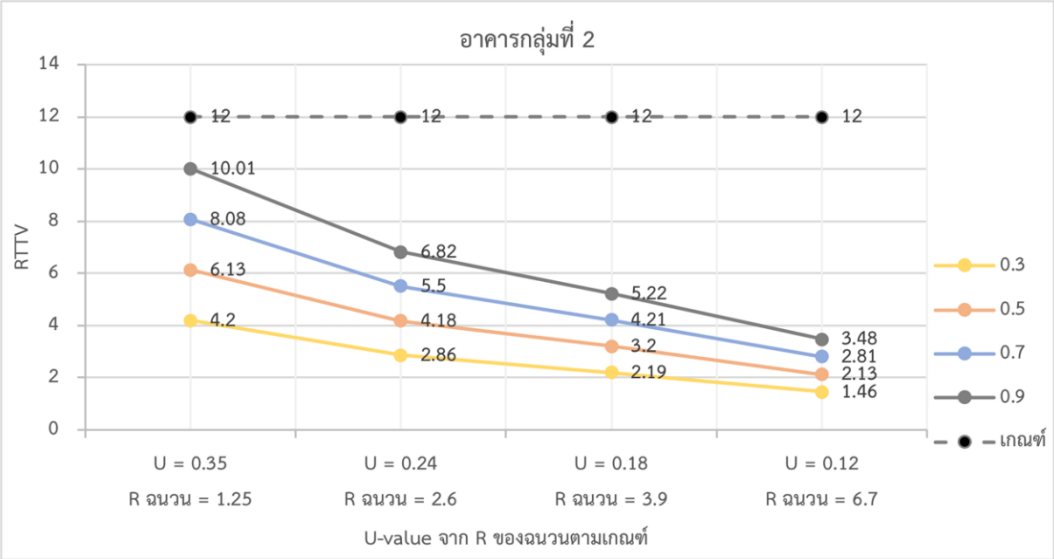
จากผลการทดสอบจึงนำค่าคุณสมบัติของฉนวน ประเภทหลังคากระเบื้อง ไม่มีช่องแสง (skylight) ความลาดชัน 15 องศา มาเปรียบเทียบแต่ละเกณฑ์ โดยแสดงในรูปแบบแผนภูมิที่แบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 กลุ่มอาคาร

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value พบว่าการใช้ฉนวนประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงาน ที่กำหนดค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R) มากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 m^{2}°C/W ก็สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ตามกฎหมายได้ ในทุกสีของหลังคา และทุกกลุ่มประเภทอาคาร โดยได้แสดงภาพแผนภูมิการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้



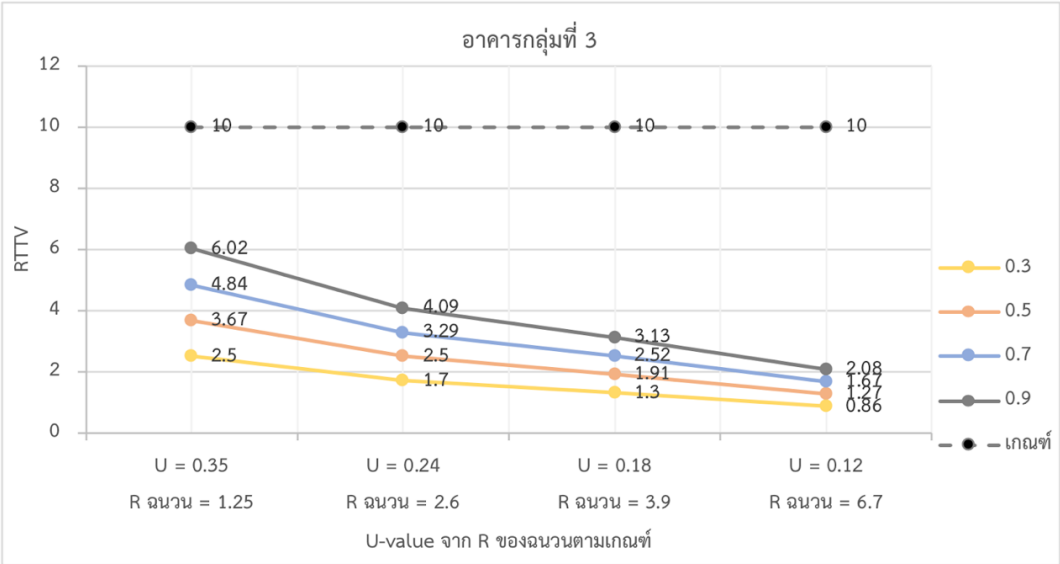
ภาพที่ 27 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 1 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย W/m^{2}°C, ค่า R มีหน่วย m^{2}°C/W และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^{2}, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 28 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 2 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย W/m^2°C, ค่า R มีหน่วย m^2°C/W และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 29 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV กับค่า R-value ของประเภทหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 3 ไม่มีช่องแสง (Skylight)

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย W/m^2°C, ค่า R มีหน่วย m^2°C/W และ ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

1.3 หลังคาที่มีช่องแสง

จากนั้นได้นำหลังคาข้างต้นที่ผ่านเกณฑ์ RTTV เมื่อใช้ฉนวนที่มีค่า R = 1.25 $m^{2\circ}C/W$ นำมาวิเคราะห์หาขนาดช่องแสงหลังคา (Skylight to Roof Ratio, SRR) ที่สามารถเจาะได้และยังผ่านเกณฑ์ RTTV ≤ 15 W/m^2 ตามเกณฑ์ BEC กำหนด

โดยค่า SRR อ้างอิงจาก เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 ที่กำหนดให้มีหลังคาโปร่งแสง ได้ไม่เกินร้อยละ 3 ของพื้นที่หลังคา ซึ่งในการทดสอบได้เลือกใช้กระจก ที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงาน เบอร์ 5 แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ กระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น Low-E รวมทั้งหมด 5 แบบ (ตามเกณฑ์ฉลากประหยัดพลังงาน[1])

ซึ่งแบ่งอัตราส่วนหลังคาโปร่งแสงต่อหลังตาทึบแสง เป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1, ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 ตามลำดับ ในการทดสอบกับหลังคา 2 แบบ เช่นเดียวกับการทดสอบในข้อ 1.1 และ 1.2 โดยรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต

เมื่อทดสอบหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ที่มีช่องแสง (skylight) ใช้ฉนวนใยแก้วเบอร์ 5 (R ของฉนวน ≥ 1.25 $m^{2\circ}C/W$) โดยทดสอบค่า SRR 3 ระดับ และคุณสมบัติกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ตามประเภทกลุ่มอาคาร ดังนี้

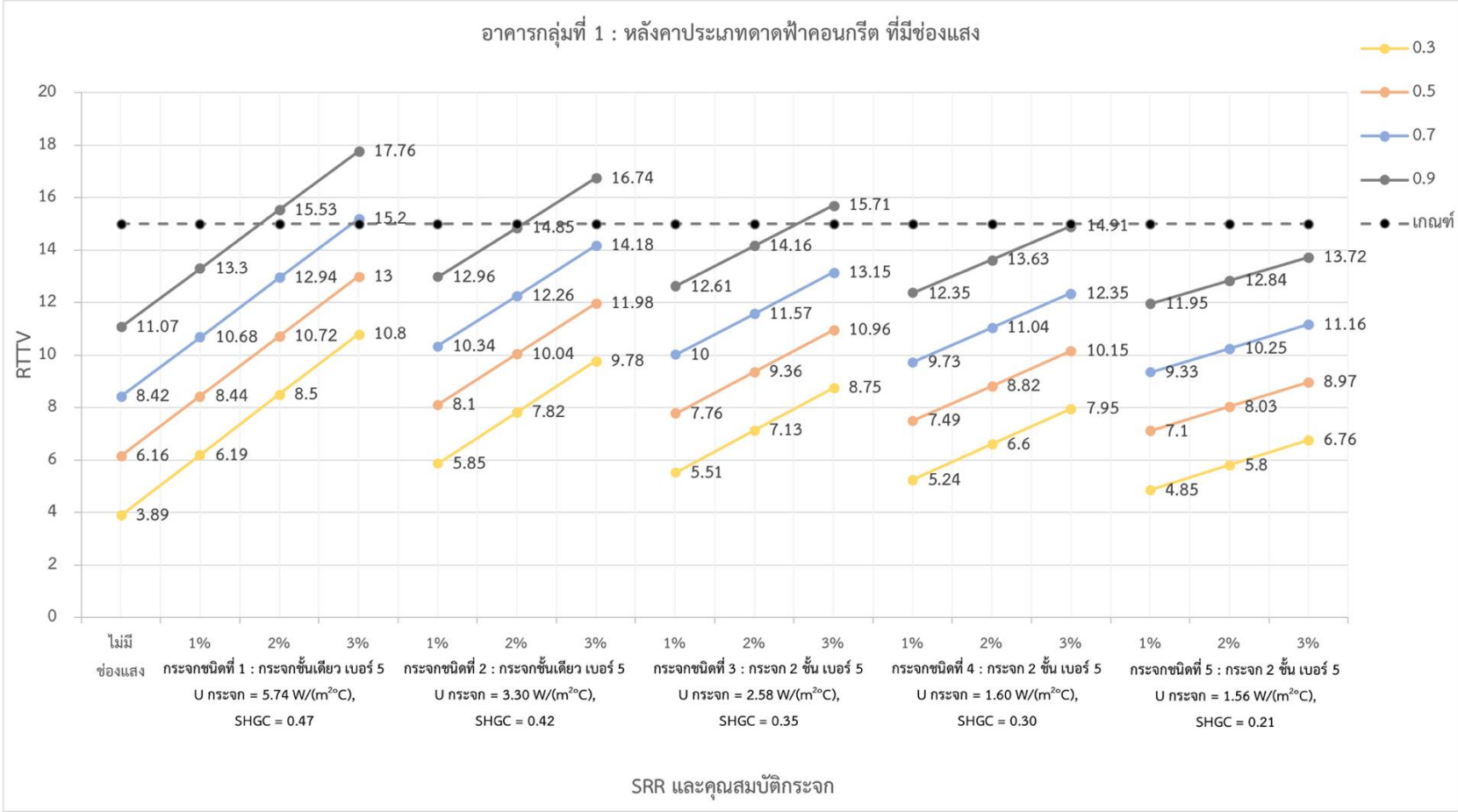
- อาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 1.60 $W/m^{2\circ}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 ทุกสีผิววัสดุหลังคา

- อาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 2.58 $W/m^{2\circ}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 เฉพาะผิววัสดุหลังคาที่มีสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

- อาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 5.74 $W/m^{2\circ}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.47 ทุกสีผิววัสดุหลังคา

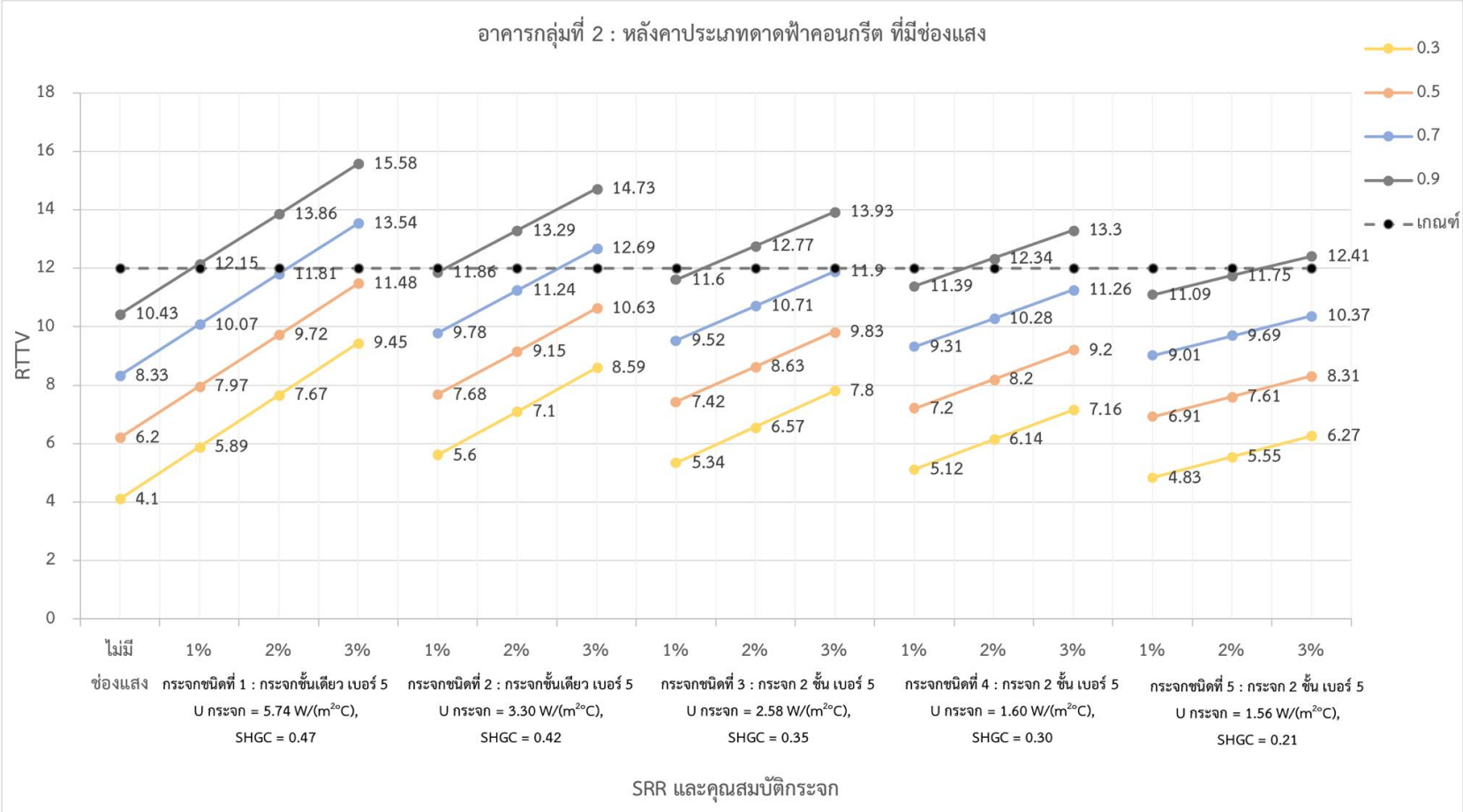
การเปรียบเทียบของแต่ละกลุ่มอาคารสามารถแสดงในรูปแบบแผนภูมิดังต่อไปนี้

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, **ฉลากประหยัดพลังงาน ประสิทธิภาพสูง,** เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2563, เข้าถึงได้จาก http://labelling.dede.go.th/survey/product/list-product-info



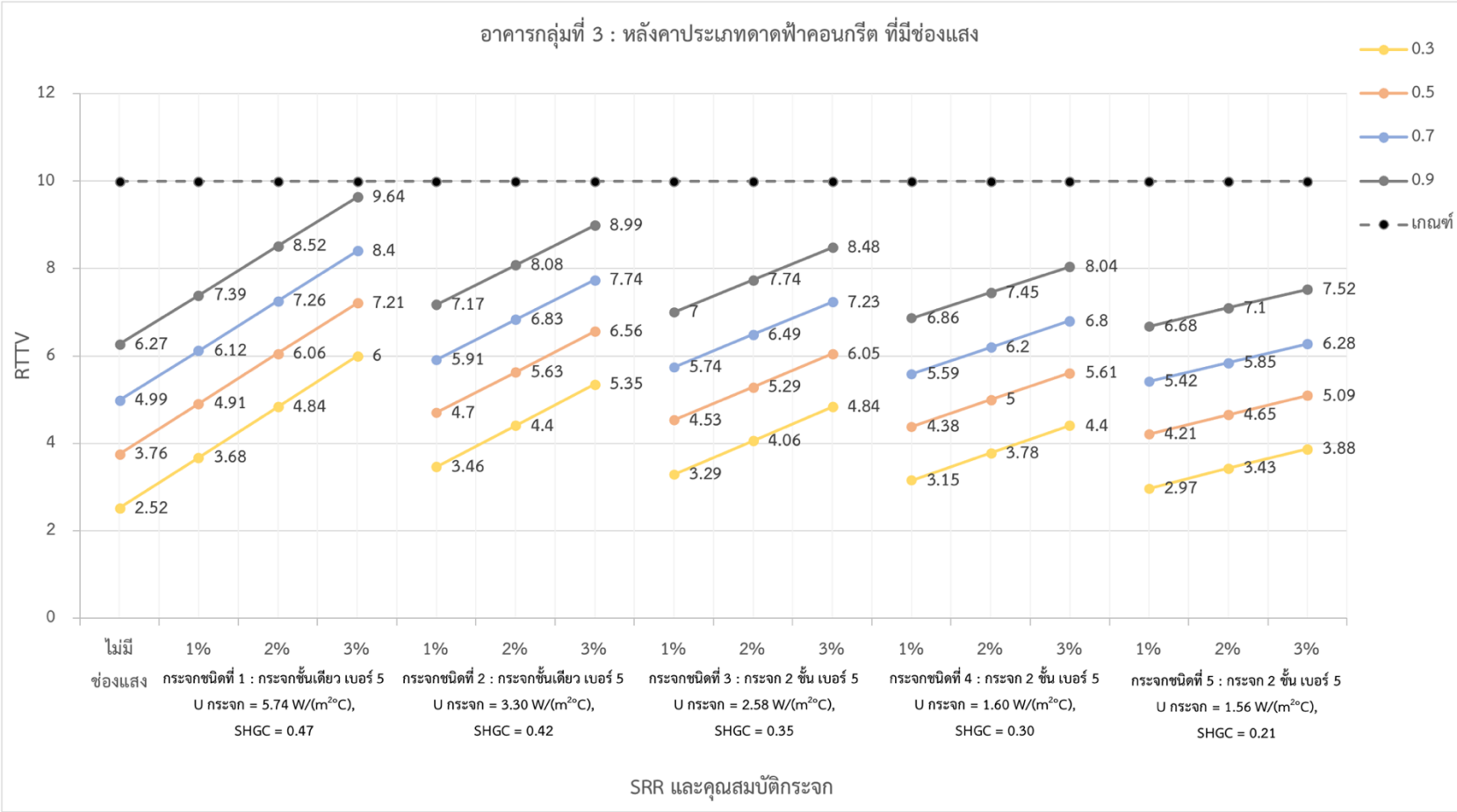
ภาพที่ 30 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 1 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 31 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 2 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 32 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต อาคารกลุ่ม 3 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2. หลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ทั้งสองความลาดชัน (45 องศา, 30 องศา และ 15 องศา) แบ่งการทดสอบอัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR) ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 1, ร้อยละ 2 และ ร้อยละ 3 ตามลำดับ ดังตารางที่ 37 โดยรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังนี้

1) <u>ความลาดชัน 45 องศา</u>

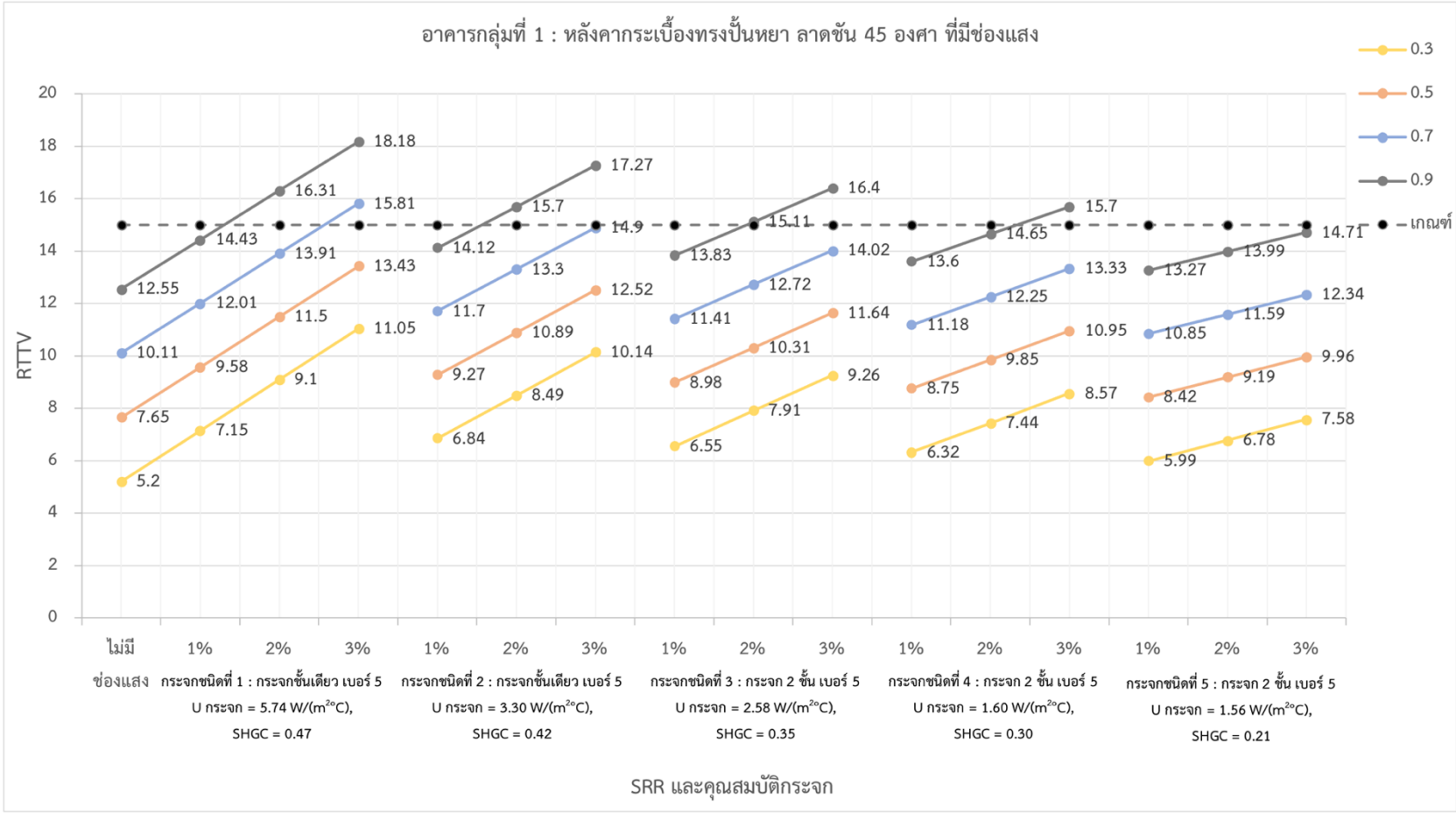
เมื่อทดสอบลังคากระเบื้องทรงปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) ใช้ฉนวนใยแก้วเบอร์ 5 (R ของฉนวน ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$) โดยทดสอบค่า SRR 3 ระดับ และคุณสมบัติกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ตามประเภทกลุ่มอาคาร ดังนี้

- อาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 3.30 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.42 เฉพาะผิววัสดุหลังคาที่มีสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

- อาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 2.58 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 ทุกสีผิววัสดุหลังคา

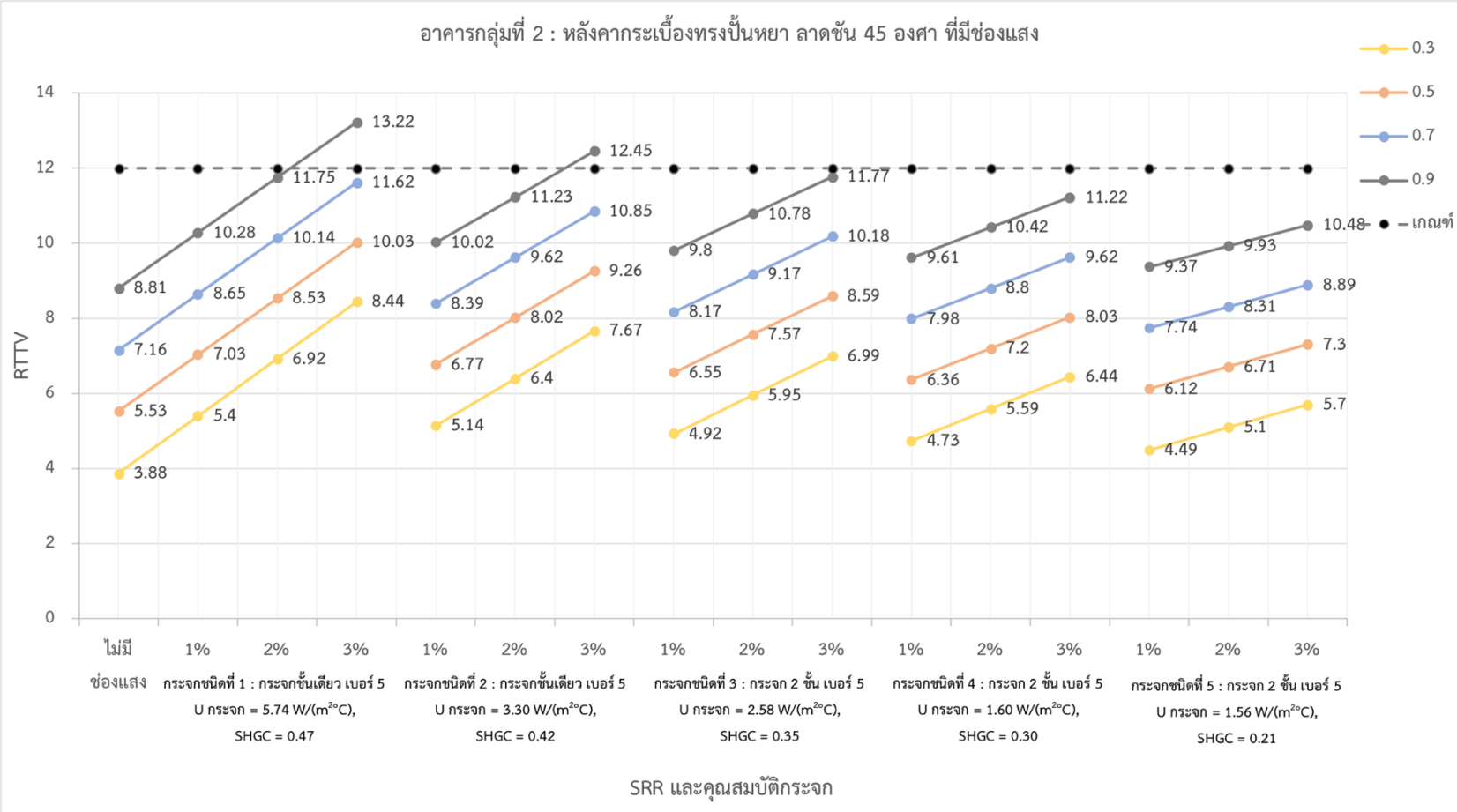
- อาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 5.74 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.47 ทุกสีผิววัสดุหลังคา

การเปรียบเทียบของแต่ละกลุ่มอาคารสามารถแสดงในรูปแบบแผนภูมิดังต่อไปนี้



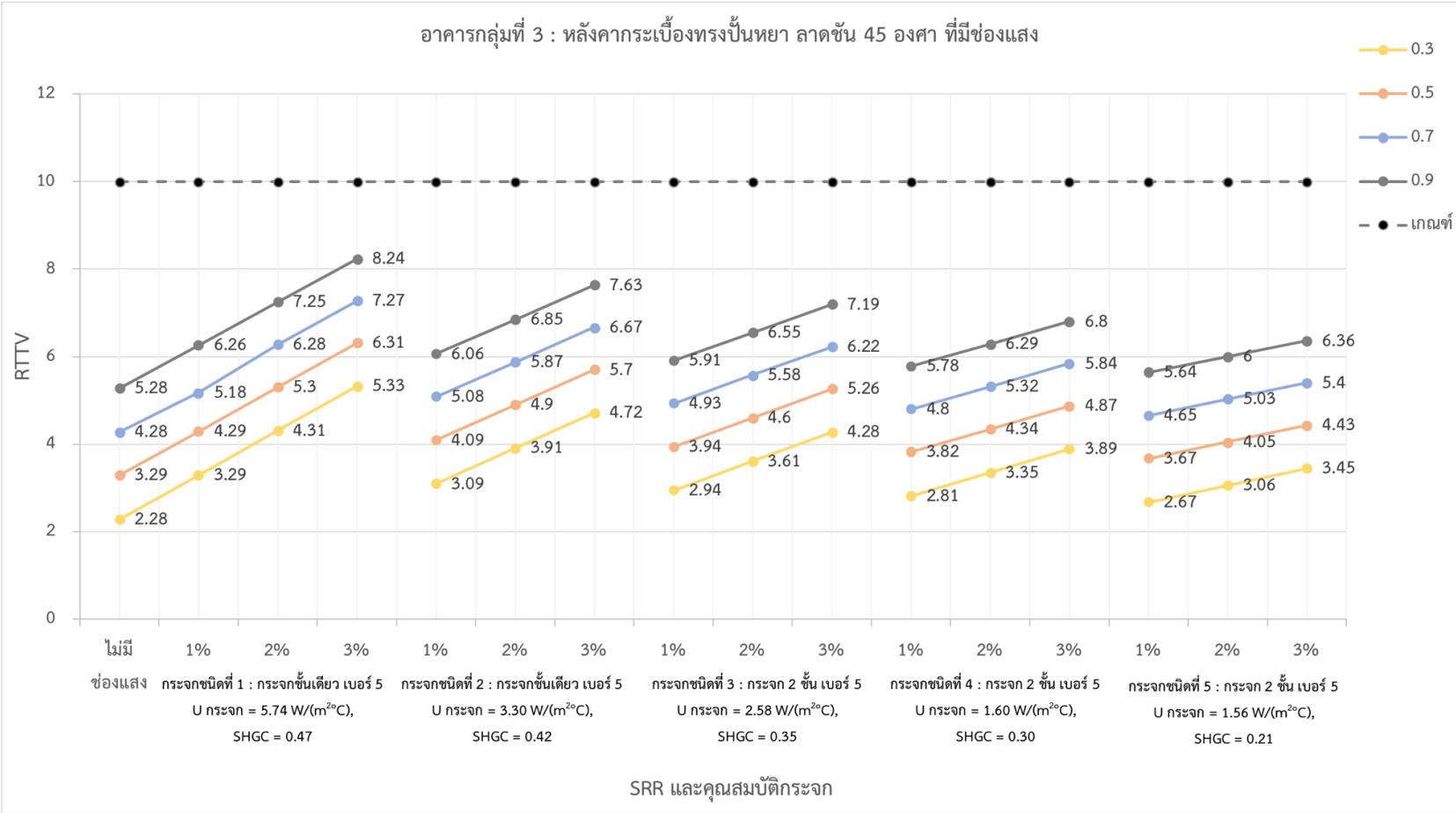
ภาพที่ 33 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 1 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 34 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 2 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 35 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา อาคารกลุ่ม 3 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) <u>ความลาดชัน 30 องศา</u>

เมื่อทดสอบลังคากระเบื้องทรงปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) ใช้ฉนวนใยแก้วเบอร์ 5 (R ของฉนวน ≥ 1.25 m^{2}°C/W) โดยทดสอบค่า SRR 3 ระดับ และทดสอบคุณสมบัติกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ตามประเภทกลุ่มอาคาร ดังนี้

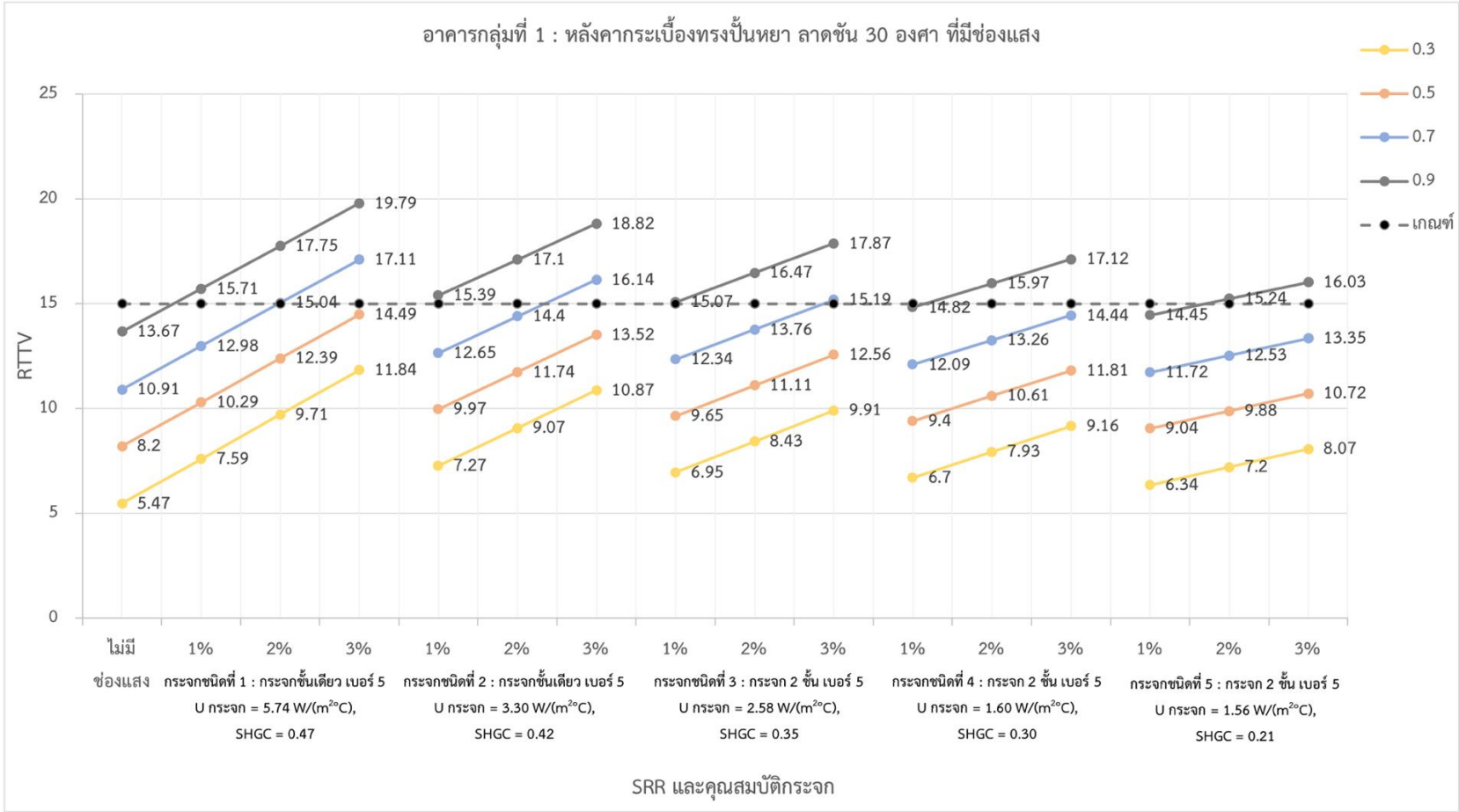
- อาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 1.60 W/m^{2}°C และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

- อาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 2.58 W/m^{2}°C และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

- อาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 5.74 W/m^{2}°C และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.47 ทุกสีผิววัสดุหลังคา

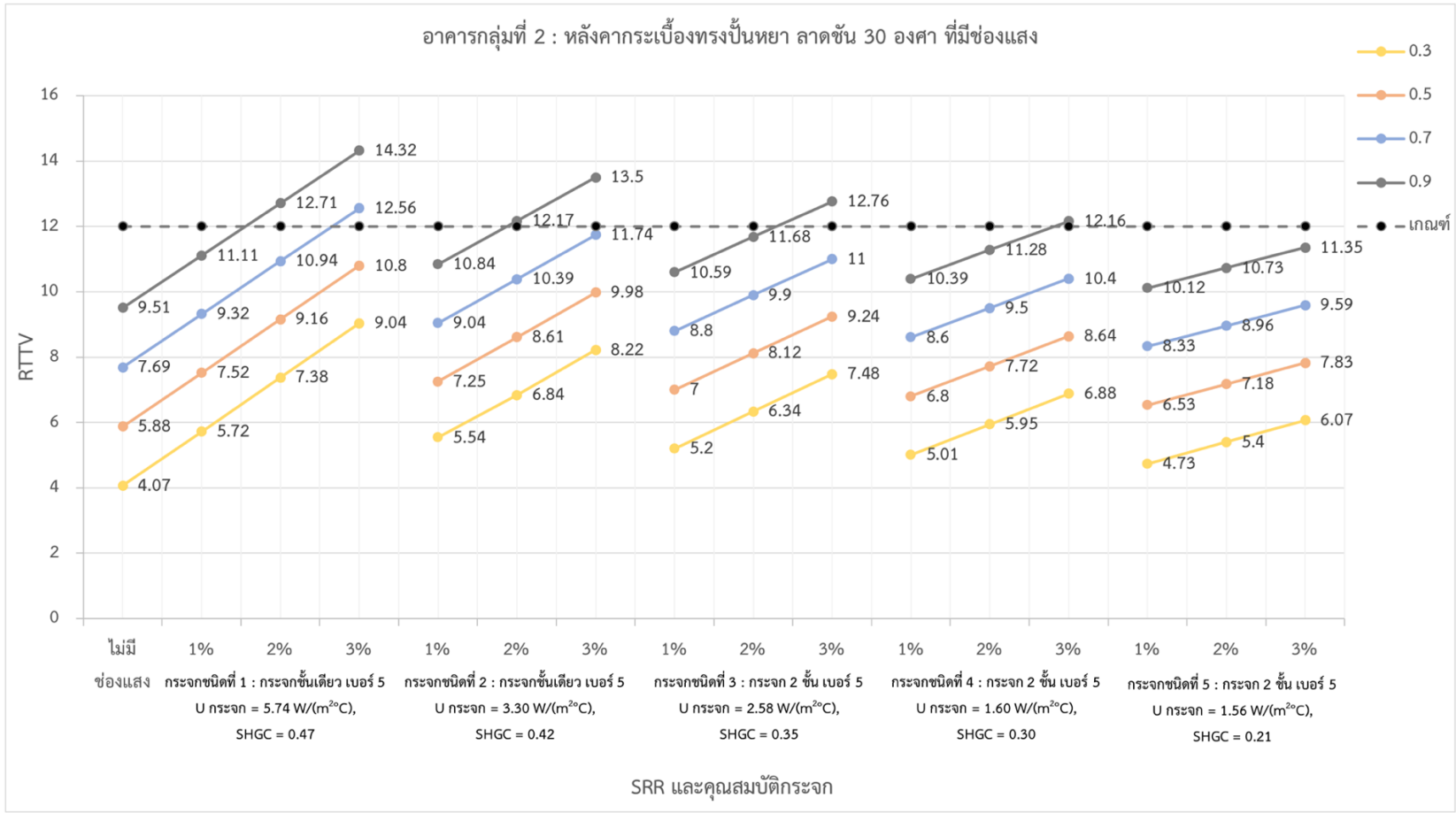
การเปรียบเทียบของแต่ละกลุ่มอาคารสามารถแสดงในรูปแบบแผนภูมิดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร



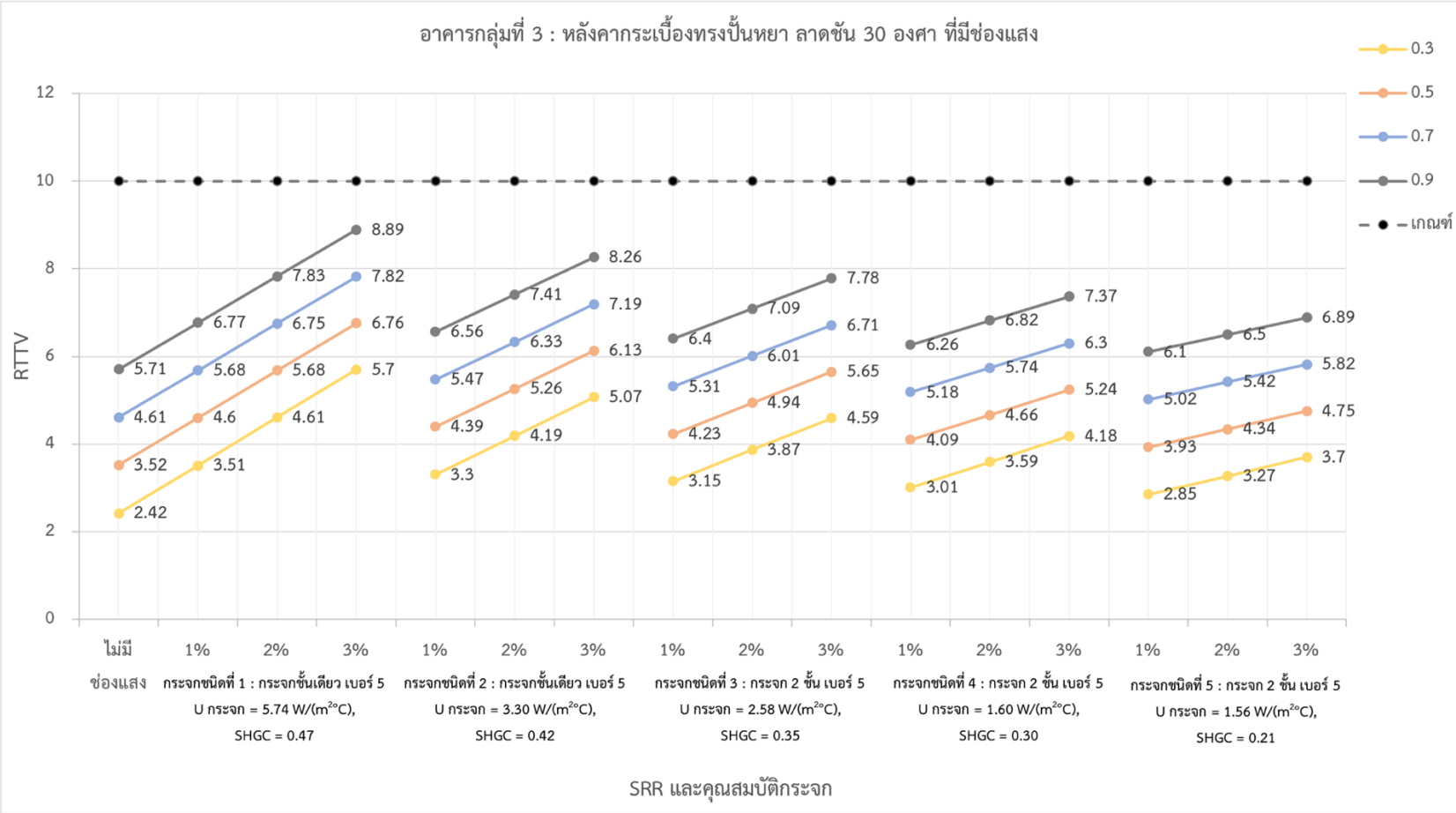
ภาพที่ 36 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 1 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 37 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 2 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 38 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา อาคารกลุ่ม 3 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

3) <u>ความลาดชัน 15 องศา</u>

เมื่อทดสอบลังคากระเบื้องทรงปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) ใช้ฉนวนใยแก้วเบอร์ 5 (R ของฉนวน ≥ 1.25 m^{2}°C/W) โดยทดสอบค่า SRR 3 ระดับ และทดสอบคุณสมบัติกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ตามประเภทกลุ่มอาคาร ดังนี้

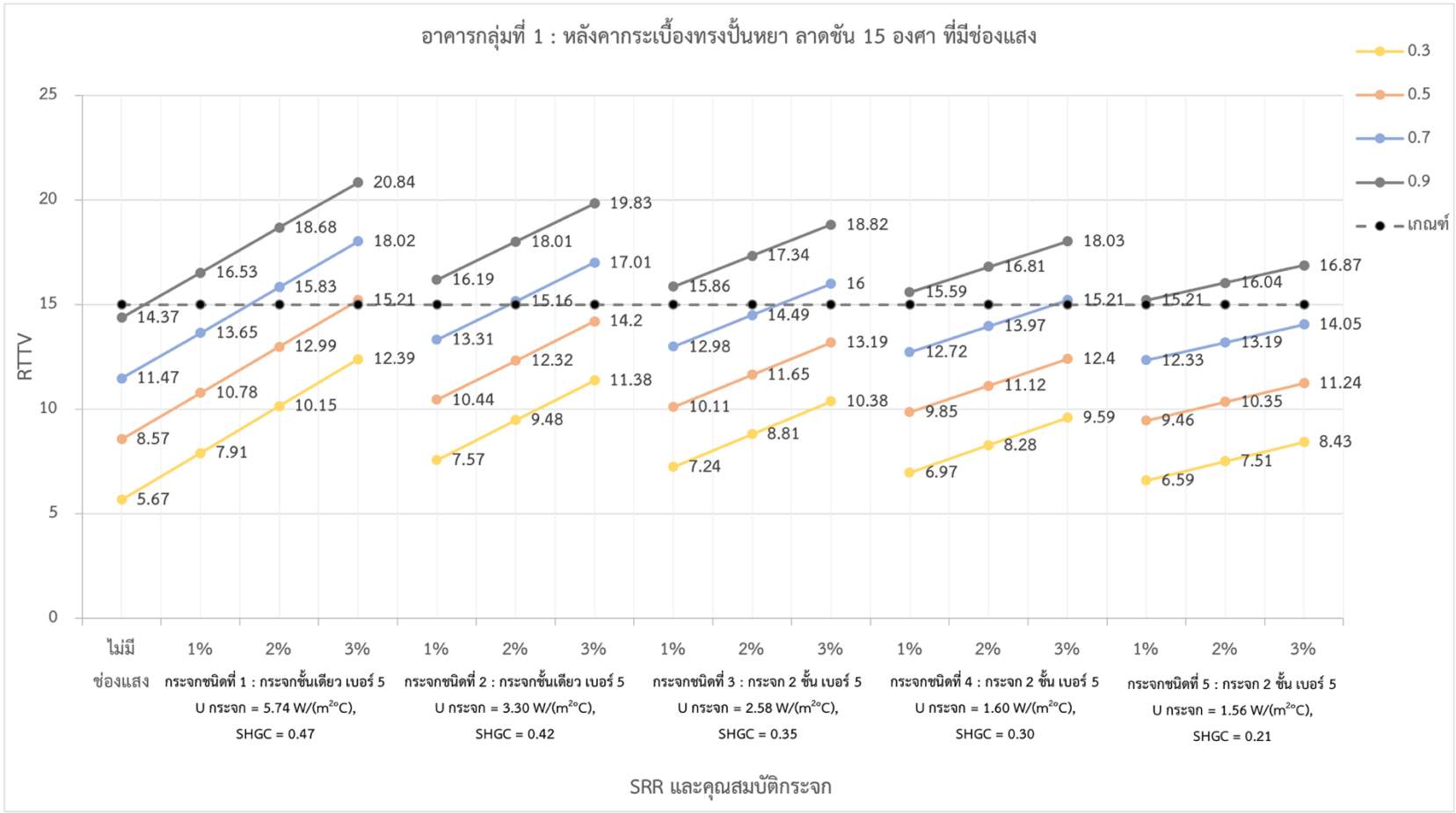
- อาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 3.30 W/m^{2}°C และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.42 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีอ่อน (0.3 - 0.5)

- อาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 2.58 W/m^{2}°C และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

- อาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 5.74 W/m^{2}°C และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.47 ทุกสีผิววัสดุหลังคา

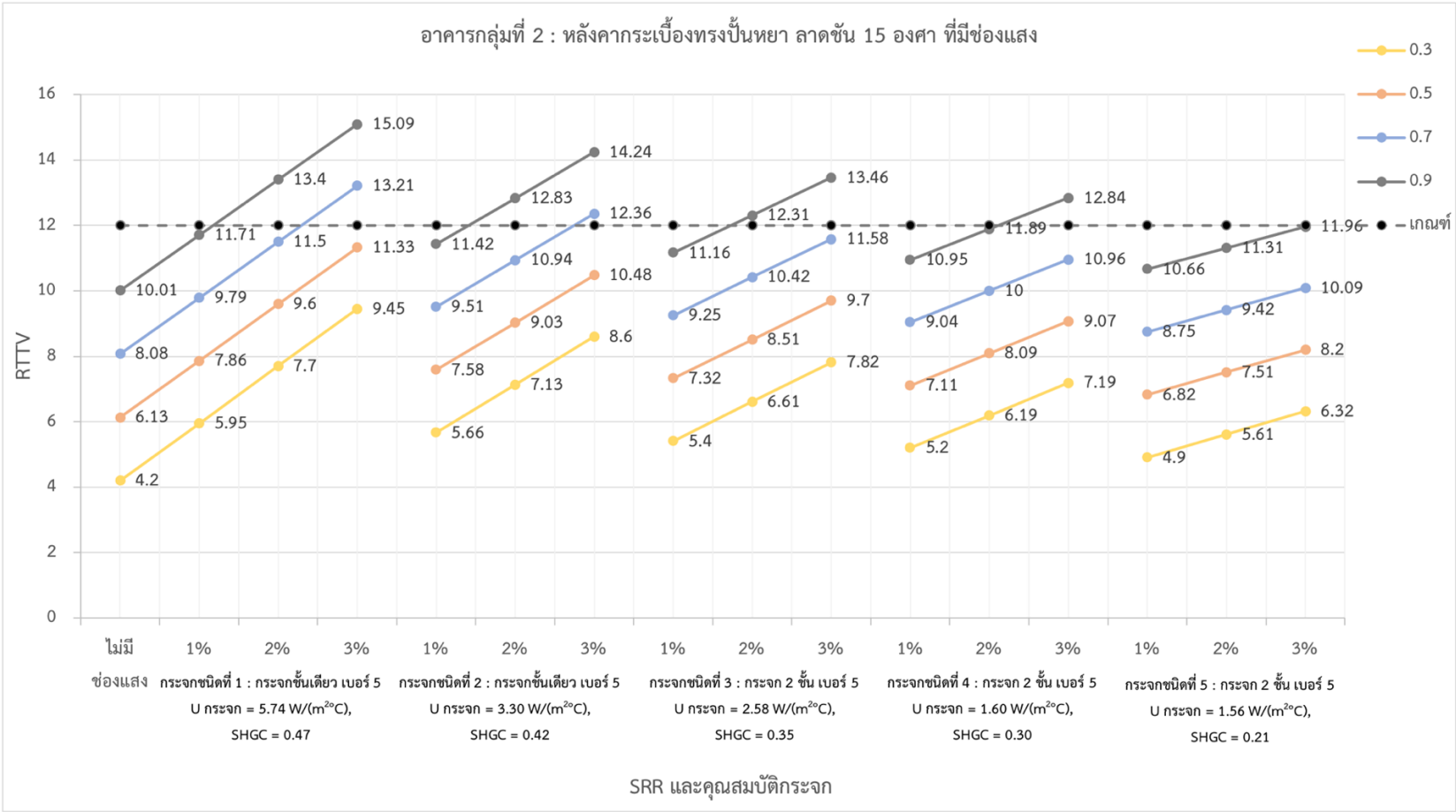
การเปรียบเทียบของแต่ละกลุ่มอาคารสามารถแสดงในรูปแบบแผนภูมิดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร



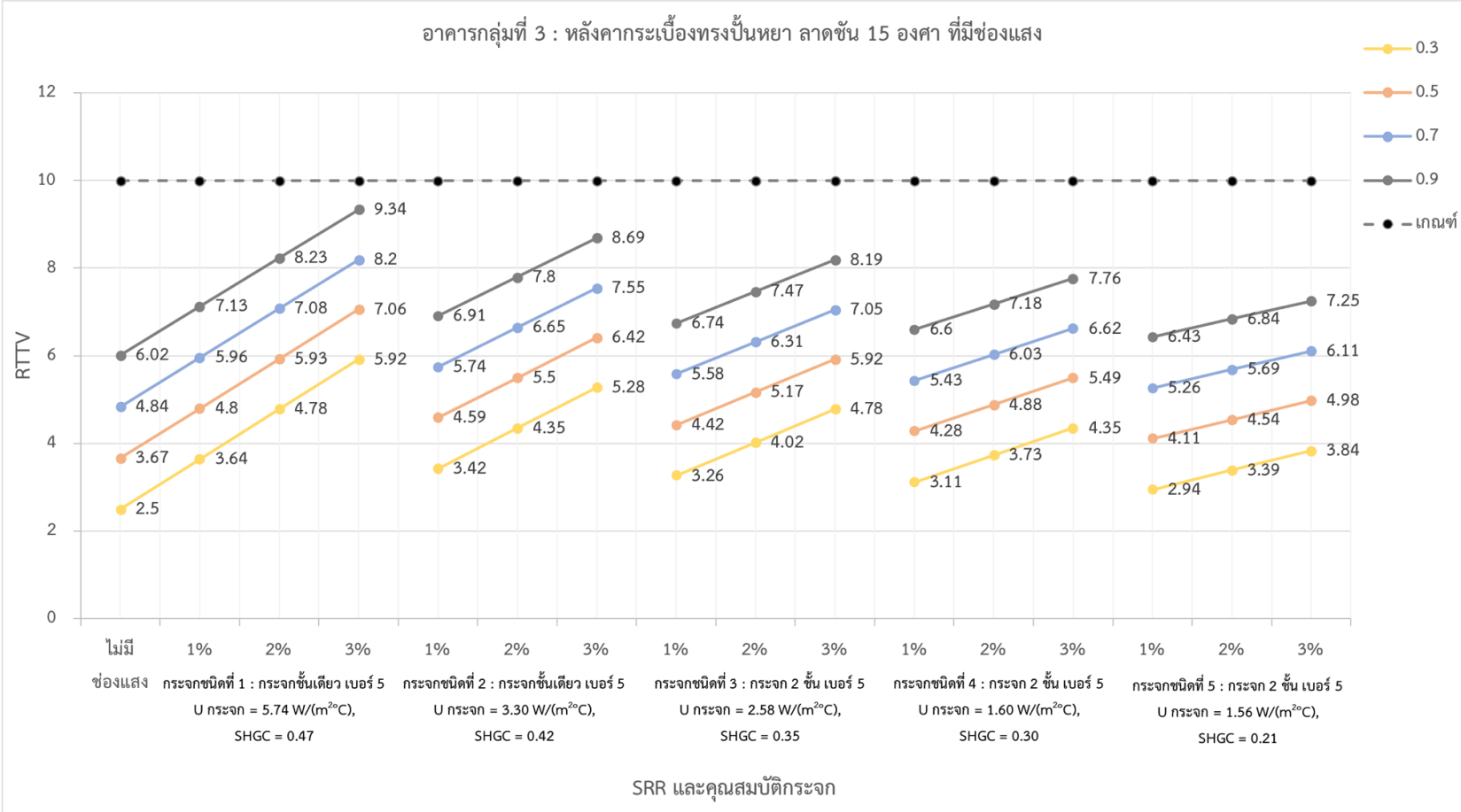
ภาพที่ 39 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 1 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 40 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 2 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 41 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา อาคารกลุ่ม 3 ที่มีช่องแสง (skylight)

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

1.4 รูปทรงของหลังคากระเบื้อง

จากการทดสอบหลังคากระเบื้อง ที่ใช้ฉนวนเบอร์ 5 ความลาดชัน 45, องศา 30 องศา และ 15 องศา ที่ผ่านมา ได้ทดสอบเฉพาะรูปทรงปั้นหยาเท่านั้น จึงได้ทดสอบกับหลังคารูปแบบอื่นๆ ได้แก่ หลังคาจั่ว และหลังคาเพิงหมาแหงน ที่ไม่มีช่องแสง และมีความกว้างความยาวของหลังคาในสัดส่วนตั้งแต่ 1:1 (สี่เหลี่ยมจัตุรัส), 1:2 (สี่เหลี่ยมผืนผ้า) และ 1:3 (สี่เหลี่ยมผืนผ้า) ตามลำดับ

1) หลังปั้นหยา แบ่งออกเป็น 3 ความลาดชัน (45, 30 และ 15 องศา) แต่ละความลาดชันแบ่ง 3 ลักษณะ คือ 1. สัดส่วน 1:1 (ทุกทิศทาง), 2. สัดส่วน 1:2 และ 3. สัดส่วน 1:3

ซึ่งสัดส่วน 1:2 และ 1:3 แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ a. ด้านยาวคือทิศเหนือกับทิศใต้ และ b. ด้านยาวคือทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก)

ผลสรุปของทดสอบของหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา, 30 องศา และ 15 องศา เมื่อไม่มีช่องแสง ในสัดส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 พบว่ายังสามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ทุกชนิดหลังคา ทุกสีผิววัสดุ และทุกประเภทอาคาร เมื่อใช้ฉนวนประสิทธิภาพสูงที่มีค่า R = 1.25 $m^{2}{}^{\circ}C/W$ โดยสามารถสรุปดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาปั้นหยา เมื่อไม่มีช่องแสง

ชนิดของหลังคา			**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา**		
			ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)	**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** (RTTV ≤ 12 W/m^2)	**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** (RTTV ≤ 10 W/m^2)
1. **หลังคาปั้นหยา ความลาดชัน** 45 **องศา**					
1.1	สัดส่วน 1:1 (ทุกทิศทาง)		5.20 - 12.55	3.88 - 8.81	2.28 - 5.28
1.2	สัดส่วน 1:2	ด้านยาว = ทิศเหนือและทิศใต้	5.16 - 12.43	3.86 - 8.73	2.26 - 5.23
		ด้านยาว = ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.23 - 12.67	3.90 - 8.89	2.29 - 5.33
1.3	สัดส่วน 1:3	ด้านยาว = ทิศเหนือและทิศใต้	5.14 - 12.37	3.85 - 8.69	2.26 - 5.20
		ด้านยาว = ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.25 - 12.73	3.29 - 8.93	2.30 - 5.35

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาปั้นหยา เมื่อไม่มีช่องแสง (ต่อ)

ชนิดของหลังคา			สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา		
			ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)	**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** (RTTV ≤ 12 W/m^2)	**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** (RTTV ≤ 10 W/m^2)
2. **หลังคาปั้นหยา ความลาดชัน** 30 **องศา**					
2.1	ส่วนส่วน 1:1 (ทุกทิศทาง)		5.47 - 13.67	4.07 - 9.51	2.42 - 5.71
2.2	สัดส่วน 1:2	ด้านยาว : ทิศเหนือและทิศใต้	5.44 - 13.60	4.05 - 9.44	2.41 - 5.68
		ด้านยาว : ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.49 - 13.74	4.08 - 9.57	2.43 - 5.75
2.3	สัดส่วน 1:3	ด้านยาว : ทิศเหนือและทิศใต้	5.43 - 13.56	4.04 - 9.41	2.41 - 5.66
		ด้านยาว : ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.51 - 13.78	4.09 - 9.60	2.44 - 5.76
3. **หลังคาปั้นหยา ความลาดชัน** 15 **องศา**					
3.1	ส่วนส่วน 1:1 (ทุกทิศทาง)		5.67 - 14.37	4.20 - 10.01	2.50 - 6.02
3.2	สัดส่วน 1:2	ด้านยาว : ทิศเหนือและทิศใต้	5.65 - 14.33	4.19 - 9.98	2.49 - 6.00
		ด้านยาว : ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.68 - 14.42	4.20 - 10.04	2.50 - 6.04
3.3	สัดส่วน 1:3	ด้านยาว : ทิศเหนือและทิศใต้	5.65 - 14.30	4.19 - 9.97	2.49 - 5.99
		ด้านยาว : ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.68 - 14.44	4.21 - 10.06	2.50 - 6.04

2) หลังคาจั่ว แบ่งออกเป็น 3 ความลาดชัน (45, 30 และ 15 องศา) ซึ่งสัดส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 มีพื้นที่หลังคาจั่วเท่ากัน ทำให้ผลการทดสอบจึงเท่ากัน ซึ่งทุกสัดส่วนแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ ลาดเอียงทิศเหนือ-ทิศใต้ และลาดเอียงทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก

ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาจั่ว ความลาดชัน 45 องศา, 30 องศา และ 15 องศา เมื่อไม่มีช่องแสง ในทุกสัดส่วน พบว่ายังสามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ทุกชนิดหลังคา ทุกสีผิววัสดุ และทุกประเภทอาคาร เมื่อใช้ฉนวนประสิทธิภาพสูงที่มีค่า R = 1.25 $m^2{}^oC/W$ โดยสามารถสรุปดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาจั่ว เมื่อไม่มีช่องแสง

ชนิดของหลังคา		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา		
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)	**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** (RTTV ≤ 12 W/m^2)	**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** (RTTV ≤ 10 W/m^2)
1. **หลังคาจั่ว ความลาดชัน** 45 **องศา (ทุกสัดส่วน)**				
1.1	ลาดเอียงทิศเหนือ-ทิศใต้	5.09 - 12.19	3.81 - 8.57	2.23 - 5.13
1.2	ลาดเอียงทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก	5.30 - 12.91	3.95 - 9.05	2.32 - 5.42
2. **หลังคาจั่ว ความลาดชัน** 30 **องศา (ทุกสัดส่วน)**				
2.1	ลาดเอียงทิศเหนือ-ทิศใต้	5.39 - 13.45	4.02 - 9.32	2.39 - 5.62
2.2	ลาดเอียงทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก	5.55 - 13.89	4.11 - 9.70	2.46 - 5.81
3. **หลังคาจั่ว ความลาดชัน** 15 **องศา (ทุกสัดส่วน)**				
3.1	ลาดเอียงทิศเหนือ-ทิศใต้	5.63 - 14.23	4.18 - 9.93	2.48 - 5.96
3.2	ลาดเอียงทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก	5.70 - 14.51	4.22 - 10.10	2.51 - 6.07

3) หลังคาเพิงหมาแหงน แบ่งออกเป็น 3 ความลาดชัน (45, 30 และ 15 องศา) ซึ่งสัดส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 มีพื้นที่หลังคาเพิงหมาแหงนเท่ากัน ทำให้ผลการทดสอบจึงเท่ากัน ซึ่งทุกความลาดชันแบ่งออกเป็น 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ, ทิศตะวันออก, ทิศตะวันตก และทิศใต้

ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาเพิงหมาแหงน ความลาดชัน 45 องศา, 30 องศา และ 15 องศา เมื่อไม่มีช่องแสง ในทุกสัดส่วน พบว่ายังสามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ทุกชนิดหลังคา ทุกสีผิว

วัสดุ และทุกประเภทอาคาร เมื่อใช้ฉนวนประสิทธิภาพสูงที่มีค่า R = 1.25 $m^2{}^oC/W$ โดยสามารถสรุปดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบค่า RTTV ของชนิดหลังคาเพิงหมาแหงน เมื่อไม่มีช่องแสง

ชนิดของหลังคา		**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา**		
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)	**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** (RTTV ≤ 12 W/m^2)	**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** (RTTV ≤ 10 W/m^2)
1. **หลังคาเพิงหมาแหงน ความลาดชัน** 45 **องศา**				
1.1	ทิศเหนือ	4.69 - 10.78	3.57 - 7.69	2.06 - 4.57
1.2	ทิศตะวันออก	5.32 - 13.02	3.85 - 8.68	2.34 - 5.51
1.3	ทิศใต้	5.49 - 13.61	4.06 - 9.45	2.41 - 5.69
1.4	ทิศตะวันตก	5.28 - 12.80	4.05 - 9.41	2.30 - 5.34
2. **หลังคาเพิงหมาแหงน ความลาดชัน** 30 **องศา**				
2.1	ทิศเหนือ	5.11 - 12.50	3.84 - 8.71	2.27 - 5.20
2.2	ทิศตะวันออก	5.57 - 13.96	4.02 - 9.38	2.48 - 5.86
2.3	ทิศใต้	5.67 - 14.40	4.20 - 9.92	2.51 - 6.03
2.4	ทิศตะวันตก	5.53 - 13.82	4.20 - 10.01	2.44 - 5.76
3. **หลังคาเพิงหมาแหงน ความลาดชัน** 15 **องศา**				
3.1	ทิศเหนือ	5.49 - 13.68	4.09 - 9.59	2.41 - 5.75
3.2	ทิศตะวันออก	5.70 - 14.55	4.16 - 9.91	2.51 - 6.11
3.3	ทิศใต้	5.77 - 14.79	4.27 - 10.26	2.55 - 6.18
3.4	ทิศตะวันตก	5.70 - 14.48	4.27 - 10.30	2.51 - 6.04

2. ผนังด้านนอกอาคาร

การกำหนดค่า WWR (จากบทที่ 3) แบ่งเป็น 2 แบบ คือ 1) WWR เท่ากับ 0.4 และ 2) WWR เท่ากับ 0.35 ซึ่งมีค่า U ของผนังทึบที่ต่างกัน

โดยผนังทั้ง 2 ชนิด คือ 1.ผนังมวลสาร และ 2.ผนังโครงเคร่า ซึ่งทดสอบกับกระจก ที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงาน เบอร์ 5 สองประเภท คือ 1) กระจกชั้นเดียว และ 2) กระจก 2 ชั้น Low-E จำนวน 5 ชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ผนังมวลสาร (Mass Wall) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1. ผนังคอนกรีตมวลเบา และ 2. ผนังอิฐมอญ

1. ผนังคอนกรีตมวลเบา ใช้ค่าจาก 2 เกณฑ์ คือ

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.5 $W/m^{2o}C$

โดยในการทดสอบได้ค่า U เท่ากับ 1.20 $W/m^{2o}C$ และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 68.04 kJ/m^2C

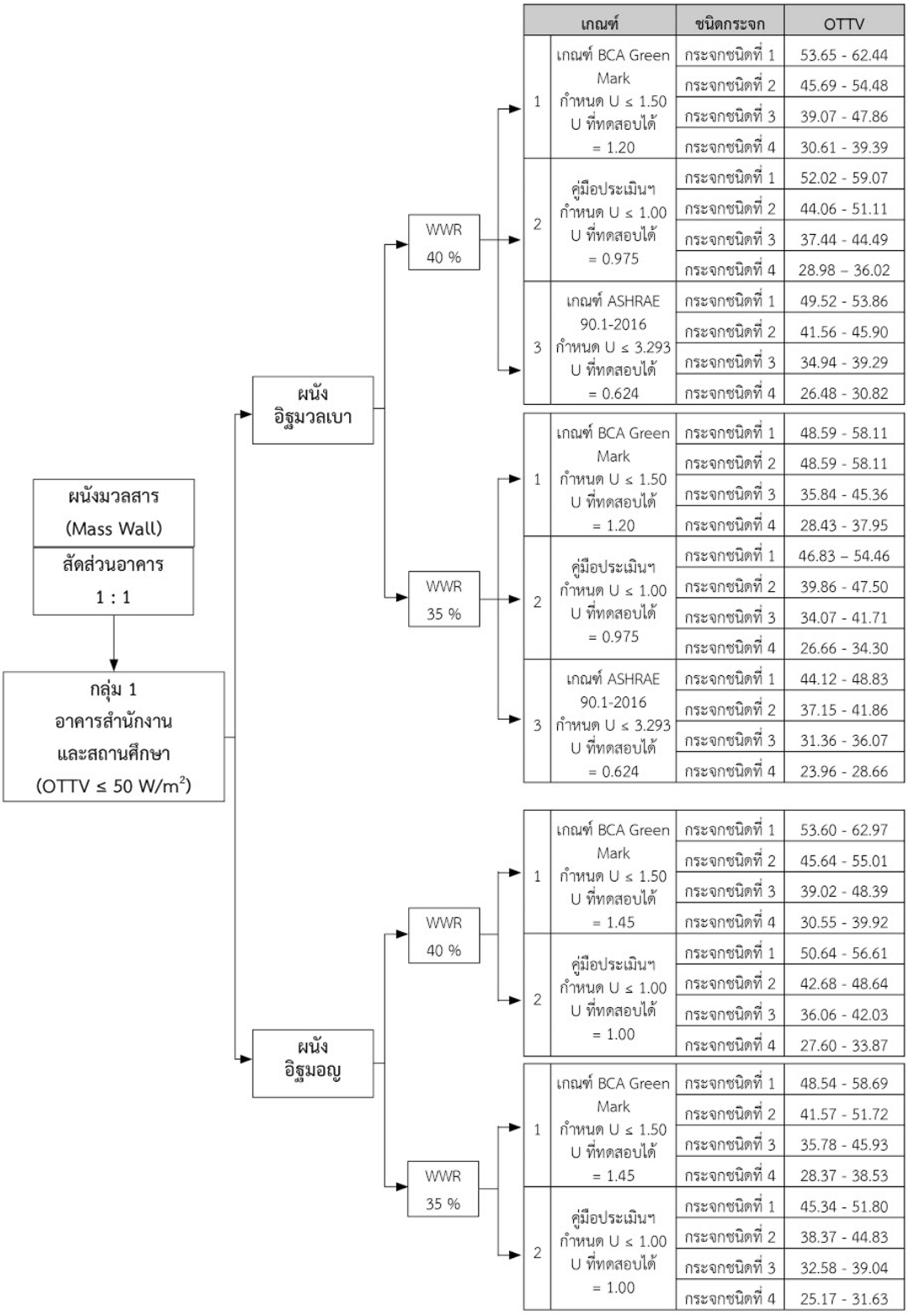
2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ กำหนด **U** ผนังทึบ ≤ 1.0 $W/m^{2o}C$

โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = <u>0.98</u> $W/m^{2o}C$ และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 80.64 kJ/m^2C

3) เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016, ผนังมวลสาร (Mass Wall) กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 3.293 $W/m^{2o}C$ ซึ่งต้องมีน้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 122 kg/m^2 ของพื้นที่ผนังที่วัสดุมีน้ำหนักไม่เกิน 1,900 kg/m^3 และมีความจุความร้อนมากกว่าหรือเท่ากับ 102 kJ/m^2C

โดยคำนวณวัสดุได้ค่า U เท่ากับ <u>0.624</u> $W/m^{2o}C$ มีน้ำหนักเท่ากับ 141 kg/m^2 วัสดุน้ำหนักเท่ากับ 1,800 kg/m^3 และความจุความร้อนเท่ากับ 118 kJ/m^2C เป็นไปตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2016

จากการทดสอบค่าเพื่อผ่านเกณฑ์ OTTV สามารถสรุปผลของผนังมวลสาร ในสัดส่วนอาคาร 1:1 ของทุกกลุ่มอาคาร ซึ่งผลการทดสอบค่า U ของผนังทึบแต่ละเกณฑ์ และทดสอบกับกระจก 4 ชนิด โดยแบ่งอัตราส่วน WWR จำนวน 2 ค่า คือ 40 และ 35 สามารถสรุปผลเป็นดังต่อไปนี้



	เกณฑ์	ชนิดกระจก	OTTV
1	เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.20	กระจกชนิดที่ 1	53.65 - 62.44
		กระจกชนิดที่ 2	45.69 - 54.48
		กระจกชนิดที่ 3	39.07 - 47.86
		กระจกชนิดที่ 4	30.61 - 39.39
2	คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 0.975	กระจกชนิดที่ 1	52.02 - 59.07
		กระจกชนิดที่ 2	44.06 - 51.11
		กระจกชนิดที่ 3	37.44 - 44.49
		กระจกชนิดที่ 4	28.98 – 36.02
3	เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนด U ≤ 3.293 U ที่ทดสอบได้ = 0.624	กระจกชนิดที่ 1	49.52 - 53.86
		กระจกชนิดที่ 2	41.56 - 45.90
		กระจกชนิดที่ 3	34.94 - 39.29
		กระจกชนิดที่ 4	26.48 - 30.82

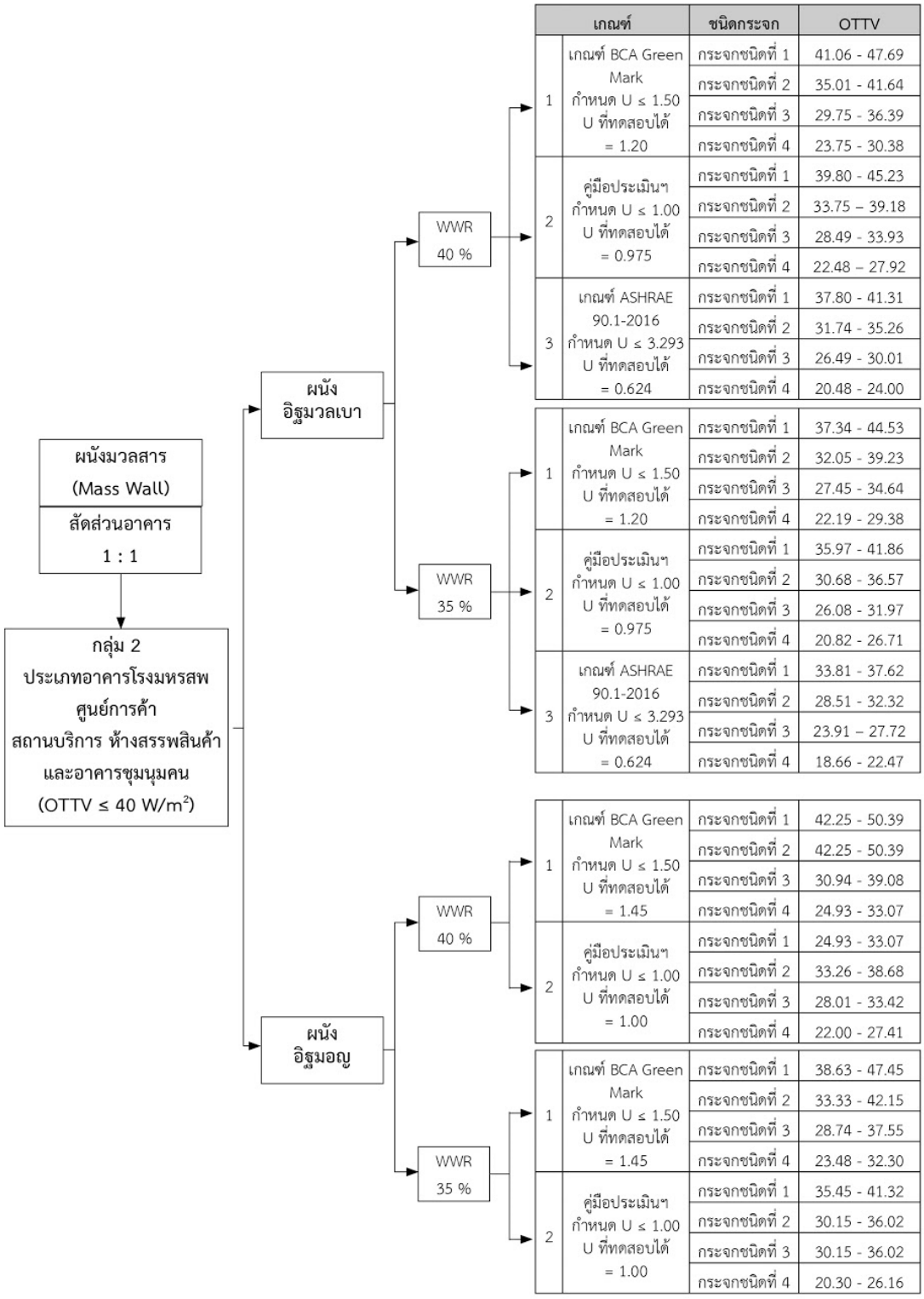
1	เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.20	กระจกชนิดที่ 1	48.59 - 58.11
		กระจกชนิดที่ 2	48.59 - 58.11
		กระจกชนิดที่ 3	35.84 - 45.36
		กระจกชนิดที่ 4	28.43 - 37.95
2	คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 0.975	กระจกชนิดที่ 1	46.83 – 54.46
		กระจกชนิดที่ 2	39.86 - 47.50
		กระจกชนิดที่ 3	34.07 - 41.71
		กระจกชนิดที่ 4	26.66 - 34.30
3	เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนด U ≤ 3.293 U ที่ทดสอบได้ = 0.624	กระจกชนิดที่ 1	44.12 - 48.83
		กระจกชนิดที่ 2	37.15 - 41.86
		กระจกชนิดที่ 3	31.36 - 36.07
		กระจกชนิดที่ 4	23.96 - 28.66

1	เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.45	กระจกชนิดที่ 1	53.60 - 62.97
		กระจกชนิดที่ 2	45.64 - 55.01
		กระจกชนิดที่ 3	39.02 - 48.39
		กระจกชนิดที่ 4	30.55 - 39.92
2	คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 1.00	กระจกชนิดที่ 1	50.64 - 56.61
		กระจกชนิดที่ 2	42.68 - 48.64
		กระจกชนิดที่ 3	36.06 - 42.03
		กระจกชนิดที่ 4	27.60 - 33.87

1	เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.45	กระจกชนิดที่ 1	48.54 - 58.69
		กระจกชนิดที่ 2	41.57 - 51.72
		กระจกชนิดที่ 3	35.78 - 45.93
		กระจกชนิดที่ 4	28.37 - 38.53
2	คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 1.00	กระจกชนิดที่ 1	45.34 - 51.80
		กระจกชนิดที่ 2	38.37 - 44.83
		กระจกชนิดที่ 3	32.58 - 39.04
		กระจกชนิดที่ 4	25.17 - 31.63

ภาพที่ 42 แผนภูมิการทดสอบค่า OTTV ของผนังมวลสาร อาคารกลุ่มที่ 1

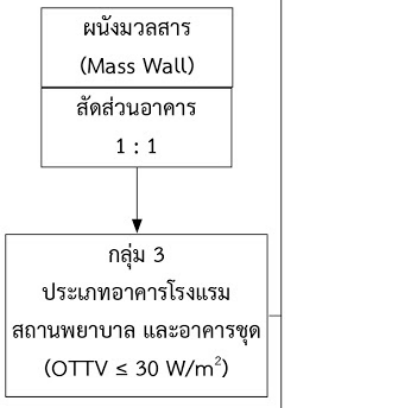
หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2o}C$ และค่า OTTV มีหน่วย W/m^2



	เกณฑ์	ชนิดกระจก	OTTV
1	เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.20	กระจกชนิดที่ 1	41.06 - 47.69
		กระจกชนิดที่ 2	35.01 - 41.64
		กระจกชนิดที่ 3	29.75 - 36.39
		กระจกชนิดที่ 4	23.75 - 30.38
2	คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 0.975	กระจกชนิดที่ 1	39.80 - 45.23
		กระจกชนิดที่ 2	33.75 – 39.18
		กระจกชนิดที่ 3	28.49 - 33.93
		กระจกชนิดที่ 4	22.48 – 27.92
3	เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนด U ≤ 3.293 U ที่ทดสอบได้ = 0.624	กระจกชนิดที่ 1	37.80 - 41.31
		กระจกชนิดที่ 2	31.74 - 35.26
		กระจกชนิดที่ 3	26.49 - 30.01
		กระจกชนิดที่ 4	20.48 - 24.00
1	เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.20	กระจกชนิดที่ 1	37.34 - 44.53
		กระจกชนิดที่ 2	32.05 - 39.23
		กระจกชนิดที่ 3	27.45 - 34.64
		กระจกชนิดที่ 4	22.19 - 29.38
2	คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 0.975	กระจกชนิดที่ 1	35.97 - 41.86
		กระจกชนิดที่ 2	30.68 - 36.57
		กระจกชนิดที่ 3	26.08 - 31.97
		กระจกชนิดที่ 4	20.82 - 26.71
3	เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนด U ≤ 3.293 U ที่ทดสอบได้ = 0.624	กระจกชนิดที่ 1	33.81 - 37.62
		กระจกชนิดที่ 2	28.51 - 32.32
		กระจกชนิดที่ 3	23.91 – 27.72
		กระจกชนิดที่ 4	18.66 - 22.47
1	เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.45	กระจกชนิดที่ 1	42.25 - 50.39
		กระจกชนิดที่ 2	42.25 - 50.39
		กระจกชนิดที่ 3	30.94 - 39.08
		กระจกชนิดที่ 4	24.93 - 33.07
2	คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 1.00	กระจกชนิดที่ 1	24.93 - 33.07
		กระจกชนิดที่ 2	33.26 - 38.68
		กระจกชนิดที่ 3	28.01 - 33.42
		กระจกชนิดที่ 4	22.00 - 27.41
1	เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.45	กระจกชนิดที่ 1	38.63 - 47.45
		กระจกชนิดที่ 2	33.33 - 42.15
		กระจกชนิดที่ 3	28.74 - 37.55
		กระจกชนิดที่ 4	23.48 - 32.30
2	คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 1.00	กระจกชนิดที่ 1	35.45 - 41.32
		กระจกชนิดที่ 2	30.15 - 36.02
		กระจกชนิดที่ 3	30.15 - 36.02
		กระจกชนิดที่ 4	20.30 - 26.16

ภาพที่ 43 แผนภูมิการทดสอบค่า OTTV ของผนังมวลสาร อาคารกลุ่มที่ 2

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2o}C$ และค่า OTTV มีหน่วย W/m^2



	เกณฑ์	ชนิดกระจก	OTTV
ผนังอิฐมวลเบา WWR 40 %	1 เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.20	กระจกชนิดที่ 1	27.53 - 31.48
		กระจกชนิดที่ 2	23.24 - 27.19
		กระจกชนิดที่ 3	19.25 - 23.20
		กระจกชนิดที่ 4	15.50 - 19.46
	2 คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 0.975	กระจกชนิดที่ 1	26.81 - 30.04
		กระจกชนิดที่ 2	22.52 - 25.75
		กระจกชนิดที่ 3	18.53 – 21.75
		กระจกชนิดที่ 4	14.79 – 18.01
	3 เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนด U ≤ 3.293 U ที่ทดสอบได้ = 0.624	กระจกชนิดที่ 1	25.69 - 27.78
		กระจกชนิดที่ 2	21.41 - 23.49
		กระจกชนิดที่ 3	17.41 - 19.50
		กระจกชนิดที่ 4	13.67 - 15.76
ผนังอิฐมวลเบา WWR 35 %	1 เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.20	กระจกชนิดที่ 1	24.89 - 29.17
		กระจกชนิดที่ 2	21.14 - 25.42
		กระจกชนิดที่ 3	17.64 - 21.92
		กระจกชนิดที่ 4	14.37 - 18.65
	2 คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 0.975	กระจกชนิดที่ 1	24.11 - 27.60
		กระจกชนิดที่ 2	20.36 - 23.85
		กระจกชนิดที่ 3	16.86 - 20.36
		กระจกชนิดที่ 4	13.59 - 17.08
	3 เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนด U ≤ 3.293 U ที่ทดสอบได้ = 0.624	กระจกชนิดที่ 1	22.90 - 25.16
		กระจกชนิดที่ 2	19.15 - 21.41
		กระจกชนิดที่ 3	15.65 - 17.92
		กระจกชนิดที่ 4	12.38 - 14.64
ผนังอิฐมอญ WWR 40 %	1 เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.45	กระจกชนิดที่ 1	28.39 - 33.33
		กระจกชนิดที่ 2	24.10 - 29.04
		กระจกชนิดที่ 3	20.11 - 25.05
		กระจกชนิดที่ 4	16.37 - 21.30
	2 คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 1.00	กระจกชนิดที่ 1	27.15 - 30.77
		กระจกชนิดที่ 2	22.87 - 26.49
		กระจกชนิดที่ 3	18.87 - 22.49
		กระจกชนิดที่ 4	15.13 - 18.75
ผนังอิฐมอญ WWR 35 %	1 เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนด U ≤ 1.50 U ที่ทดสอบได้ = 1.45	กระจกชนิดที่ 1	25.82 - 31.17
		กระจกชนิดที่ 2	22.07 - 27.42
		กระจกชนิดที่ 3	18.58 - 23.92
		กระจกชนิดที่ 4	15.30 - 20.65
	2 คู่มือประเมินฯ กำหนด U ≤ 1.00 U ที่ทดสอบได้ = 1.00	กระจกชนิดที่ 1	24.48 - 28.40
		กระจกชนิดที่ 2	20.73 - 24.65
		กระจกชนิดที่ 3	17.24 - 21.16
		กระจกชนิดที่ 4	13.96 - 17.88

ภาพที่ 44 แผนภูมิการทดสอบค่า OTTV ของผนังมวลสาร อาคารกลุ่มที่ 3

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2o}C$ และค่า OTTV มีหน่วย W/m^2

1) สัดส่วนอาคาร 1:1

ผลการทดสอบเกณฑ์ OTTV ผนังด้านนอกอาคาร ประเภทผนังคอนกรีตมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 และทดสอบกับกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียวเบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) สามารถสรุปเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) และอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)

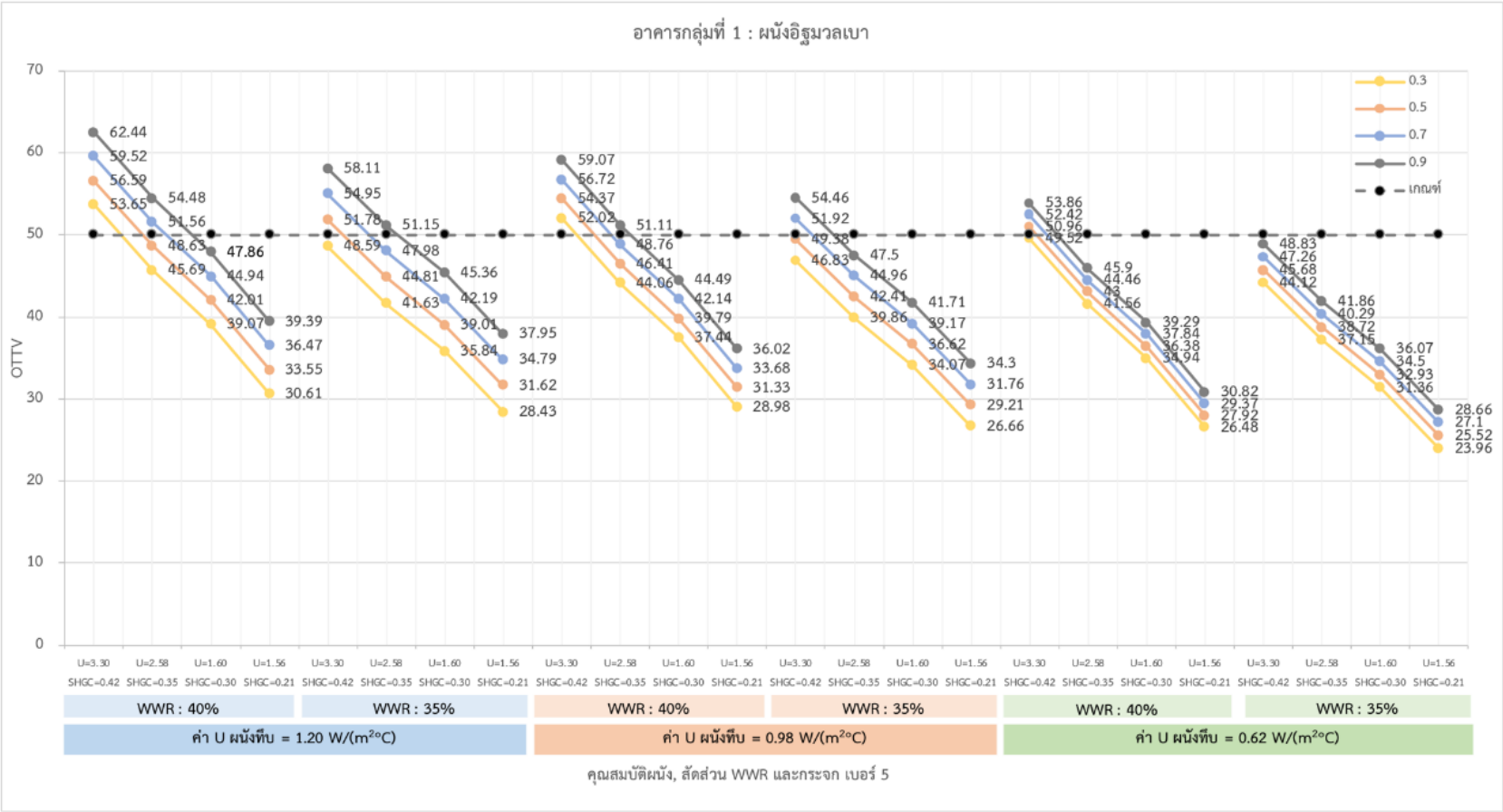
1. สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.20 $W/m^{2\circ}C$, อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 1.60 $W/m^{2\circ}C$ และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

กรณีที่ 2 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

2. สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.20 $W/m^{2\circ}C$, อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.85 $W/m^{2\circ}C$ และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

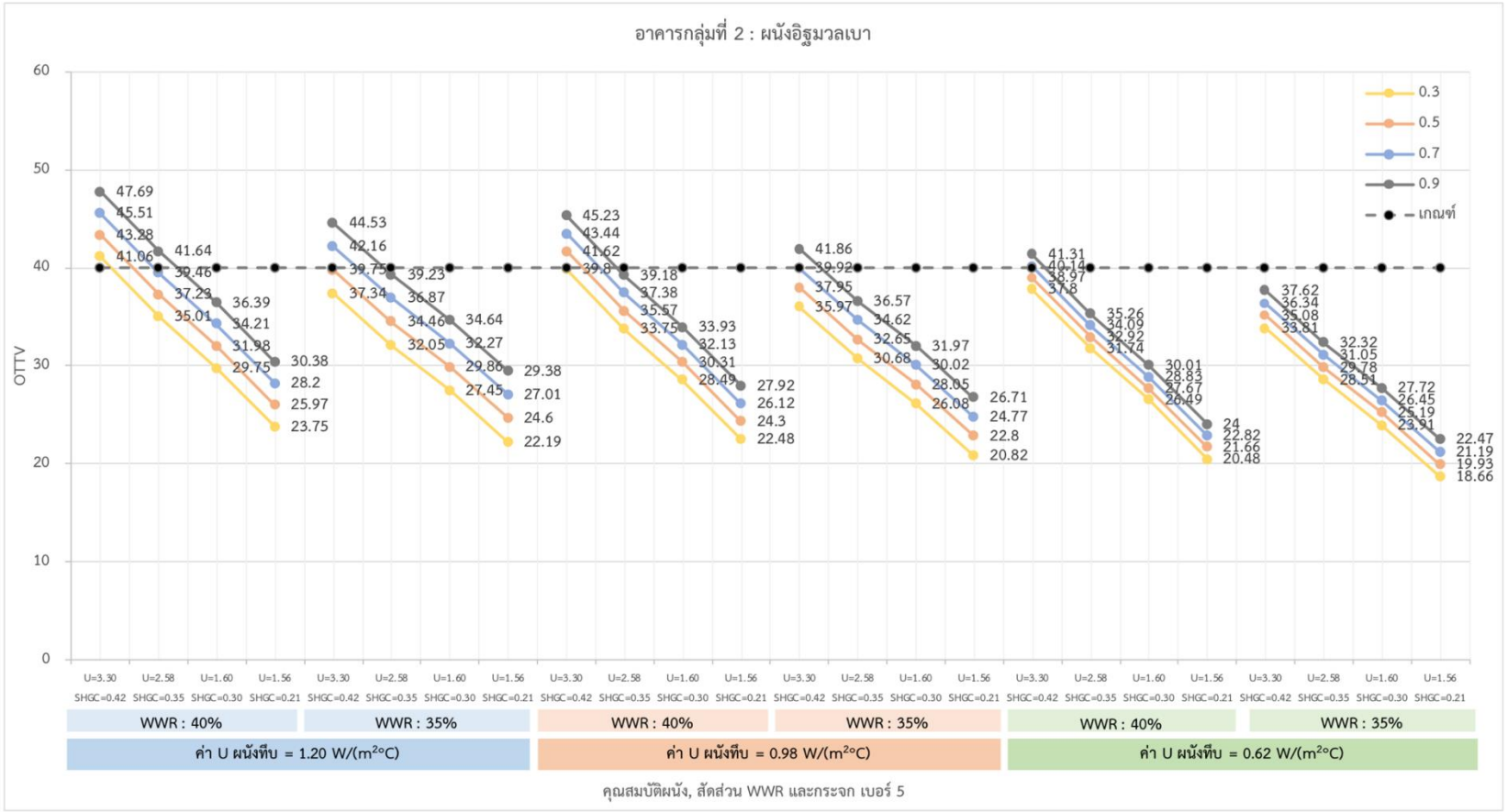
โดยแสดงในรูปแบบแผนภูมิเป็นแต่ละกลุ่มอาคาร ดังภาพที่ 44, 45 และ 46

มหาวิทยาลัยศิลปากร



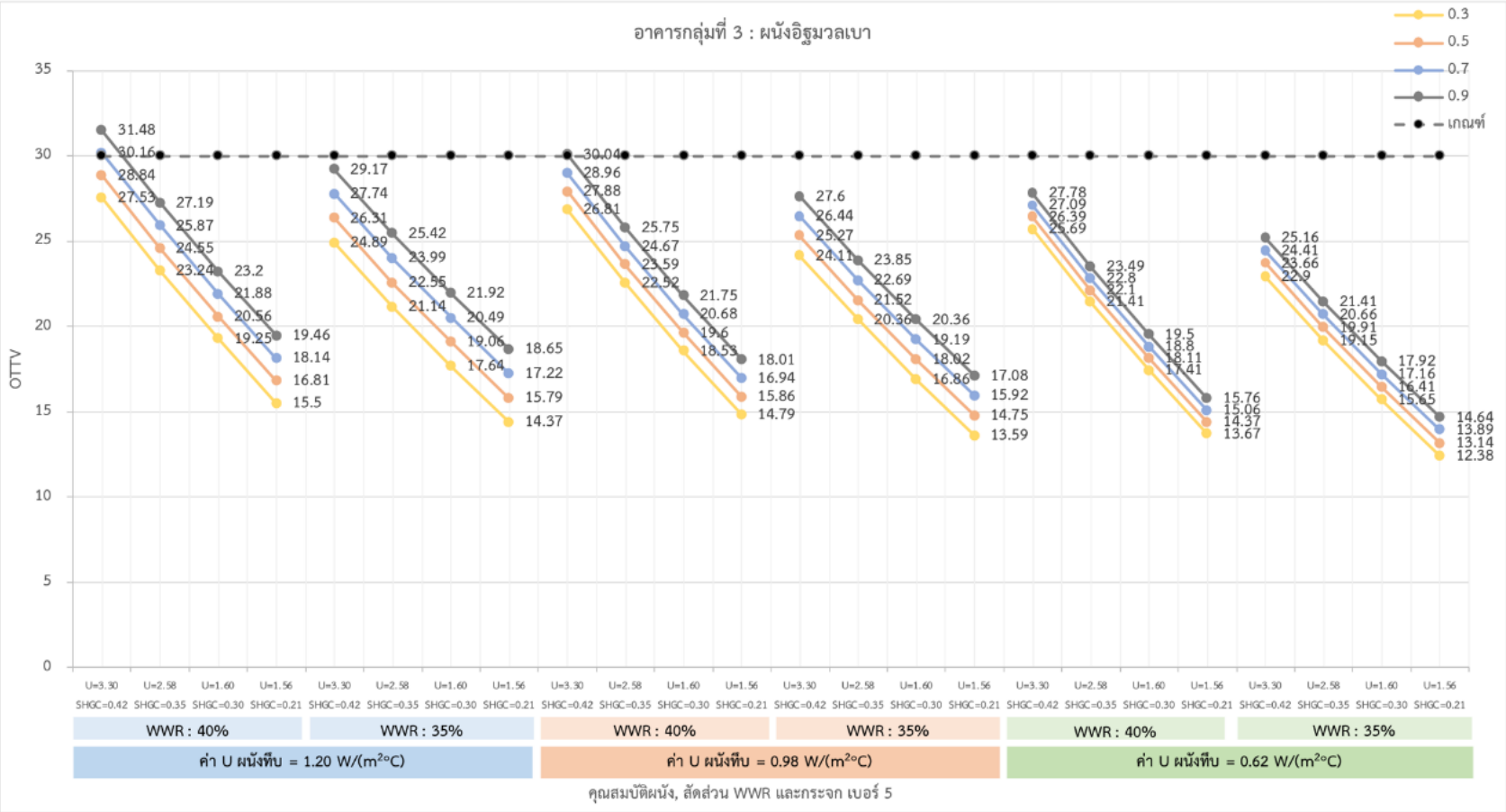
ภาพที่ 45 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังคอนกรีตมวลเบา อาคารกลุ่ม 1

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 46 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังคอนกรีตมวลเบา อาคารกลุ่ม 2

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 47 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังคอนกรีตมวลเบา อาคารกลุ่ม 3

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) สัดส่วนอาคาร 1:2 และ 1:3

จากการทดสอบผนังคอนกรีตมวลเบา ที่มีค่า U เท่ากับ 1.20 W/m^{2}°C ประกอบกับกำหนดการใช้กระจกตามที่สรุปข้างต้น ก็เพียงพอที่สามารถผ่าน OTTV สำหรับอาคารที่มีสัดส่วน 1:1 (มีความกว้างและความยาวรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส) เท่านั้น

ดังนั้นจึงได้ทดสอบกับสัดส่วนอาคารอีก 2 สัดส่วน ที่มีความกว้างและความยาวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า คือ สัดส่วน 1:2 และ 1:3 โดยแต่ละสัดส่วนอาคารแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1. สัดส่วนที่มีด้านยาวในทิศเหนือกับทิศใต้ และ 2. สัดส่วนที่มีด้านยาวในทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก

โดยผลการวิเคราะห์ผนังคอนกรีตมวลเบา ที่กำหนดสัดส่วนอาคาร 1:2 กับ 1:3 และอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 กับ 35 โดยใช้ค่า U เท่ากับ 1.20 W/m^{2}°C ซึ่งทดสอบกับกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียวเบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) จำนวน 4 ชนิด สามารถสรุปเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) และอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)

1. สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.20 W/m^{2}°C, อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 1.60 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

กรณีที่ 2 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

2. สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.20 W/m^{2}°C, อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.85 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการทดสอบของผนังอิฐมวลเบา ที่มีสัดส่วนอาคาร 1:2 และ 1:3 ตรงกับผลการทดสอบของสัดส่วนอาคาร 1:1

2.2 ผนังอิฐมอญ โดยเลือกกำหนดคุณสมบัติจากเกณฑ์ 2 เกณฑ์ คือ

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.45 W/m^{2}°C, ค่า U-factor ของผนังกระจก ≤ 2.80 W/m^{2}°C โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = 1.45 W/m^{2}°C เท่ากับเกณฑ์ และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 194.56 kJ/m^{2}C

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ กำหนด U ผนังทึบ ≤ 1.00 W/m^{2}°C โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = 1.00 W/m^{2}°C เท่ากับเกณฑ์ และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 358.88 kJ/m^{2}C

จากการทดสอบค่าเพื่อผ่านเกณฑ์ OTTV สามารถสรุปผลของผนังอิฐมอญ ในสัดส่วนอาคาร 1:1 ของทุกกลุ่มอาคาร ซึ่งผลการทดสอบค่า U ของผนังทึบแต่ละเกณฑ์ สามารถสรุปผลเป็นดังต่อไปนี้

1) สัดส่วนอาคาร 1:1

ผลการวิเคราะห์ผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 จึงนำมาเปรียบเทียบในรูปแบบแผนภูมิ โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นแต่ละกลุ่มอาคาร รวมถึงทดสอบกับกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียวเบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) สามารถสรุปเป็น 2 กรณี ดังนี้

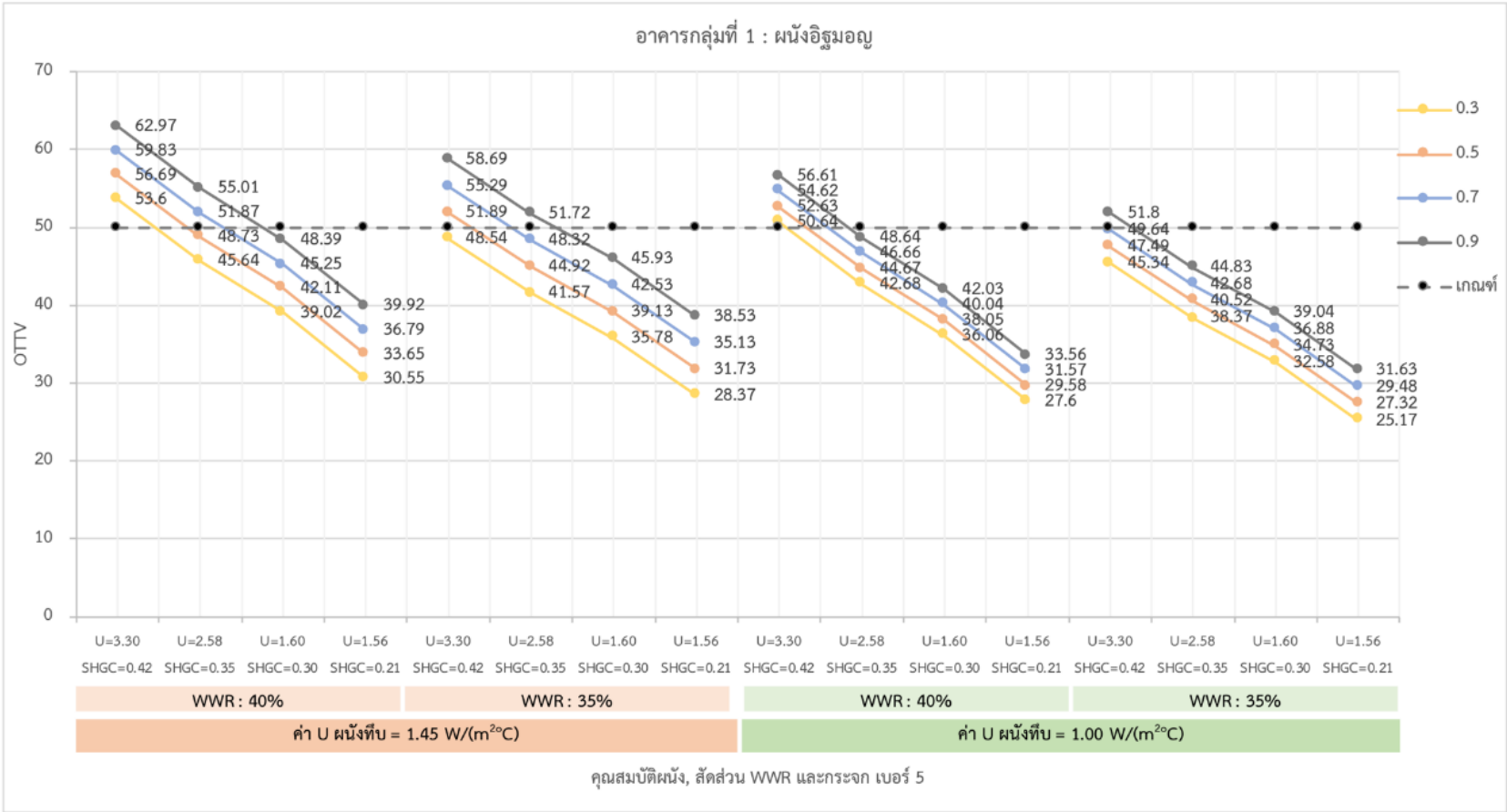
กรณีที่ 1 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) และอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)

1. สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.45 W/m^{2}°C, อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 1.60 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

กรณีที่ 2 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

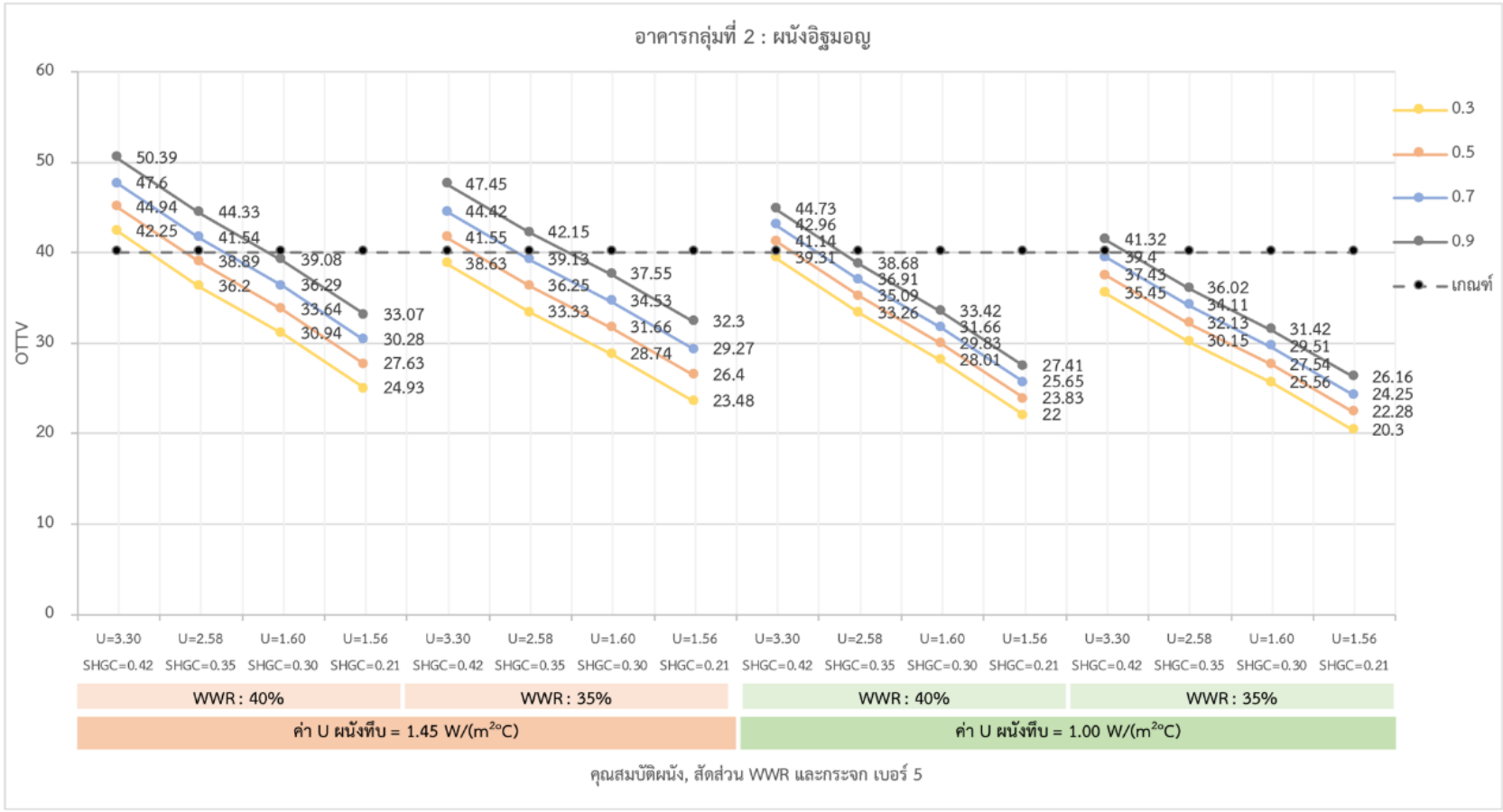
2. สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.45 W/m^{2}°C, อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.85 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

โดยแสดงในรูปแบบแผนภูมิ แบ่งเป็นแต่ละกลุ่มอาคาร ดังภาพที่ 47, 48 และ 49



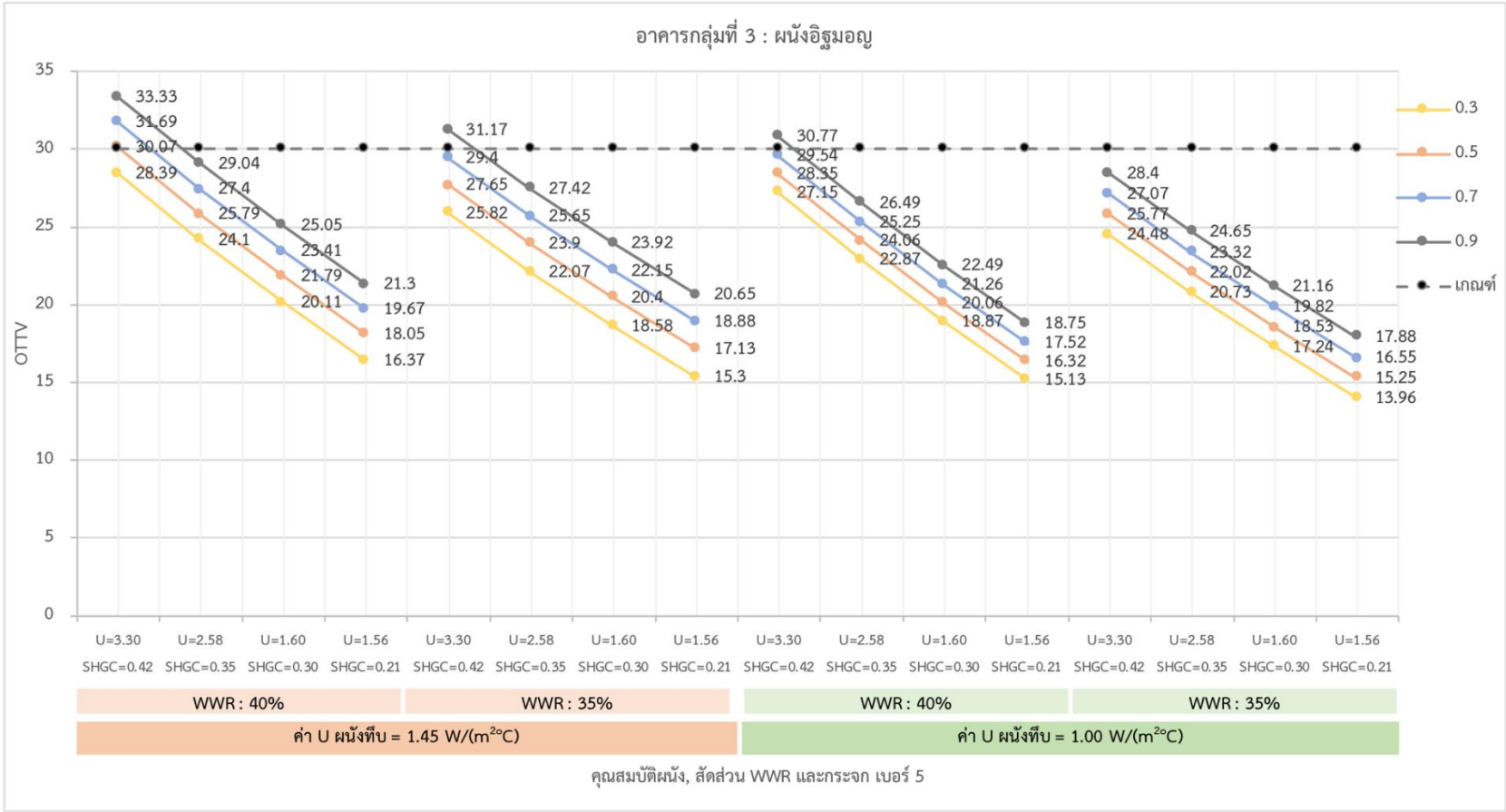
ภาพที่ 48 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังอิฐมอญ อาคารกลุ่ม 1

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2 , 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 49 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังอิฐมอญ อาคารกลุ่ม 2

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2 , 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 50 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังอิฐมอญ อาคารกลุ่ม 3

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) สัดส่วนอาคาร 1:2 และ 1:3

จากการทดสอบผนังอิฐมอญ ที่มีค่า U เท่ากับ 1.45 W/m^{2}°C ประกอบกับกำหนดการใช้กระจกตามที่สรุปข้างต้น ก็เพียงพอที่สามารถผ่าน OTTV สำหรับอาคารที่มีสัดส่วน 1:1 (มีความกว้างและความยาวรูปสี่เหลี่ยมจัดตุรัส) เท่านั้น

ดังนั้นจึงได้ทดสอบกับสัดส่วนอาคารอีก 2 สัดส่วน ที่มีความกว้างและความยาวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า คือ สัดส่วน 1:2 และ 1:3 โดยแต่ละสัดส่วนอาคารแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1. สัดส่วนที่มีด้านยาวในทิศเหนือกับทิศใต้ และ 2. สัดส่วนที่มีด้านยาวในทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก

โดยผลการวิเคราะห์ผนังอิฐมอญ ที่กำหนดสัดส่วนอาคาร 1:2 กับ 1:3 และอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 กับ 35 โดยใช้ค่า U เท่ากับ 1.45 W/m^{2}°C ซึ่งทดสอบกับกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียวเบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) จำนวน 4 ชนิด สามารถสรุปเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) และอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)

1. สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.45 W/m^{2}°C, อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 1.60 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

กรณีที่ 2 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

2. สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.45 W/m^{2}°C, อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.85 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการทดสอบของผนังอิฐมอญ ที่มีสัดส่วนอาคาร 1:2 และ 1:3 ตรงกับผลการทดสอบของสัดส่วนอาคาร 1:1

2.3 ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) โดยเลือกกำหนดคุณสมบัติจากเกณฑ์ 3 เกณฑ์ คือ

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.5 W/m^{2}°C,

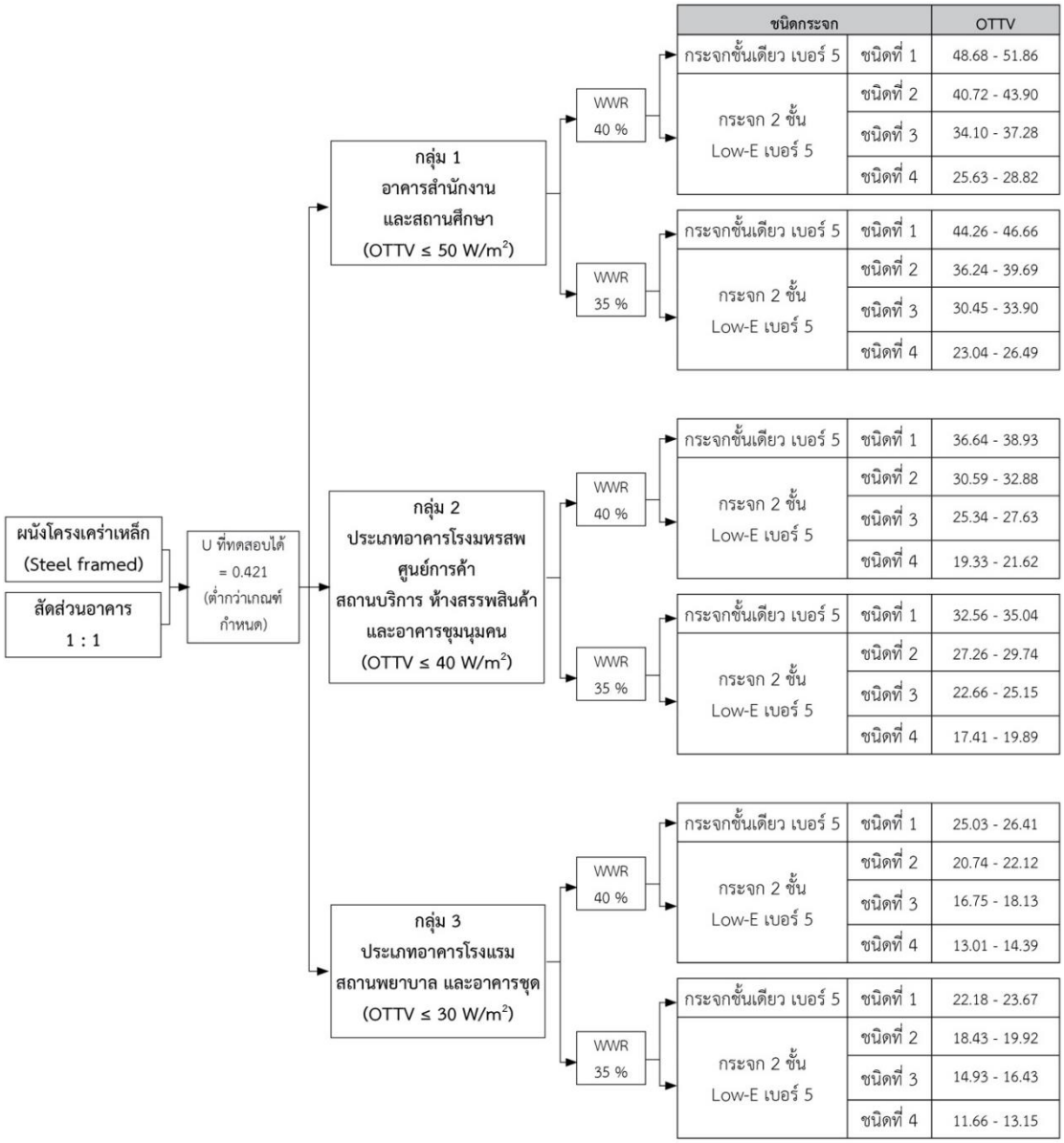
2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ กำหนดค่า U ผนังทึบ ≤ 1.0 W/m^{2}°C

และ 3) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 ชนิดผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) กำหนดค่า U ≤ 0.71 W/m^{2}°C

ซึ่งผลการคำนวณวัสดุของผนังโครงเคร่าเหล็ก ที่ใช้ฉนวนเบอร์ 5 หนา 50 มม. ได้ค่า U เท่ากับ 0.42 W/m^{2}°C จึงต่ำกว่าเกณฑ์ทั้ง 3 เกณฑ์ที่กำหนด และผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) เท่ากับ 37.95 kJ/m^{2}C

จากการทดสอบค่าเพื่อผ่านเกณฑ์ OTTV สามารถสรุปผลของผนังโครงเคร่าเหล็ก ในสัดส่วนอาคาร 1:1 ของทุกกลุ่มอาคาร ซึ่งผลการทดสอบค่า U ของผนังทึบแต่ละเกณฑ์ และทดสอบกับกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียวเบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) จำนวน 4 ชนิด โดยแบ่งอัตราส่วน WWR จำนวน 2 ค่า คือ 40 และ 35 สามารถสรุปผลเป็นดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 51 แผนภูมิการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าทุกประเภทกลุ่มอาคาร

หมายเหตุ - ค่า U มีหน่วย $W/m^{2o}C$ และค่า OTTV มีหน่วย W/m^2

1) สัดส่วนอาคาร 1:1

ผลการทดสอบเกณฑ์ OTTV ผนังด้านนอกอาคาร ประเภทผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 และทดสอบกับกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียวเบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) สามารถสรุปเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา)

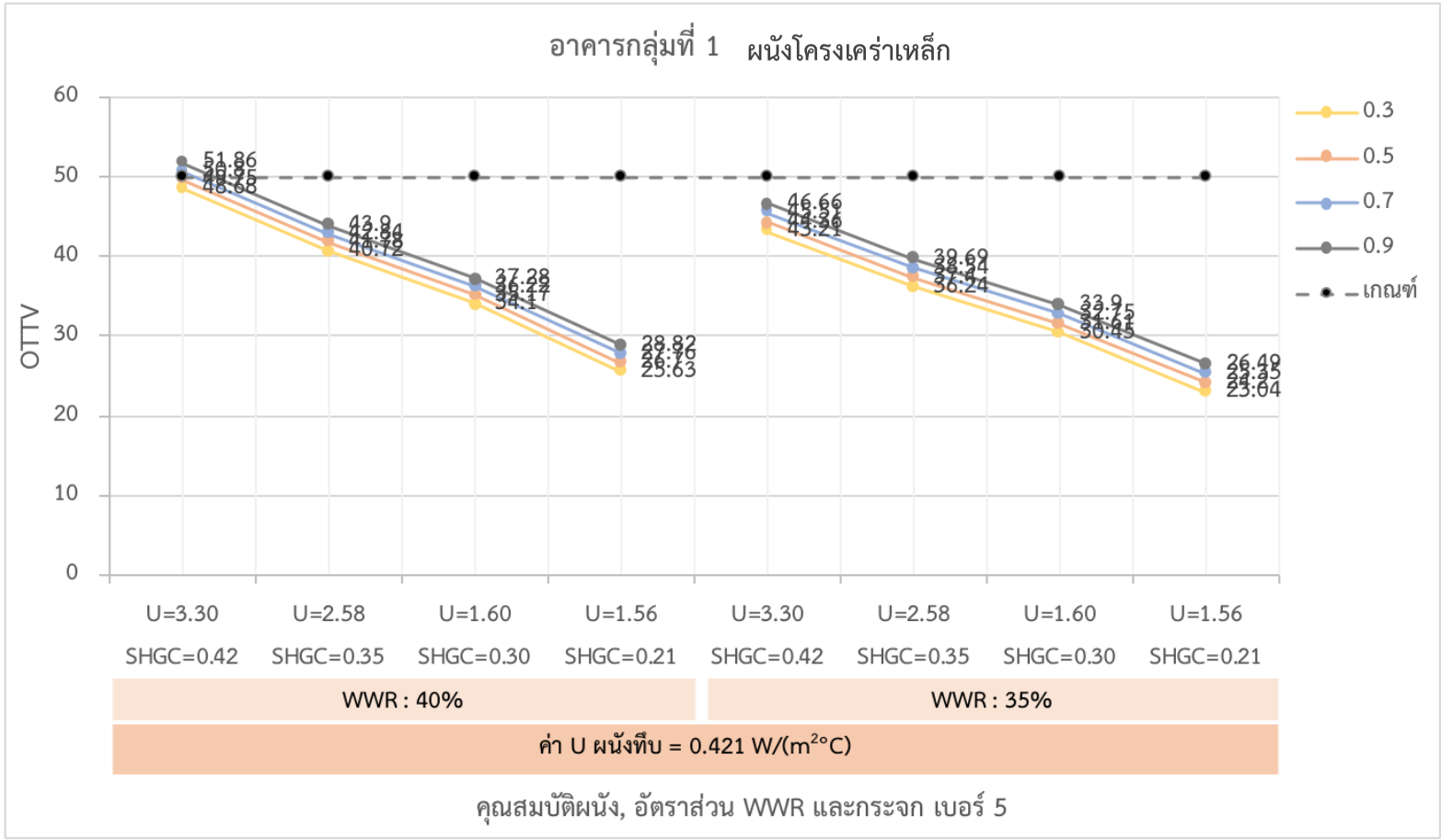
สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ที่ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 0.42 $W/m^{2o}C$, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.58 $W/m^{2o}C$ และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

กรณีที่ 2 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน) และอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ที่ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 0.42 $W/m^{2o}C$, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 3.30 $W/m^{2o}C$ และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.42 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

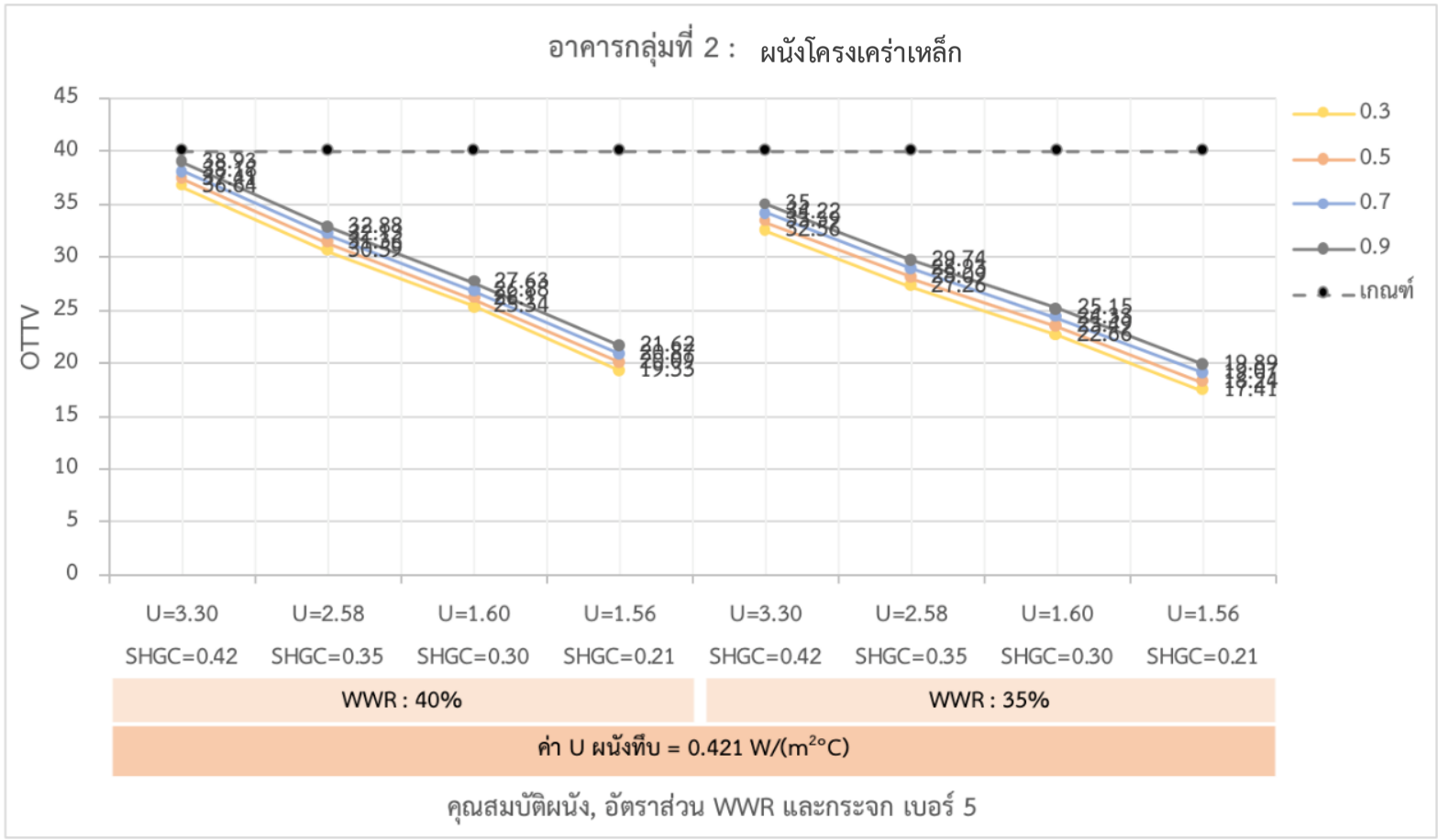
โดยแสดงในรูปแบบแผนภูมิ แบ่งเป็นแต่ละกลุ่มอาคาร ดังภาพที่ 51, 52 และ 53

มหาวิทยาลัยศิลปากร



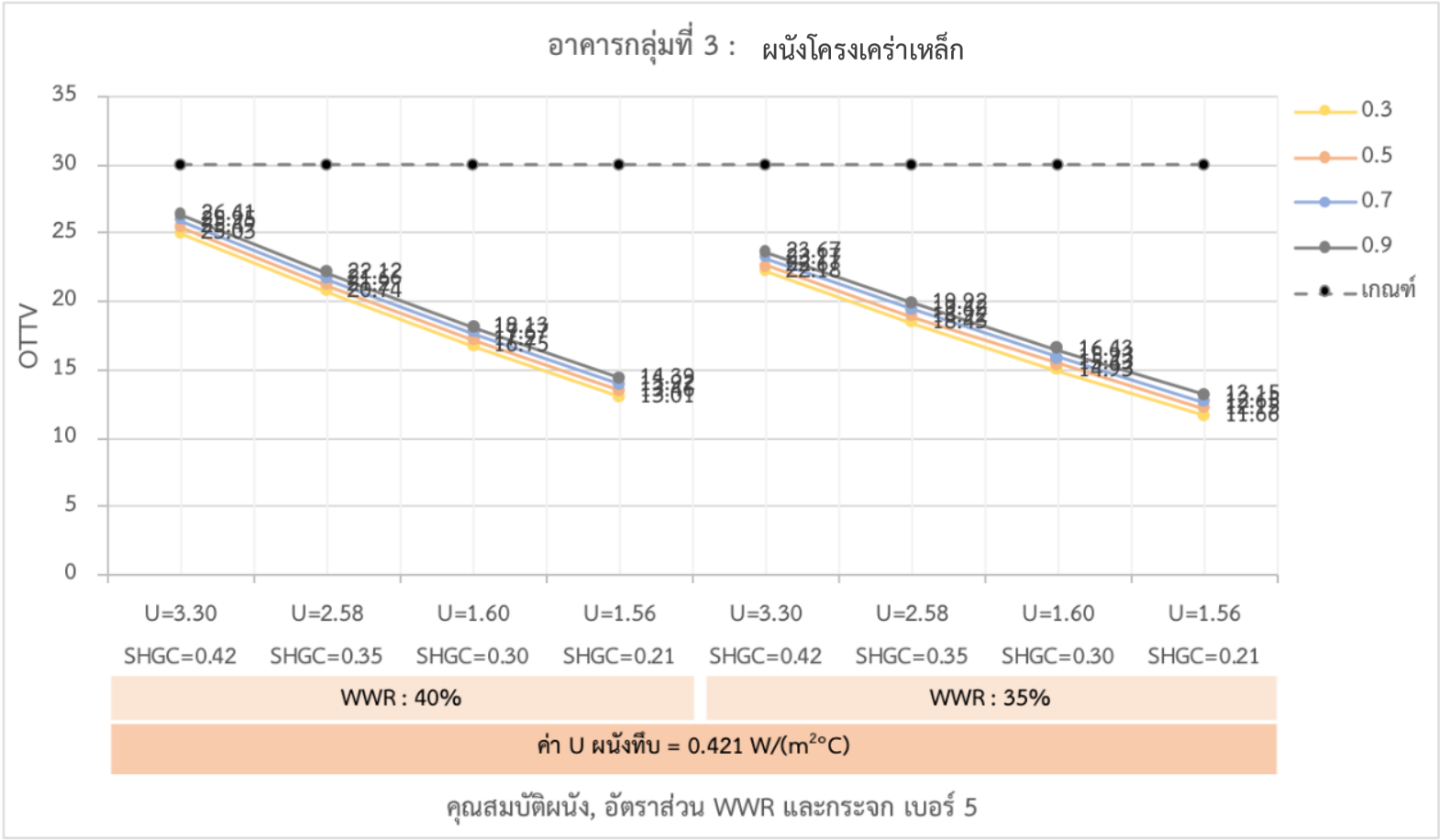
ภาพที่ 52 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังโครงเคร่าเหล็ก อาคารกลุ่ม 1

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2 , 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 53 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังโครงเคร่าเหล็ก อาคารกลุ่ม 2

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม



ภาพที่ 54 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า OTTV กับค่า WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 ของผนังโครงเคร่าเหล็ก อาคารกลุ่ม 3

หมายเหตุ - ค่า OTTV มีหน่วย W/m^2, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) สัดส่วนอาคาร 1 : 2 และ 1 : 3

จากการทดสอบผนังโครงเคร่าเหล็ก ประกอบกับกำหนดการใช้กระจกตามที่สรุปข้างต้น ก็เพียงพอที่สามารถผ่าน OTTV สำหรับอาคารที่มีสัดส่วน 1:1 (มีความกว้างและความยาวรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส) เท่านั้น

ดังนั้นจึงได้ทดสอบกับสัดส่วนอาคารอีก 2 สัดส่วน ที่มีความกว้างและความยาวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า คือ สัดส่วน 1:2 และ 1:3 โดยแต่ละสัดส่วนอาคารแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1. สัดส่วนที่มีด้านยาวในทิศเหนือกับทิศใต้ และ 2. สัดส่วนที่มีด้านยาวในทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก

โดยผลการวิเคราะห์ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) ที่กำหนดสัดส่วนอาคาร 1:2 กับ 1:3 และอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 กับ 35 โดยใช้ค่า U เท่ากับ 0.42 $W/m^{2o}C$ ซึ่งทดสอบกับกระจก 2 ประเภท (กระจกชั้นเดียวเบอร์ 5 และกระจก 2 ชั้น เบอร์ 5) จำนวน 4 ชนิด สามารถสรุปเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ที่ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 0.42 $W/m^{2o}C$, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.58 $W/m^{2o}C$ และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

กรณีที่ 2 สำหรับอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน) และอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด) สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ที่ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 0.42 $W/m^{2o}C$, ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 3.30 $W/m^{2o}C$ และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.42 ทุกระดับความเข้มของสีผนัง

ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการทดสอบของผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) ที่มีสัดส่วนอาคาร 1:2 และ 1:3 ตรงกับผลการทดสอบของสัดส่วนอาคาร 1:1

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบันจะต้องผ่านกฎหมายของกระทรวงพลังงาน โดยใช้การคำนวณด้วยโปรแกรมเท่านั้น แต่ในต่างประเทศมีมากกว่าหนึ่งทางเลือกคือเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด (Prescriptive Method) ซึ่งงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและพัฒนาเกณฑ์ประเมินกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด และศึกษาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ที่สามารถนำมาออกแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงาน ซึ่งในการศึกษานี้จะต้องคำนวณค่าคุณสมบัติโดยใช้ข้อกำหนดของกฎหมายอนุรักษ์พลังงานของกระทรวงพลังงาน เพื่อวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติให้ผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV

เมื่อนำผลการทดสอบค่าคุณสมบัติมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ในการออกแบบกรอบอาคาร สามารถสรุปผลเป็นดังต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อพัฒนาเกณฑ์โดยใช้วิธีการออกแบบตามรายการที่กำหนด (Prescriptive Method) ของกรอบอาคารทุกประเภท สามารถกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบกรอบอาคาร ได้ดังนี้

1. หลังคาอาคาร

จากการทดสอบหลังคา 2 ประเภท คือ หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต และหลังคากระเบื้อง (ความลาดชัน 45, 30 และ 15 องศา) สามารถแบ่งสรุปผลการวิจัยแบ่งตามชนิดหลังคาดังนี้

1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต จากการทดสอบประเภทอาคาร 3 กลุ่ม ที่มีสัดส่วนหลังคาตั้งแต่ 1:1, 1:2 จนถึง 1:3 สามารถแบ่งผลสรุปเป็น 2 กรณี ดังนี้

<u>กรณี 1</u> หลังคาที่ไม่มีช่องแสง สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ได้ก็ต่อเมื่อ มีค่า R-value ของฉนวนหลังคา ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ ทุกสีผิววัสดุ และทุกกลุ่มประเภทอาคาร

<u>กรณี 2</u> หลังคาที่มีช่องแสง (Skylight) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ได้ก็ต่อเมื่อ มีค่า R-value ของฉนวนหลังคา ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ โดยมีเงื่อนไขแบ่งเป็น 3 กลุ่มอาคาร ดังนี้

a) อาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา)

- สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 2.58 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

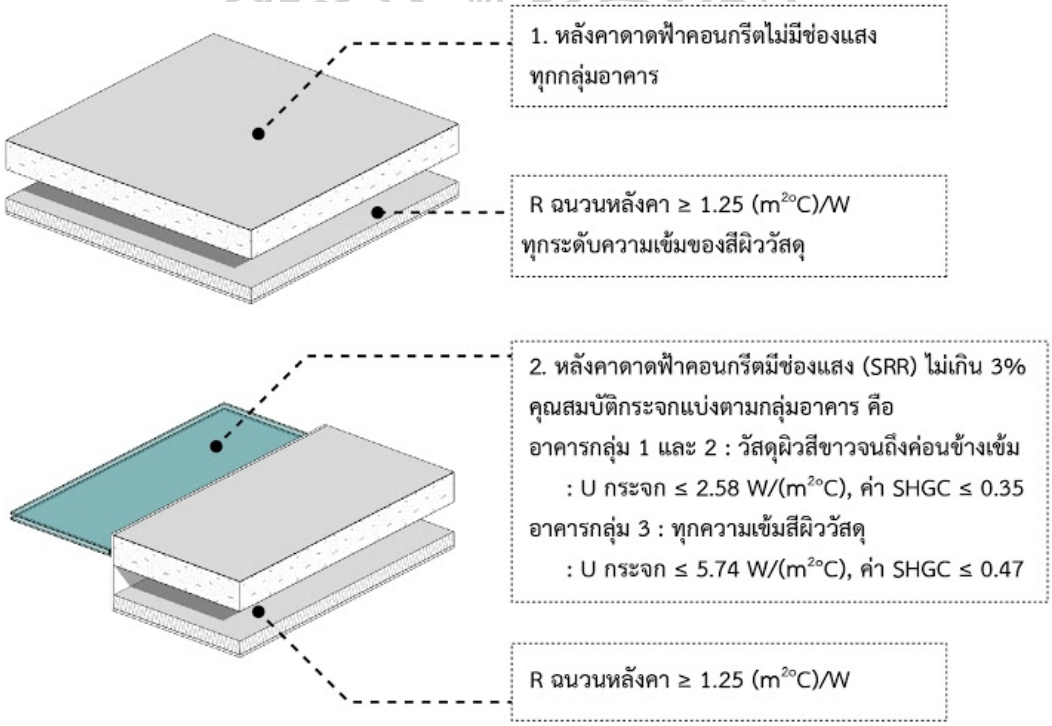
b) อาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)

- สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 2 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 2.58 W/m^{2o}C และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

c) อาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

- สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 5.74 W/m^{2o}C และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.47 ทุกสีผิววัสดุหลังคา

ตัวอย่างแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีตนั้นจะต้องประกอบไปด้วย 1. คอนกรีตเสริมเหล็ก (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 10 ซม.), 2. ช่องว่างอากาศ (ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ซม.), 3. แผ่นฝ้าเพดานยิปซั่ม (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 9 มม.) และ 4. ฉนวนตามที่เกณฑ์กำหนด คือ ค่า R ของฉนวนไม่น้อยกว่า 1.25 m^{2o}C/W วางในฝ้า ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 55 แนวทางการออกแบบหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

1.2 หลังคากระเบื้อง จากการทดสอบความลาดชันของหลังคาที่ 45, 30 และ 15 องศา ทั้งประเภทอาคาร 3 กลุ่ม ที่มีสัดส่วนหลังคาตั้งแต่ 1:1, 1:2 จนถึง 1:3 สามารถแบ่งผลสรุปเป็น 2 กรณี ดังนี้

<u>กรณี 1</u> หลังคาที่ไม่มีช่องแสง สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ได้ก็ต่อเมื่อ มีค่า R-value ของฉนวนหลังคา ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ ทุกสีผิววัสดุ และทุกกลุ่มประเภทอาคาร

<u>กรณี 2</u> หลังคาที่มีช่องแสง (Skylight) สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ได้ก็ต่อเมื่อ มีค่า R-value ของฉนวนหลังคา ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ โดยมีเงื่อนไขแบ่งเป็น 3 กลุ่มอาคาร ดังนี้

a) อาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา)

- สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 2 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 2.58 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

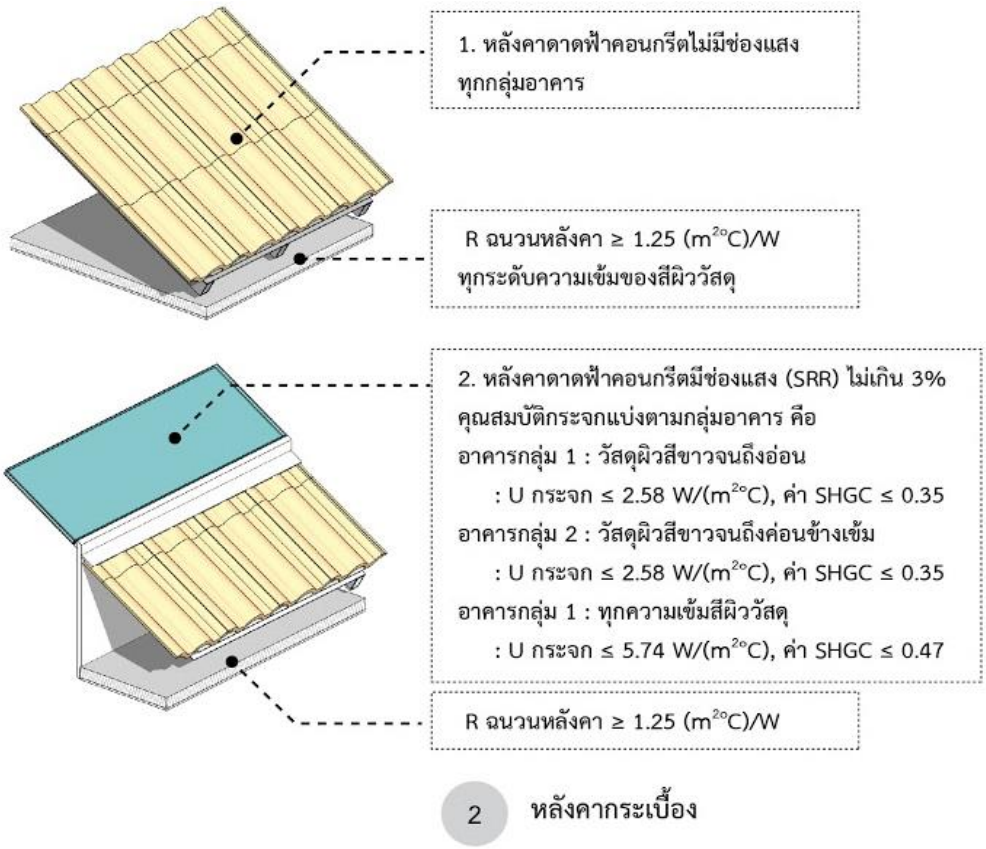
b) อาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)

- สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 2 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 5.74 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.47 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีค่อนข้างเข้ม (0.3 - 0.7)

c) อาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

- สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ก็ต่อเมื่อ มีอัตราส่วนช่องแสง (SRR) ไม่เกินร้อยละ 3 และใช้กระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 5.74 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.47 ทุกสีผิววัสดุหลังคา

ตัวอย่างแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุของหลังคากระเบื้องนั้นจะต้องประกอบไปด้วย 1. กระเบื้องลอน (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 5 มม.) 2. ช่องว่างอากาศ 3. แผ่นฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 9 มม.) และ 4. ฉนวนตามที่เกณฑ์กำหนด คือ ค่า R ของฉนวนไม่น้อยกว่า 1.25 $m^{2o}C/W$ วางในฝ้า ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 56 แนวทางการออกแบบหลังกระเบื้อง สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

จากการสรุปผลขั้นต้น สามารถแสดงรายละเอียดแนวทางการออกแบบหลังคา ที่สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ตามกฎหมายดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 14 แนวทางการออกแบบหลังคาให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

สัดส่วนช่องแสงหลังคา		**กลุ่มอาคาร**	**แนวทางการออกแบบหลังคา**
1. **หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต**			
1.1	ไม่มีช่องแสง	ทุกกลุ่มอาคาร	- ใช้ฉนวนหลังคา R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ
1.2	มีช่องแสง อัตราส่วน SRR ไม่เกินร้อยละ 3	อาคารกลุ่ม 1 และอาคารกลุ่ม 2	- ใช้ฉนวนหลังคา R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ - U กระจก ≤ 2.58 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC ≤ 0.35 - เฉพาะความเข้มของสีวัสดุที่มีผิวขาวจนถึงค่อนข้างเข้ม
		อาคารกลุ่ม 3	- ใช้ฉนวนหลังคา R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ - U กระจก ≤ 5.74 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC ≤ 0.47 - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ

สัดส่วนช่องแสงหลังคา		กลุ่มอาคาร	แนวทางการออกแบบหลังคา
2. **หลังคากระเบื้อง**			
1.1	ไม่มีช่องแสง	ทุกกลุ่มอาคาร	- ใช้ฉนวนหลังคา R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ
1.2	มีช่องแสง อัตราส่วน SRR ไม่เกินร้อยละ 3	อาคารกลุ่ม 1	- ใช้ฉนวนหลังคา R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ - U กระจก ≤ 2.58 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC ≤ 0.35 - เฉพาะความเข้มของสีวัสดุที่มีผิวขาวจนถึงอ่อน
		อาคารกลุ่ม 2	- ใช้ฉนวนหลังคา R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ - U กระจก ≤ 2.58 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC ≤ 0.35 - เฉพาะความเข้มของสีวัสดุที่มีผิวขาวจนถึงค่อนข้างเข้ม
		อาคารกลุ่ม 3	- ใช้ฉนวนหลังคา R-value ≥ 1.25 $m^{2o}C/W$ - U กระจก ≤ 5.74 $W/m^{2o}C$ และค่า SHGC ≤ 0.47 - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ

2. ผนังด้านนอกอาคาร

ส่วนผนังด้านนอกอาคาร แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ผนังมวลสาร และผนังโครงเคร่าเหล็ก ซึ่งค่าคุณสมบัติของผนังที่ใช้ขึ้นกับขนาดช่องเปิด ได้แก่ ช่องเปิด (WWR) ร้อยละ 40 และร้อยละ 30 โดยสามารถสรุปค่าคุณสมบัติแบ่งตามชนิดผนังดังนี้

2.1 ผนังมวลสาร แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1. ผนังอิฐมวลเบา และ 2. ผนังอิฐมอญ ดังนี้

1) ผนังอิฐมวลเบา : จากการทดสอบประเภทอาคาร 3 กลุ่ม ที่มีสัดส่วนอาคาร คือ 1:1, 1:2 และ 1:3 สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.20 $W/m^{2o}C$ ทุกระดับความเข้มของสีผนัง สามารถเป็น 2 กรณี ดังนี้

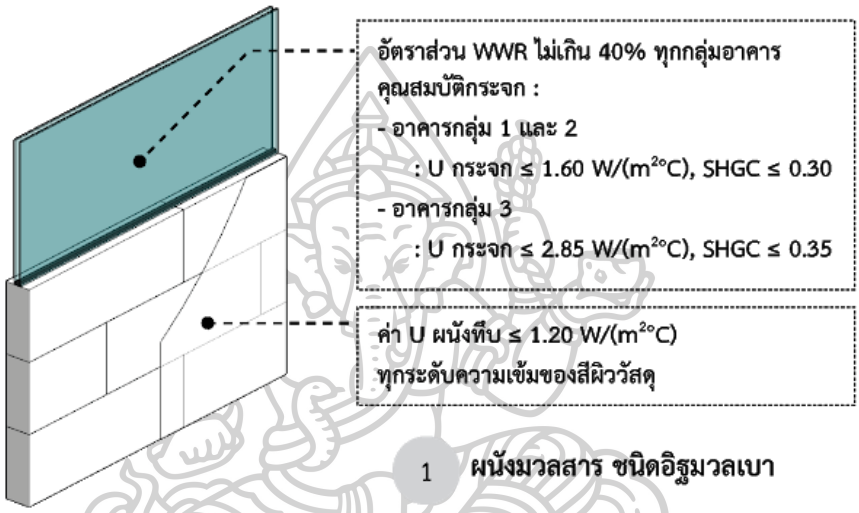
<u>กรณีที่ 1</u> สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา)

3. สามารถผ่านเกณฑ์เมื่อค่า U กระจกต้องไม่เกิน 1.60 $W/m^{2o}C$ และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30

<u>กรณีที่ 2</u> สำหรับอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน) และอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

4. สามารถผ่านเกณฑ์เมื่อค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.85 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35

ตัวอย่างแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุของผนังคอนกรีตมวลเบานั้น จะต้องประกอบไปด้วย 1. คอนกรีตมวลเบา ที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 7.5) และฉาบปูนสำหรับอิฐมวลเบา (ด้านละมากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ซม.) รวมความหนาผนังมากกว่าหรือเท่ากับ 10.5 ซม. ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 57 แนวทางการออกแบบผนังมวลสาร ชนิดผนังคอนกรีตมวลเบา สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

2) ผนังอิฐมอญ : จากการทดสอบประเภทอาคาร 3 กลุ่ม ที่มีสัดส่วนอาคาร คือ 1:1, 1:2 และ 1:3 สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ที่ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 1.45 W/m^{2}°C, ค่า DSH ไม่ต่ำกว่า 283 kJ/m^{2}°C ทุกระดับความเข้มของสีผนัง สามารถแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

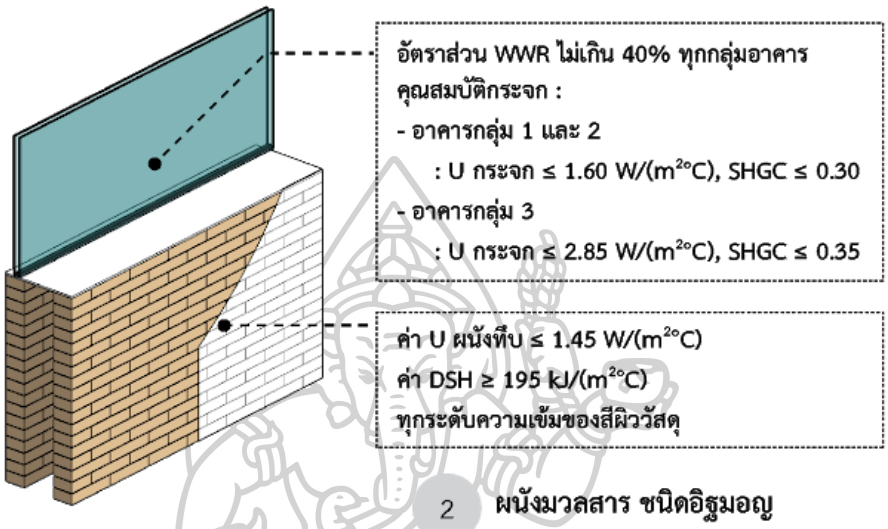
<u>กรณีที่ 1</u> สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) และอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)

5. สามารถผ่านเกณฑ์เมื่อค่า U กระจกต้องไม่เกิน 1.60 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30

<u>กรณีที่ 2</u> สำหรับอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

6. สามารถผ่านเกณฑ์เมื่อค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.85 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35

ตัวอย่างแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุของผนังอิฐมอญนั้นจะต้องประกอบไปด้วย 1. อิฐมอญ (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 6.5 ซม.) 2 ชั้น, 2. ช่องว่างอากาศ (ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ซม.) และ 3. ฉาบปูน (ด้านละมากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ซม.) ผนังจึงมีความหนารวมมากกว่าหรือเท่ากับ 26 ซม. ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 58 แนวทางการออกแบบผนังมวลสาร ชนิดผนังอิฐมอญ สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

2.2 ผนังโครงเคร่าเหล็ก จากการทดสอบประเภทอาคาร 3 กลุ่ม ที่มีสัดส่วนอาคาร คือ 1:1, 1:2 และ 1:3 สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ก็ต่อเมื่อ อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 ที่ผนังทึบมีค่า U ไม่เกิน 0.42 W/m^{2o}C ทุกระดับความเข้มของสีผนัง สามารถแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> สำหรับอาคารกลุ่มที่ 1 (ประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา) และอาคารกลุ่มที่ 2 (ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)

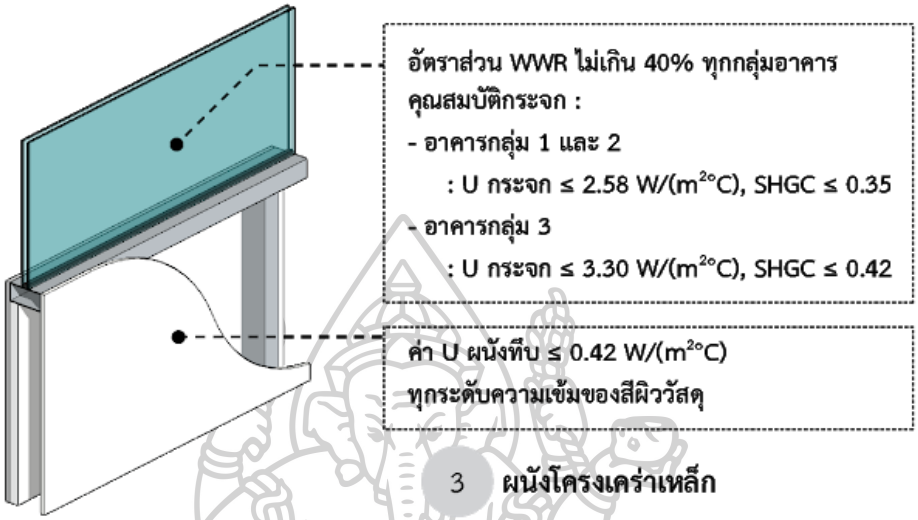
7. สามารถผ่านเกณฑ์เมื่อค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.58 W/m^{2o}C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35

<u>กรณีที่ 2</u> สำหรับอาคารกลุ่มที่ 3 (ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)

8. สามารถผ่านเกณฑ์เมื่อค่า U กระจกต้องไม่เกิน 3.30 W/m^{2o}C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.42

ตัวอย่างแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุของผนังโครงเคร่าเหล็กนั้นจะต้องประกอบไปด้วย 1. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดภายนอก (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 12

มม.), 2. ช่องว่างอากาศ (ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 50 มม.), 3. ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 50 มม.) และ 4. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดภายใน (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 10 มม.) ผนังจึงมีความหนารวมเท่ากับ 12.2 ซม. ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 59 แนวทางการออกแบบผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับทุกกลุ่มอาคาร ให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

แสดงรายละเอียดแนวทางการออกแบบผนังด้านนอกอาคาร ที่สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ตามกฎหมายดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 15 แนวทางการออกแบบผนังด้านนอกอาคารให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

ชนิดผนัง		กลุ่มอาคาร	แนวทางการออกแบบหลังคา
1	ผนังมวลสาร ผนังอิฐมวลเบา ทุกสัดส่วนอาคาร WWR ≤ 40%	อาคารกลุ่ม 1 และอาคารกลุ่ม 2	- ค่า U ผนังทึบ ≤ 1.20 W/m²°C - ค่า DSH ≥ 68 kJ/m²°C - ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 1.60 W/m²°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ
		อาคารกลุ่ม 3	- ค่า U ผนังทึบ ≤ 1.20 W/m²°C - ค่า DSH ≥ 68 kJ/m²°C - ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.85 W/m²°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ
2	ผนังอิฐมอญ	อาคารกลุ่ม 1	- ค่า U ผนังทึบ ≤ 1.45 W/m²°C

ชนิดผนัง		กลุ่มอาคาร	แนวทางการออกแบบหลังคา
	ทุกสัดส่วนอาคาร WWR ≤ 40%	และอาคารกลุ่ม 2	- ค่า DSH ≥ 195 kJ/m^{2}°C - ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 1.60 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ
		อาคารกลุ่ม 3	- ค่า U ผนังทึบ ≤ 1.45 W/m^{2}°C - ค่า DSH ≥ 195 kJ/m^{2}°C - ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.85 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ
3	ผนังโครงเคร่าเหล็ก ทุกสัดส่วนอาคาร WWR ≤ 40%	อาคารกลุ่ม 1 และอาคารกลุ่ม 2	- ค่า U ผนังทึบ ≤ 0.42 W/m^{2}°C - ค่า DSH ≥ 38 kJ/m^{2}°C - ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 2.58 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.35 - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ
		อาคารกลุ่ม 3	- ค่า U ผนังทึบ ≤ 0.42 W/m^{2}°C - ค่า DSH ≥ 38 kJ/m^{2}°C - ค่า U กระจกต้องไม่เกิน 3.30 W/m^{2}°C และ SHGC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.42 - ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ

ข้อสรุปที่กล่าวมานั้นเป็นการศึกษาและพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร โดยวิธีการใช้รายการที่กำหนด (Prescriptive Method) ที่สามารถให้ผลผ่านเกณฑ์ โดยไม่ต้องใช้โปรแกรม BEC คำนวณ สำหรับทุกกลุ่มประเภทอาคารตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน และได้กำหนดแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ที่สามารถนำมาออกแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานได้ โดยเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร โดยวิธีการใช้รายการที่กำหนด (Prescriptive Method) สามารถแสดงดังตารางต่อไปนี้และเป็นข้อสรุปตามวัตถุประสงค์ในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

ตารางที่ 16 เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด ของกรอบอาคารทึบแสง

ส่วนประกอบของกรอบอาคารทึบแสง (Opaque Elements)	**อาคารกลุ่ม** 1 (สำนักงาน และสถานศึกษา)			**อาคารกลุ่ม** 2 (โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)			**อาคารกลุ่ม** 3 (โรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)		
	ค่า R-value **ของฉนวน**	**ค่า** U-value **และค่า** DSH	**ระดับความเข้มของสีผิววัสดุ**	**ค่า** R-value **ของฉนวน**	**ค่า** U-value **และค่า** DSH	**ระดับความเข้มของสีผิววัสดุ**	**ค่า** R-value **ของฉนวน**	**ค่า** U-value **และค่า** DSH	**ระดับความเข้มของสีผิววัสดุ**
1. **หลังคาอาคาร**									
1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs)	R ≥ 1.25	-	ทุกระดับ	R ≥ 1.25	-	ทุกระดับ	R ≥ 1.25	-	ทุกระดับ
1.2 หลังคากระเบื้อง (Pitched roof)	R ≥ 1.25	-		R ≥ 1.25	-		R ≥ 1.25	-	
2. **ผนังด้านนอกอาคาร**									
2.1 ผนังมวลสาร (Mass Wall)									
1) ผนังคอนกรีตมวลเบา (lightweight concrete block)	-	U ≤ 1.20, DSH ≥ 68	ทุกระดับ	-	U ≤ 1.20, DSH ≥ 68	ทุกระดับ	-	U ≤ 1.20, DSH ≥ 68	ทุกระดับ
2) ผนังอิฐมอญ brick wall	-	U ≤ 1.45, DSH ≥ 195		-	U ≤ 1.45, DSH ≥ 195		-	U ≤ 1.45, DSH ≥ 195	
2.2 ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed)	-	U ≤ 0.42, DSH ≥ 38		-	U ≤ 0.42, DSH ≥ 38		-	U ≤ 0.42, DSH ≥ 38	

หมายเหตุ - ค่า R มีหน่วย $m^{2o}C/W$ และค่า U มีหน่วย $W/m^{2o}C$

ตารางที่ 17 เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด ของกรอบอาคารโปร่งแสง

ส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง (Fenestration)	**อาคารกลุ่ม** 1 (สำนักงาน และสถานศึกษา)			**อาคารกลุ่ม** 2 โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน)			**อาคารกลุ่ม** 3 (โรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด)		
	ค่า U-value **ของกระจก**	**ค่า** SHGC **ของกระจก**	**ระดับความเข้ม ของสีผิววัสดุ**	**ค่า** U-value **ของกระจก**	**ค่า** SHGC **ของกระจก**	**ระดับความเข้ม ของสีผิววัสดุ**	**ค่า** U-value **ของกระจก**	**ค่า** SHGC **ของกระจก**	**ระดับความเข้ม ของสีผิววัสดุ**
1. **ผนังโปร่งแสง** (Vertical Fenestration) กำหนด WWR น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 40									
1) ประเภทผนังคอนกรีตมวลเบา	≤ 1.60	≤ 0.30	ทุกระดับ	≤ 1.60	≤ 0.30	ทุกระดับ	≤ 2.85	≤ 0.35	ทุกระดับ
2) ประเภทผนังอิฐมอญ									
3) ประเภทผนังโครงเคร่าเหล็ก	≤ 2.85	≤ 0.35		≤ 2.85	≤ 0.35		≤ 3.30	≤ 0.42	
2. **ช่องแสงหลังคา** (Skylight) กำหนด SRR น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 3									
1) ประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต	≤ 2.85	≤ 0.35	ขาวจนถึงค่อนข้างเข้ม	≤ 2.85	≤ 0.35	ขาวจนถึงค่อนข้างเข้ม	≤ 5.74	≤ 0.47	ทุกระดับ
2) ประเภทหลังคากระเบื้อง			ขาวจนถึงอ่อน			ขาวจนถึงค่อนข้างเข้ม			

หมายเหตุ - ค่า R มีหน่วย $m^{2o}C/W$ และค่า U มีหน่วย $W/m^{2o}C$

อภิปรายผล

1. เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ฯ

จากข้อสรุปของงานวิจัยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินฯในประเทศไทยและต่างประเทศ พบว่าค่าคุณสมบัติของข้อสรุปงานวิจัยมีความแตกต่างกัน ดังนี้

1) หลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต สำหรับเกณฑ์ ASHRAE 90.1 และเกณฑ์ IECC มีการกำหนดค่า R ของฉนวนสูงกว่าอยู่ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 4.40 $m^2{}^oC/W$ แต่จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยกำหนดให้ใช้ค่า R ของฉนวนประสิทธิภาพสูง เบอร์ 5 ≥ 1.25 $m^2{}^oC/W$ เพราะจากการคำนวณค่ากำหนดของฉนวนประสิทธิภาพสูงก็เพียงพอต่อการผ่านเกณฑ์ BEC ตามกฎหมาย และเกณฑ์ ASHRAE 90.1 และเกณฑ์ IECC กำหนดเงื่อนไขในประเภทหลังคาดาดฟ้าคอนกรีตจะต้องติดตั้งฉนวนต่อเนื่องซึ่งมีข้อกำหนดที่ละเอียดมากกว่า

2) ผนังมวลสาร ชนิดคอนกรีตมวลเบา ในงานวิจัยสรุปค่า U ผนัง ≤ 1.20 $W/m^2{}^oC$ แต่เกณฑ์ ASHRAE 90.1 กำหนดค่า U มากกว่าข้อสรุปอยู่ที่ ≤ 3.293 $W/m^2{}^oC$ เนื่องจากมีการกำหนดเงื่อนไขที่ควบคุมค่า DSH ของผนัง ซึ่งทำให้ผนังที่ออกแบบตามเงื่อนไขดังกล่าวมีค่า U ต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดอยู่มาก โดยในงานวิจัยผนังคอนกรีตมวลเบาที่ออกแบบตามข้อสรุปโดยใช้คอนกรีตมวลเบาที่มีค่าคุณสมบัติตามเกณฑ์ของฉลากประสิทธิภาพสูง เบอร์ 5 ก็เพียงพอต่อการผ่านเกณฑ์ BEC ตามกฎหมาย

3) ผนังโครงเคร่าเหล็ก ในงานวิจัยสรุปค่า U ผนัง ≤ 0.42 $W/m^2{}^oC$ ซึ่งค่าตามข้อสรุปในงานวิจัยมีค่าต่ำกว่าทุกเกณฑ์ เนื่องจากในงานวิจัยออกแบบให้ผนังโครงเคร่าเหล็กติดตั้งฉนวนประสิทธิภาพสูง เบอร์ 5 นั้นมีค่า U ของผนังต่ำกว่าทุกเกณฑ์ จึงเป็นสาเหตุในการกำหนดการออกแบบผนังโครงเคร่าเหล็กให้สอนคล้องกับฉลากประสิทธิภาพสูง เบอร์ 5 รวมถึงเกณฑ์ ASHRAE 90.1 และเกณฑ์ IECC มีการกำหนดเงื่อนไขของผนังโครงเคร่าจะต้องมีการติดตั้งฉนวนต่อเนื่อง และการคำนวณค่าคุณสมบัติของค่า U-factor นั้นจะต้องนำโครงเคร่ามาวิเคราะห์ด้วย เพราะโครงเคร่าเป็นวัสดุที่มีการถ่ายเทความร้อนสูง แต่สำหรับเกณฑ์ BEC ของประเทศไทยไม่ได้นำโครงเคร่ามาวิเคราะห์ ซึ่งผู้นำไปใช้จะต้องตระหนักถึงกรณีนี้ด้วยเช่นกัน

โดยแสดงตารางการเปรียบเทียบการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ ทั้งหลังคาอาคารและผนังด้านนอกอาคาร ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ ประเภทหลังคา

คุณสมบัติ หลังคา		**เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ**				
		ข้อสรุปในงานวิจัย	**คู่มือประเมินฯ**	**เกณฑ์** ASHRAE 90.1-2016	IECC	BCA Green Mark
1. **หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต**						
1.1	R value ของฉนวน ($(m^{2o}C)/W$)	≥ 1.25	กลุ่ม 1, 2 ≥ 2.6 กลุ่ม 3 ≥ 1.3	≥ 4.40	≥ 4.40	-
1.2	สัดส่วน SRR	≤ 0.03	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.03	-
1.3	U value ของกระจก ($W/m^{2o}C$)	กลุ่ม 1, 2 ≤ 2.58, กลุ่ม 3 ≤ 5.74	-	≤ 4.26 (U-factor)	≤ 4.31 (U-factor)	≤ 2.2
1.4	SHGC	กลุ่ม 1, 2 ≤ 0.35, กลุ่ม 3 ≤ 0.47	-	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.2
1.5	สีผิววัสดุ	กลุ่ม 1, 2 : 0.3-0.7, กลุ่ม 3 : ทุกสี	-	-	-	-
2. **หลังคากระเบื้อง**						
2.1	R value ของฉนวน ($(m^{2o}C)/W$)	≥ 1.25	กลุ่ม 1, 2 ≥ 2.6 กลุ่ม 3 ≥ 1.3	≥ 6.70	≥ 6.70	-
2.2	สัดส่วน SRR	≤ 0.03	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.03	-
2.3	U กระจก ($W/m^{2o}C$)	กลุ่ม 1 ≤ 2.58, กลุ่ม 2, 3 ≤ 5.74	-	≤ 4.26 (U-factor)	≤ 4.31 (U-factor)	≤ 2.2
2.4	SHGC	กลุ่ม 1 ≤ 0.35, กลุ่ม 2, 3 ≤ 0.47	-	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.2
2.5	สีผิววัสดุ	กลุ่ม 1 : 0.3-0.5, กลุ่ม 2 : 0.3-0.7 กลุ่ม 3 : ทุกสี	-	-	-	-

หมายเหตุ - อาคารกลุ่มที่ 1 คือประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา, อาคารกลุ่มที่ 2 คือประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน และอาคารกลุ่มที่ 3 คือประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ ประเภทผนังด้านนอกอาคาร

คุณสมบัติ ผนัง		**เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ**				
		ข้อสรุปในงานวิจัย	**คู่มือประเมินฯ**	**เกณฑ์** ASHRAE 90.1-2016	IECC	BCA Green Mark
1. **ผนังมวลสาร**						
1.1 **ชนิดผนังอิฐมวลเบา**						
1.1	U value ของผนังทึบ ($W/m^{2\circ}C$)	≤ 1.20	≤ 1.00	≤ 3.293 (U-factor)	≤ 0.87 (U-factor)	≤ 1.5
1.2	สัดส่วน WWR	≤ 0.40	≤ 0.35	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.4 (E,W = 0.3)
1.3	U value ของกระจก ($W/m^{2\circ}C$)	กลุ่ม 1, 2 ≤ 1.60 กลุ่ม 3 ≤ 2.85	กระจก 2 ชั้น หรือ Low-E (ไม่ได้กำหนดค่า U - value)	Nonmetal framing, all ≤ 1.82 Metal framing, fixed ≤ 2.84 Metal framing, operable ≤ 3.69 Metal framing, entrance door ≤ 4.71	Fixed fenestration ≤ 2.87 Operable fenestration ≤ 3.45 Entrance door ≤ 6.32	≤ 2.8
1.4	SHGC	กลุ่ม 1, 2 ≤ 0.30 กลุ่ม 3 ≤ 0.35	≤ 0.65	Zone 0 ≤ 0.22 Zone 1 ≤ 0.25	N = 0.3,0.37,0.4 S/E/W = 0.25, 0.30, 0.4	≤ 0.4
1.5	สีผิววัสดุ	ทุกสีผิว	-	-	-	-
1.2 **ชนิดผนังอิฐมอญ**						
2.1	U value ของผนังทึบ ($W/m^{2\circ}C$)	≤ 1.45	≤ 1.00	-	-	≤ 1.5

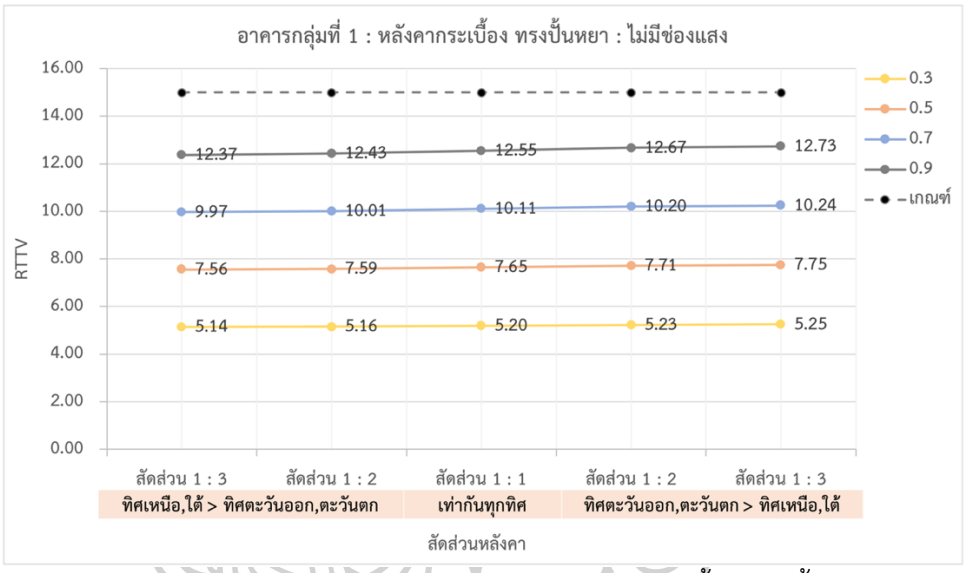
คุณสมบัติ ผนัง		เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ				
		ข้อสรุปในงานวิจัย	**คู่มือประเมินฯ**	**เกณฑ์** ASHRAE 90.1-2016	IECC	BCA Green Mark
2.2	DSH ($kJ/m^2{}^\circ C$)	≥ 195	-	-	-	-
2.3	สัดส่วน WWR	≤ 0.40	≤ 0.35	-	-	≤ 0.4 (E,W = 0.3)
2.4	U value ของกระจก ($W/m^2{}^\circ C$)	กลุ่ม 1,2 ≤ 1.60 กลุ่ม 3 ≤ 2.85	กระจก 2 ชั้น หรือ Low-E (ไม่ได้กำหนดค่า U - value)	-	-	≤ 2.8
2.5	SHGC	กลุ่ม 1,2 ≤ 0.30, กลุ่ม 3 ≤ 0.35	≤ 0.65	-	-	≤ 0.4
2.6	สีผิววัสดุ	ทุกสีผิว	-	-	-	-
3. **ผนังโครงเคร่าเหล็ก**						
3.1	U value ของผนังทึบ ($W/m^2{}^\circ C$)	≤ 0.42	≤ 1.00	≤ 0.705 (U-factor)	≤ 0.44 (U-factor)	≤ 0.7
3.2	สัดส่วน WWR	≤ 0.40	≤ 0.35	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.4 (E,W = 0.3)
3.3	U กระจก ($W/m^2{}^\circ C$)	กลุ่ม 1 ≤ 2.58 กลุ่ม 2, 3 ≤ 3.30	กระจก 2 ชั้น หรือ Low-E (ไม่ได้กำหนดค่า U - value)	Nonmetal framing, all ≤ 1.82 Metal framing, fixed ≤ 2.84 Metal framing, operable ≤ 3.69 Metal framing, entrance door ≤ 4.71	Fixed fenestration ≤ 2.87 Operable fenestration ≤ 3.45 Entrance door ≤ 6.32	≤ 2.8

คุณสมบัติผนัง		เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารในงานวิจัยกับเกณฑ์ประเมินฯ				
		ข้อสรุปในงานวิจัย	**คู่มือประเมินฯ**	**เกณฑ์** ASHRAE 90.1-2016	IECC	BCA Green Mark
3.4	SHGC	กลุ่ม 1 ≤ 0.35 กลุ่ม 2, 3 ≤ 0.42	≤ 0.65	Zone 0 ≤ 0.22 Zone 1 ≤ 0.25	N = 0.3,0.37,0.4 S/E/W = 0.25, 0.30, 0.4	≤ 0.4
3.5	สีผิววัสดุ	ทุกสีผิว	-	-	-	-

หมายเหตุ - อาคารกลุ่มที่ 1 คือประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา, อาคารกลุ่มที่ 2 คือประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน และอาคารกลุ่มที่ 3 คือประเภทโรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด

2. สัดส่วนของกรอบอาคาร

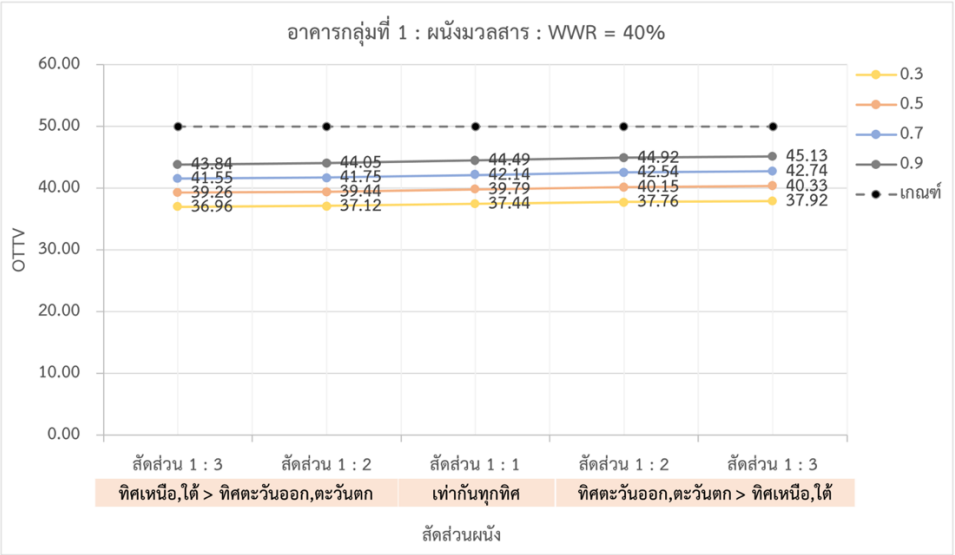
1) สัดส่วนหลังคา : ในส่วนของการศึกษา RTTV ผู้วิจัยได้วิเคราะห์กับหลังคาที่มีพื้นที่สัดส่วนอาคาร 1 : 3 ถึง 3 : 1 เฉพาะทิศหลัก (ทิศเหนือ, ทิศตะวันออก, ทิศตะวันตก และทิศใต้) เท่านั้น แต่หากสัดส่วนของความกว้างและความยาวของหลังคาเปลี่ยนไปจากสัดส่วน 1 : 3 และ 3 : 1 ซึ่งนอกเหนือจากงานวิจัย เฉพาะหลังคาทรงปั้นหยา อาจส่งผลต่อค่า RTTV แต่ยังสามารถผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายได้ จากผลสรุปของงานวิจัย ดังแผนภูมิหลังคากระเบื้องแสดงในด้านล่าง



ภาพที่ 60 เปรียบเทียบค่า RTTV กับสัดส่วนและทิศของหลังคากระเบื้อง ทรงปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา ที่ไม่มีช่องแสง

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) สัดส่วนผนัง : สำหรับการศึกษาในส่วนของ OTTV ผู้วิจัยได้วิเคราะห์โดยใช้แปลนอาคารที่มีสัดส่วน 1 : 3 ถึง 3 : 1 เท่านั้น ซึ่งถ้าหากสัดส่วนอาคารที่มีขนาดกว้างต่อยาวเปลี่ยนไปจากสัดส่วน 1 : 3 และ 3 : 1 ซึ่งนอกเหนือจากงานวิจัย อาจส่งผลต่อค่า OTTV แต่อาจยังทำให้ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายได้ ดังแผนภูมิผนังมวลสาร แสดงในภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 61 เปรียบเทียบค่า OTTV กับสัดส่วนและทิศของผนังมวลสาร ตามข้อสรุปงานวิจัย ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาเพิ่มเติม

1) การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร โดยวิธีการใช้รายการที่กำหนด (Prescriptive Method) ที่สามารถให้ผลผ่านเกณฑ์และไม่ต้องใช้โปรแกรม BEC คำนวณ ซึ่งได้กำหนดประเภทและชนิดของกรอบอาคารเพียงหลังคาอาคารที่ประกอบไปด้วย หลังคาดาดฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็กและหลังคากระเบื้อง และผนังด้านนอกอาคารที่ปรกอบไปด้วย ผนังมวลสารและผนังโครงเคร่าเหล็ก แต่จากการศึกษาเกณฑ์ฯของต่างประเทศได้มีการกำหนดประเภทของกรอบอาคารมากกว่า ซึ่งสามารถเป็นการศึกงานในงานวิจัยครั้งต่อไปได้

2) โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงาน โดยวิธีการใช้รายการที่กำหนด (Prescriptive Method) เพียงการออกแบบกรอบอาคารเท่านั้น แต่จากการศึกษาเกณฑ์ของต่างประเทศนั้นยังมีหัวข้ออื่นๆอีกด้วย เช่น ระบบปรับอากาศ, ระบบน้ำร้อน, ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และประสิทธิภาการใช้พลังงาน เป็นต้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับกฎหมายอนุรักษ์พลังงานของไทย ที่สามารถนำไปสู่การวิจัยอื่นๆได้

3) การกำหนดแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ที่สามารถนำมาออกแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมของวัสดุที่เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่เพิ่มเติม รวมถึงเพื่อสอดคล้องกับการออกแบบกรอบอาคารที่มีความหลากหลายในอนาคตต่อไป

รายการอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2553). คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). รายงานประจำปี 2562.

กระทรวงพลังงาน. (2552). ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ และวิธีการคำนวณ ในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงาน หมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ.2552. กรุงเทพฯ.

กระทรวงพลังงาน, ก. ฉลากประหยัดพลังงาน ประสิทธิภาพสูง. Retrieved from http://labelling.dede.go.th/survey/product/list-product-info

กระทรวงพลังงาน, ส. แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558-2579 (Energy Efficiency Plan; EEP 2015). Retrieved from http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/EEP2015.pdf

กาญจนา ปะทะนมปีย์. (2557). การศึกษาแนวทางการสร้างเกณฑ์การประเมินด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำหรับโรงเรียนในประเทศไทย. (ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร,

ดนัย เอกกมล. (2558). การปฏิรูปการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและหน่วยราชการโดยใช้กลไก *BEC*: เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพฯ.

บริษัท สมาร์ทคอนกรีต จำกัด (มหาชน), บ. ส. จ. สมาร์ทบล็อค G4 อิฐมวลเบา ประหยัดพลังงาน เบอร์ 5. Retrieved from https://www.smartblock.co.th/product/36967/สมาร์ทบล็อค-g4-อิฐมวลเบา-ประหยัดพลังงาน-เบอร์-5

สวิชญา ดาวประกายมงคล. (2555). แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศเพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552. (ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2004). *Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings Achieving* 30% *Energy Savings Over ANSI/ASHRAE/IESNA Standard* 90.1-1999. Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2006). *Advanced Energy Design Guide for*

Small Retail Buildings Achieving 30% *Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building*. Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2008). *Advanced Energy Design Guide for Small Warehouses and Self-Storage Buildings Achieving* 30% *Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building*. Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2009). *Advanced Energy Design Guide for Small Hospitals and Healthcare Facilities Achieving* 30% *Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building*. Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2011a). *Advanced Energy Design Guide for Medium to Big Box Retail Buildings Achieving* 50% *Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building*. Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2011b). *Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings Achieving* 50% *Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building*. Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2012). *Advanced Energy Design Guide for Large Hospitals Achieving* 50% *Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building.* Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2015). *Advanced Energy Design Guide for Grocery Stores Achieving* 50% *Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building*. Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2016). *ANSI/ASHRAE/IES Standard* 90.1-2016. Atlanta, Georgia, U.S.A.

American Society of Heating, R. a. A.-C. E., Inc. (2017). *Standard* 90.1 *User's Manual*. Atlanta, Georgia, U.S.A.

Building and Construction Authority (BCA), B. a. C. A. (2015). *GREEN MARK FOR NON-RESIDENTIAL BUILDINGS NRB:* 2015. Singapore.

Chirarattananon, S., Rakwamsuk, P., Hien, V. D., & Taweekun, J. (2004). Development of a Building Energy Code for New Buildings in Thailand. *The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)*, 864.

Construction, B. D. a. (2019). Prescriptive Vs. Performance Building Codes. Retrieved from https://www.bdcnetwork.com/blog/prescriptive-vs-performance-building-

codes

Evans, M., Roshchanka, V., & Graham, P. (2017). An International Survey Of Building Energy Codes And Their Implementation *Journal of Cleaner Production,* 158, 382-389.

Library, I. D. C. (2018). International Energy Conservation Code 2018 (IECC 2018). Retrieved from https://codes.iccsafe.org/content/iecc2018/chapter-4-ce-commercial-energy-efficiency

Taylor, T. J., Willits, J., Hartwig, C. A., & Kirby, J. R. (2018). Optimizing Single-Ply Low-Slope Roofing Assemblies for Insulation Value. *MDPI,* 8(64), 3. doi:10.3390/buildings8050064

Usman, Z., & Ibrahim, K. (2018). A Comparative Analysis of Energy Provisions of Pakistan Building Code with Indian and USA Building Energy Codes. *Journal of Art, Architecture and Built Environment (JAABE)*(1).

Young, R. (2014). Global Approaches: A Comparison of Building Energy Codes in 15 Countries. *ACEEE*(4), 353-356.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด

ของแต่ละเกณฑ์ฯ ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนดของประเทศไทย

1. คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ (รุ่น NR-H 49.00)

ตารางที่ 20 แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ (ระบบหน่วย SI)

ลำดับ	สำหรับอาคารสำนักงาน ห้องสมุด	สำหรับอาคารสรรพสินค้า อาคารพาณิชย์ อาคารแสดงสินค้า/นิทรรศการ	อาคารโรงแรม โรงพยาบาล
เปลือกอาคาร			
1.	การป้องกันความร้อนจากหลังคา		
ก1	ขนาดช่องแสงระนาบเดียวกับหลังคามีพื้นที่ไม่เกิน 1% หรือขนาดช่องแสงหลังคาในระนาบดิ่งมีพื้นที่ไม่เกิน 2% ของพื้นที่หลังคา		
ก2	ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนหลังคา (R)		
	- มากกว่า 2.6 $m^{2o}C/W$		- มากกว่า 1.3 $m^{2o}C/W$
	- มากกว่า 3.9 $m^{2o}C/W$		- มากกว่า 2.6 $m^{2o}C/W$
ข	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV)		
	- ต่ำกว่า 12 W/m^2	- ต่ำกว่า 10 W/m^2	- ต่ำกว่า 8 W/m^2
	- ต่ำกว่า 10 W/m^2	- ต่ำกว่า 8 W/m^2	- ต่ำกว่า 6 W/m^2
2.	การป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก		
ก1	อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR)		
	- ไม่เกิน 35%	- ไม่เกิน 30%	
	- ไม่เกิน 25%	- ไม่เกิน 20%	
ก2	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผนัง (U-value)		
	- ไม่เกิน 1.0 $W/m^{2o}C$		
	- ไม่เกิน 0.7 $W/m^{2o}C$		
	- ไม่เกิน 0.4 $W/m^{2o}C$		
ก3	ใช้หน้าต่างกระจก 2 ชั้น (double glazing) หรือมากกว่า		
ก4	ใช้กระจก Low-E		
ก5	สัมประสิทธิ์การบังแดดกระจก (SC หรือ SHGC)		
	- ต่ำกว่า 0.75 (SHGC ต่ำกว่า 0.65)		
	- ต่ำกว่า 0.55 (SHGC ต่ำกว่า 0.48)		

ตารางที่ 20 แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารสาธารณะ (ระบบหน่วย SI) (ต่อ)

ลำดับ	สำหรับอาคารสำนักงาน ห้องสมุด	สำหรับอาคารสรรพสินค้า อาคารพาณิชย์ อาคารแสดงสินค้า/นิทรรศการ	อาคารโรงแรม โรงพยาบาล
	- ต่ำกว่า 0.75 (SHGC ต่ำกว่า 0.65)		
	- ต่ำกว่า 0.55 (SHGC ต่ำกว่า 0.48)		
	- ต่ำกว่า 0.35 (SHGC ต่ำกว่า 0.30)		
ก6	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (SC)		
	- ต่ำกว่า 0.9		
	- ต่ำกว่า 0.8		
ก7	สีผิวผนังภายนอกเป็นสีโทนอ่อน (ค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ไม่เกิน 0.6) และมวลของผนังเกิน 200 kg/m^2		
ข	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV)		
	- ต่ำกว่า 45 W/m^2	- ต่ำกว่า 34 W/m^2	- ต่ำกว่า 26 W/m^2
	- ต่ำกว่า 40 W/m^2	- ต่ำกว่า 30 W/m^2	- ต่ำกว่า 23 W/m^2
	- ต่ำกว่า 35 W/m^2	- ต่ำกว่า 26 W/m^2	- ต่ำกว่า 20 W/m^2
	- ต่ำกว่า 30 W/m^2	- ต่ำกว่า 22 W/m^2	- ต่ำกว่า 17 W/m^2
	- ต่ำกว่า 25 W/m^2	- ต่ำกว่า 18 W/m^2	- ต่ำกว่า 14 W/m^2
	- ต่ำกว่า 20 W/m^2	- ต่ำกว่า 14 W/m^2	- ต่ำกว่า 11 W/m^2

ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553, pp. 1-2/6)

2. เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1 – 2016

งานวิจัยได้ศึกษาเฉพาะเขตภูมิอากาศ 0-A (Zone 0-A) และเขตภูมิอากาศ 1-A (Zone 1-A)

ตารางที่ 21 เกณฑ์รายการที่กำหนดของกรอบอาคารทึบแสง ของเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ระบบหน่วย SI)

Opaque Elements	ASHRAE Standard 90.1-2016 (Nonresidential)			
	Zone 0 - A		Zone 1 - A	
	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value
Roofs				
Insulation Entirely above Deck	U-0.220	R-4.4 c.i.	U-0.273	R-3.5 c.i.
Metal Building	U-0.233	R-1.8+R-3.3 FC	U-0.233	R-1.8+R-3.3 FC
Attic and Other	U-0.153	R-6.7	U-0.153	R-6.7

ตารางที่ 21 เกณฑ์รายการที่กำหนดของกรอบอาคารทึบแสง ของเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ระบบหน่วย SI) (ต่อ)

Opaque Elements	ASHRAE Standard 90.1-2016 (Nonresidential)			
	Zone 0 - A		Zone 1 - A	
	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value
Walls, above Grade				
Mass	U-3.293	NR	U-3.293	NR
Metal Building	U-0.533	R-0 + R-1.7 c.i.	U-0.533	R-0 + R-1.7 c.i.
Steel Framed	U-0.705	R-2.3	U-0.705	R-2.3
Wood Framed and Other	U-0.504	R-2.3	U-0.504	R-2.3
Wall, below Grade				
Below Grade Wall	C-6.473	NR	C-6.473	NR
Floors				
Mass	U-1.825	NR	U-1.825	NR
Steel Joist	U-1.986	NR	U-1.986	NR
Wood Framed and Other	U-1.599	NR	U-1.599	NR
Slab-on-Grade Floors				
Unheated	F-1.264	NR	F-1.264	NR
Heated	F-1.766	R-1.3 for 300 mm	F-1.766	R-1.3 for 300 mm
Opaque Doors				
Swinging	U-2.101	-	U-2.101	-
Non-swinging	U-1.760	-	U-1.760	-

หมายเหตุ - R = R-value, U = U-factor, C = C-factor, F = F-factor, NR = no (insulation) requirement, c.i. = continuous insulation

ที่มา : (American Society of Heating, 2016, pp. 51-52)

ตารางที่ 22 รายการที่กำหนดของกรอบอาคารโปร่งแสง (fenestration) ของเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ระบบหน่วย SI)

Fenestration	ASHRAE Standard 90.1-2016 (Nonresidential)					
	Zone 0 - A			Zone 1 - A		
	Assembly Max. U	Assembly Max. SHGC	Assembly Min. VT/SHGC	Assembly Max. U	Assembly Max. SHGC	Assembly Min. VT/SHGC
Vertical Fenestration, 0% - 40% of Wall	(for all frame types)			(for all frame types)		
Nonmetal framing, all	1.82	0.22	1.10	2.84	0.25	1.10
Metal framing, fixed	2.84			3.24		
Metal framing, operable	3.69			3.69		
Metal framing, entrance door	4.71			6.25		
Skylight, 0% - 3% of Roof						
All types	4.26	0.35	NR	4.26	0.35	NR

หมายเหตุ - U = U-factor

ที่มา : (American Society of Heating, 2016, pp. 51-52.)

3. เกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% และเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 50%

การศึกษาคู่มือการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานขั้นสูงระดับประหยัดพลังงานร้อยละ 30 ประกอบไปด้วย 1. อาคารสำนักงานขนาดเล็ก (Small Office Buildings), 2. โรงเรียน (School Building) 3. อาคารสรรพสินค้าขนาดเล็ก (Small Retail Buildings), 4. โรงพยาบาลขนาดเล็กและสถานพยาบาล (Small Hospitals and Healthcare Facilities) และ 5. คลังสินค้าขนาดเล็กและอาคารเก็บของ (Small Warehouses and Self-Storage Buildings) โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 23

ส่วนระดับประหยัดพลังงานร้อยละ 50 ประกอบไปด้วย 1. อาคารสำนักงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (Small to Medium Office Buildings), 2. โรงเรียน (School Building), 3. อาคารสรรพสินค้าขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ (Medium to Big Box Retail Buildings), 4. โรงพยาบาลขนาดใหญ่ (Large Hospitals) และ 5. ร้านขายของชำ (Grocery Stores) โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 23 รายการที่กำหนดของเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% (ระบบหน่วย SI)

Item	Component	Achieving 30% (Zone 1)									
		Small Office Buildings		School Building		Small Retail Buildings		Small Hospitals and Healthcare Facilities		Small Warehouses and Self-Storage Buildings	
		Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum
Roofs	Insulation Entirely above Deck	R-2.7 c.i.	U-0.36	R-4.4 c.i.	U-0.22	R-2.7 c.i.	U-0.36	R-4.4 c.i.	U-0.22	R-2.7 c.i.	U-0.36
	Metal Building	R-3.4	U-0.37	R-3.4	U-0.37	R-3.4	U-0.37	-	-	R-3.4	U-0.37
	Attic and Other	R-5.3	U-0.20	R-5.3	U-0.20	R-5.3	U-0.20	-	-	-	-
	Single rafter	R-5.3	U-2.10	-	-	R-5.3	U-2.10	-	-	R-5.3	U-2.10
Walls	Mass (HC > 144 kJ/m^{2}K)	NR		R-1.0 c.i.	U-0.87	NR		R-1.0 c.i.	U-0.87	NR	
	Steel framed	R-2.3	U-0.71	R-2.3	U-0.71	R-2.3	U-0.71	R-2.3+R-1.3 c.i.	U-0.37	R-2.3	U-0.71
	Wood Framed and Other	R-2.3	U-0.51	R-2.3	U-0.51	R-2.3	U-0.51	-	-	R-2.3	U-0.51
	Metal Building	R-2.3	U-0.65	R-2.8	U-0.53	R-2.3	U-0.65	-	-	R-2.8	U-0.53
	Below-Grade Wall	NR		Comply with Standard 90.1*		NR		Comply with Standard 90.1*		-	-
Floors	Mass	R-0.7 c.i.	U-1.00	R-0.7 c.i.	U-1.00	R-0.7 c.i.	U-1.00	R-0.7 c.i.	U-1.00	-	-
	Steel framed	R-3.4	U-0.30	R-3.4	U-0.30	R-3.4	U-0.30	R-3.4	U-0.30	-	-
	Wood Framed and Other	R-3.4	U-0.30	R-3.4	U-0.30	R-3.4	U-0.30	-	-	-	-

ตารางที่ 23 รายการที่กำหนดของเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% (ระบบหน่วย SI) (ต่อ)

Item	Component	Achieving 30% (Zone 1)									
		Small Office Buildings		School Building		Small Retail Buildings		Small Hospitals and Healthcare Facilities		Small Warehouses and Self-Storage Buildings	
		Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum
Slabs	Unheated	NR		Comply with Standard 90.1*		NR		Comply with Standard 90.1*		-	-
	Heated	NR		R-1.3 for 300mm.	F-1.76	R-1.3 for 300 mm.	F-1.76	-		-	
Doors	Swinging	-	U-4.0	-	U-4.0	-	U-4.0	-	U-4.0	-	U-4.0
	Non swinging	-	U-8.3	-	U-8.3	-	U-8.3	-	U-8.3	-	-
Vertical Fenestration	Area (Percent of gross wall	20% to 40%		35%		40%		40%		-	
	Thermal transmittance	U-3.21		U-3.21		U-3.97		U-2.47		U-3.21	
	SHGC	N,S,E,W -0.35, N only-0.49		0.25 (all types and orientation)		0.44		0.26		0.25	
Skylight	Area (Percent of gross wall)	3%		-		3%		3%		5% - 7%	
	Thermal transmittance	U-7.8		-		U-7.8		U-4.3		U-7.8	
	SHGC	0.19		-		0.19		0.35		0.19	
	Visible light transmittance (VLT)	-		-		-		-		0.45	

หมายเหตุ - R = R-value, U = U-factor, NR = no (insulation) requirement สามารถใช้มาตรฐานของ ASHRAE 90.1, c.i. = continuous insulation, “Comply with Standard 90.1” = ใช้เกณฑ์ฉบับล่าสุดของ ASHRAE Standard 90.1

ที่มา : รวบรวมโดยผู้วิจัย

ตารางที่ 24 รายการที่กำหนดของเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 50% (ระบบหน่วย SI)

Item	Component	Achieving 30% (Zone 1)									
		Small Office Buildings		School Building		Small Retail Buildings		Small Hospitals and Healthcare Facilities		Small Warehouses and Self-Storage Buildings	
		Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum
Roofs	Insulation Entirely above Deck	R-3.53 c.i.	U-0.28	R-3.53 c.i.	U-0.28	R-3.53 c.i.	U-0.28	R-3.53 c.i.	U-0.28	R-3.53 c.i.	U-0.28
	Metal Building	R-3.4+ R-1.8 FC	U-0.23	R-3.4+ R-1.8 FC	U-0.23	R-3.4+ R-1.8 FC	U-0.23	-	-	R-3.4+ R-1.8 FC	U-0.23
	Attic and Other	R-6.72	U-0.15	R-6.72	U-0.15	-	-	-	-	-	-
	Single rafter	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Walls - Exterior	Mass (HC > 144 kJ/m^{2}K)	R-1.0 c.i.	U-0.87	R-1.0 c.i.	U-0.87	NR		R-1.0 c.i.	U-0.87	NR	
	Steel framed	R-2.3+ R-2.3 c.i.	U-0.37	R-2.3+ R-2.3 c.i.	U-0.37	R-2.3+ R-2.3 c.i.	U-0.37	R-2.3+ R-2.3 c.i.	U-0.37	R-2.3	U-0.71
	Wood Framed and Other	R-2.3	U-0.51	R-2.3	U-0.51	-	-	-	-	-	-
	Metal Building	R-0+R-1.7 c.i.	U-0.54	R-0+R-1.7 c.i.	U-0.54	R-0+R-1.7 c.i.	U-0.54	-	-	R-0+R-1.7 c.i.	U-0.54
	Below-Grade Wall	NR		Comply with Standard 90.1*		-	-	Comply with Standard 90.1*		-	-
Floors	Mass	R-0.7 c.i.	U-0.79	R-0.7 c.i.	U-0.79	NR		R-0.7 c.i.	U-0.79	NR	
	Steel framed	R-3.4	U-0.30	R-3.4	U-0.30	NR		R-3.4	U-0.30	NR	
	Wood Framed and Other	R-3.4	U-0.30	R-3.4	U-0.30	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 24 รายการที่กำหนดของเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 50% (ระบบหน่วย SI) (ต่อ)

Item	Component	Achieving 30% (Zone 1)									
		Small Office Buildings		School Building		Small Retail Buildings		Small Hospitals and Healthcare Facilities		Small Warehouses and Self-Storage Buildings	
		Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum
Slabs	Unheated	NR		Comply with Standard 90.1*		NR		Comply with Standard 90.1*		NR	
	Heated	R-1.3 for 30 mm.	F-1.76	R-1.3 c.i.	F-1.76	R-1.3 for 300 mm.	F-1.76	R-1.3 for 300 mm.	F-1.76	NR	
Doors	Swinging	U-4.0		U-4.0		U-4.0		U-4.0		U-4.0	
	Non swinging	U-8.33		U-8.33		Roll-up = U-8.33 All other = U-0.4		U-8.33		U-8.33	
Vertical Fenestration	Area (Percent of gross wall)	20% to 40%		Fenestration-to-floor-area ratio (FFR) E-W=5%, N-S=7%		-		40%		-	
	Thermal transmittance	Nonmetal framing =U-3.21, Metal framing = U-3.7		Nonmetal framing =U-3.21, Metal framing = U-3.7		U-6.9		Nonmetal framing =U-3.21, Metal framing = U-3.7		-	
	SHGC	Nonmetal framing =0.25, Metal framing = 0.25		E-W=0.25 N=0.62 S=0.25		0.25		Nonmetal framing =0.25, Metal framing = 0.25		-	
	Light-to-solar gain ratio (LSG)	-		-		-		1.5		-	

หมายเหตุ - R = R-value, U = U-factor, NR = no (insulation) requirement สามารถใช้มาตรฐานของ ASHRAE 90.1, c.i. = continuous insulation, “Comply with Standard 90.1” = ใช้เกณฑ์ฉบับล่าสุดของ ASHRAE Standard 90.1

ที่มา : รวบรวมโดยผู้วิจัย

5. เกณฑ์ International Energy Conservation Code (IECC)

5.1 เกณฑ์ประเมินฯตามรายการที่กำหนดด้วยค่า R-value ของฉนวนและ U-factor ของกรอบอาคารทึบแสง

ตารางที่ 25 รายการที่กำหนดของกรอบอาคารทึบแสง ของเกณฑ์ International Energy Conservation Code 2018 (ระบบหน่วย SI)

Opaque Elements	International Energy Conservation Code 2018	
	Zone 1 (Commercial buildings)	
	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value
Roofs		
Insulation Entirely above Deck	U-0.22	R-4.4ci
Metal Building	U-0.20	R-1.9+R-3.4 FC
Attic and Other	U-0.16	R-6.7
Walls, above Grade		
Mass	U-0.87	R-1.0 ci[c]
Metal Building	U-0.45	R-2.3 + R-1.1 ci
Metal Framed	U-0.44	R-2.3 + R-0.9 ci
Wood Framed and Other	U-0.37	R-2.3 + R-0.7ci or R-3.5
Walls, above Grade		
Mass	U-0.87	R-1.0 ci[c]
Metal Building	U-0.45	R-2.3 + R-1.1 ci
Metal Framed	U-0.44	R-2.3 + R-0.9 ci
Wood Framed and Other	U-0.37	R-2.3 + R-0.7ci or R-3.5

หมายเหตุ – U = U-factor, F = F-factor, C = C-factor

ที่มา : (ICC Digital Codes Library, 2018)

5.2 เกณฑ์ประเมินฯตามรายการที่กำหนดด้วยค่า U-factor และ SHGC ของกรอบอาคารโปร่งแสง

ตารางที่ 26 รายการที่กำหนดของกรอบอาคารโปร่งแสง ของเกณฑ์ International Energy Conservation Code 2018 (ระบบหน่วย SI)

Fenestration	**International Energy Conservation Code 2018**	
	Zone 1 (Nonresidential)	
Vertical Fenestration		
U-factor		
Fixed fenestration	2.87	
Operable fenestration	3.45	
Entrance door	6.32	
SHGC		
Orientation	S / E / W *	N *
PF < 0.2	0.25	0.33
0.2 ≤ PF < 0.5	0.30	0.37
PF ≥ 0.5	0.40	0.40
Skylight		
U-factor	4.31	
SHGC	0.35	

หมายเหตุ – PF = Projection factor. ("N" หมายถึง ทิศที่ถูกกระทำกับหน้าต่างภายใน 45 องศาของทิศเหนือ, "S/E/W " หมายถึง ทิศอื่นๆ)

ที่มา : (ICC Digital Codes Library, 2018)

6. เกณฑ์ BCA Green Mark

6.1 รายการที่กำหนดประเภทการจำลอง (Simulation method) ของกรอบอาคาร

ตารางที่ 27 รายการที่กำหนดประเภทการจำลอง (Simulation method) ของกรอบอาคาร ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 2015

Overall Weighted Values	Industrial Buildings	Other building types
Window (U-Value)	5.4 W/m^{2}K	2.8 W/m^{2}K
Wall (U-Value)	1.5 W/m^{2}K	0.7 W/m^{2}K
Overall Envelope (U-value)	2.4 W/m^{2}K	1.6 W/m^{2}K
Window-to-Wall Ratio (Each façade)	0.2	0.4
Total Effective Glass Shading Coefficient (SC1 x SC2)	0.6	0.4
Roof (U-Value)	1.1 W/m^{2}K	0.8 W/m^{2}K
Sky light/ Roof window (U-Value)	4.3 W/m^{2}K	2.2 W/m^{2}K
RTTV (where there are sky lights for AC areas)	50 W/m^{2}K	50 W/m^{2}K

ที่มา : (Building and Construction Authority (BCA), 2015, p. 51)

6.2 รายการที่กำหนด (Non Simulation Checklist) ของกรอบอาคาร

ตารางที่ 28 รายการที่กำหนด (Non Simulation Checklist) ของกรอบอาคาร ประเภทที่ไม่ใช่อาคารอุตสาหกรรม ตามเกณฑ์ BCA Green Mark 2015

Overall Weighted Values	Industrial Buildings	Other building types
Envelope (U-Value)	2.4 W/m^{2}K	1.6 W/m^{2}K
WWR (Excludes façade openings/ voids)	0.2	0.4 (East, West facades not to exceed 0.3)
Glass Shading Coefficient (SC1)	0.5	0.4
Effective Sun Shading	-	-
Roof (U-Value)	1.0 W/m^{2}K	0.8 W/m^{2}K
Sky light/ Roof window (U-Value)	4.0 W/m^{2}K	2.2 W/m^{2}K

ที่มา : (Building and Construction Authority (BCA), 2015, p. 52)

ภาคผนวก ข
ค่าคุณสมบัติของกระจกประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าคุณสมบัติของกระจกประสิทธิภาพสูง หรือ ฉลากเบอร์ 5

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทดสอบกับกระจก 2 ประเภท คือ 1. กระจกชั้นเดียว และ 2. กระจก 2 ชั้น Low-E ที่ได้รับฉลากประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน โดยมีรายละเอียดของค่าคุณสมบัติของกระจกดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 29 เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของกระจกประสิทธิภาพสูง หรือ ฉลากเบอร์ 5

	Thickness (mm.)	Light Performances			Energy Performances						LSG	U-value		
		EN			EN	ISO	NFRC	EN	ISO	NFRC		EN	ISO	NFRC
		LR out (%)	LR in (%)	LT(%)	SF (%)		SHGC (%)	SC				W/m^2K		U-Summer W/m^2K
1. กระจกชั้นเดียว														
1.1	กระจกโฟลตสีตัดแสง (Energy Green) ยี่ห้อ เอจีซี แฟลทกลาส (AGC)													
	6	6	6	60	-	-	47	-	-	0.54	1.28	-	-	5.74
1.2	กระจก Low-E ซันเนอร์จีกรีน (Sunergy Green) ยี่ห้อ เอจีซี แฟลทกลาส (AGC)													
	6	7	10	56	41	42	42	0.47	0.48	0.48	1.34	4.1	4.1	3.30
2. กระจก 2 ชั้น														
2.1	กระจกฉนวนความร้อนสีน้ำเงินเขียว (PairTAG-BLUE GREEN) ยี่ห้อ เอจีซี แฟลทกลาส (AGC)													
	24	19	29	34	0.32	0.33	0.35	0.37	0.38	0.40	1.55	2.68	2.69	2.58
2.2	กระจก Low-E สต๊อปเรย์ สมาร์ท (Stopray Smart) ยี่ห้อ เอจีซี แฟลทกลาส (AGC)													
	24	17	21	49	-	-	0.30	-	-	0.35	1.63	-	-	1.60
2.3	กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้า เคลือบสาร Very Low-E (จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ของสวิชญา ดาวประกายมงคล)													
	30.76	7	10	35	-	-	0.21	-	-	0.24	1.67	-	-	1.56

ภาคผนวก ค

รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV)

ค่าสัมประสิทธิ์ของหลังคาอาคาร

1. หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs)

1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง ที่มีค่า R-value = 1.25 $m^{2}{}^{o}C/W$

ตารางที่ 30 ค่า U ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง

ลำดับ		รายการ	**Δ**X (m)	K (W/(m.°C))	R ($m^{2}.^{o}C/W$)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.055
1.	R1	คอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ซม.	0.100	1.442	0.069
2.	R2	ช่องว่างอากาศ 10 ซม. แผ่รังสีต่ำ	-	-	1.423
3.	R3	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 1 นิ้ว (ตราช้าง รุ่น CRB 2425 ความหนาแน่น 24 kg/m^{3})	-	-	1.250
4.	R4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	0.282	0.032
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.162
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (R total)					**2.99**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U value) ($W/m^{2}{}^{o}C$)					**0.33**

ตารางที่ 31 ค่า DSH ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง

รายการ		**Δ**X (m)	**ρ** (kg/m^{3})	Cp ($kJ/kg.^{o}C$)	DSH ($kJ/m^{2}.^{o}C$)
1.	คอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ซม.	0.100	2,400	0.92	220.8
2.	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 1 นิ้ว	0.025	24	0.96	0.576
3.	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	800	1.09	7.848
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**229.22**

ตารางที่ 32 ค่า TD_{eq} ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	ทิศทาง	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
0	ทุกทิศทาง	0.3	11.63	12.3	7.5
		0.5	16.59	18.6	11.3
		0.7	25.19	24.9	14.9
		0.9	31.96	31.2	18.7

1.2 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1 ติดตั้งฉนวนที่มีค่า R-value = 2.6 m^{2}°C/W

ตารางที่ 33 ค่า U ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1

ลำดับ		รายการ	**Δ**X (m)	K (W/m.°C)	R (m^{2}.°C/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.055
1.	R1	คอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ซม.	0.100	1.442	0.069
2.	R2	ช่องว่างอากาศ 10 ซม. แผ่รังสีต่ำ	-	-	1.423
3.	R3	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 2 นิ้ว (ตราช้าง รุ่น CRB 3225 ความหนาแน่น 32 kg/m^{3})	-	-	2.600
4.	R4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	0.282	0.032
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.162
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (R total)					**4.34**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U value) (W/m^{2}°C)					**0.23**

ตารางที่ 34 ค่า DSH ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1

	รายการ	**Δ**X (m)	**ρ** (kg/m^{3})	Cp (kJ/kg·°C)	DSH (kJ/m^{2}·°C)
1.	คอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ซม.	0.100	2,400	0.92	220.8
2.	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 2 นิ้ว	0.050	32	0.96	1.536
3.	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	800	1.09	7.848
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**230.18**

ตารางที่ 35 ค่า TD_{eq} ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	ทิศทาง	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
0	ทุกทิศทาง	0.3	11.62	12.3	7.5
		0.5	18.41	18.5	11.3
		0.7	25.16	24.9	14.9
		0.9	31.92	31.2	18.8

1.3 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2 ติดตั้งฉนวนที่มีค่า R-value = 3.9 m^{2}°C/W

ตารางที่ 36 ค่า U ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2

ลำดับ		รายการ	**Δ**X (m)	K (W/m.°C)	R (m^{2}.°C/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.055
1.	R1	คอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ซม.	0.100	1.442	0.069
2.	R2	ช่องว่างอากาศ 10 ซม. แผ่รังสีต่ำ	-	-	1.423
3.	R3	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 3 นิ้ว (ตราช้าง รุ่น CRB 3225 ความหนาแน่น 32 kg/m^{3})	-	-	3.900
4.	R4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	0.282	0.032
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.162
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (R total)					**5.64**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U value) (W/m^{2}°C)					**0.18**

ตารางที่ 37 ค่า DSH ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2

	รายการ	**Δ**X (m)	**ρ** (kg/m^{3})	Cp (kJ/kg·°C)	DSH (kJ/m^{2}·°C)
1.	คอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ซม.	0.100	2,400	0.92	220.8
2.	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 2 นิ้ว	0.075	32	0.96	2.304
3.	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	800	1.09	7.848
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**230.95**

ตารางที่ 38 ค่า TD_{eq} ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	ทิศทาง	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
0	ทุกทิศทาง	0.3	11.60	12.3	7.5
		0.5	18.39	18.5	11.4
		0.7	25.14	24.9	15.2
		0.9	31.89	31.2	19.1

1.4 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 พื้นที่ 0 ติดตั้งฉนวนที่มีค่า R-value = 4.4 m^{2}°C/W

ตารางที่ 39 ค่า U ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 พื้นที่ 0

ลำดับ		รายการ	**Δx** (m)	K (W/m.°C)	R (m^{2}.°C/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.055
1.	R1	Roof membrane (Taylor et al., 2018)	0.001	-	0
2.	R2	ฉนวนโฟมโพลียูรีเทน	0.1	0.023	4.400
3.	R3	คอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ซม.	0.100	1.442	0.069
4.	R4	ช่องว่างอากาศ 10 ซม.	-	-	0.178
5.	R5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	0.282	0.032
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.162
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (R total)					**4.89**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U value) (W/m^{2}°C)					**0.20**

ตารางที่ 40 ค่า DSH ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 พื้นที่ 0

รายการ		**Δx** (m)	**ρ** (kg/m^{3})	Cp (kJ/kg·°C)	DSH (kJ/m^{2}·°C)
1.	ฉนวนโฟมโพลียูรีเทน	0.101	24	1.59	3.862
2.	คอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ซม.	0.100	2,400	0.92	220.8
3.	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	800	1.09	7.848
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**232.51**

ตารางที่ 41 ค่า TD_{eq} ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 พื้นที่ 0

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	ทิศทาง	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
0	ทุกทิศทาง	0.3	11.60	12.2	7.5
		0.5	18.40	18.5	11.3
		0.7	25.10	24.8	14.9
		0.9	31.80	31.1	18.8

2. หลังคากระเบื้อง (Pitched roof)

2.1 หลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง ที่มีค่า R-value = 1.25 $m^{2}{}^{o}C/W$

ตารางที่ 42 ค่า U ของหลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง

ลำดับ		รายการ	**Δ**X (m)	K (W/m.°C)	R ($m^{2}.^{o}C/W$)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.055
1.	R1	กระเบื้องลอนคู่	0.100	0.384	0.013
2.	R2	ช่องว่างอากาศ	-	-	1.356
3.	R3	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 1 นิ้ว (ตราช้าง รุ่น CRB 2425 ความหนาแน่น 24 kg/m^{3})	-	-	1.250
4.	R4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	0.282	0.032
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.162
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (R total)					**2.87**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U value) ($W/m^{2}{}^{o}C$)					**0.35**

ตารางที่ 43 ค่า DSH ของหลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง

รายการ		**Δ**X (m)	**ρ** (kg/m^{3})	Cp ($kJ/kg.^{o}C$)	DSH ($kJ/m^{2}.^{o}C$)
1.	กระเบื้องลอนคู่	0.005	1,700	1	8.5
2.	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 1 นิ้ว	0.025	24	0.96	0.576
3.	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	800	1.09	7.848
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**16.92**

ตารางที่ 44 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
45	0.3	เหนือ	13.5	10.2	5.9
		ตะวันออก	15.3	11.0	6.7
		ใต้	15.7	11.6	6.9
		ตะวันตก	15.1	11.6	6.6
	0.5	เหนือ	19.3	14.1	8.3
		ตะวันออก	22.6	15.7	9.8

ตารางที่ 44 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
45	0.5	ใต้	23.4	16.9	10.1
		ตะวันตก	22.3	16.8	9.5
	0.7	เหนือ	25.1	18.1	10.7
		ตะวันออก	30.0	20.3	12.8
		ใต้	31.2	22.0	13.2
		ตะวันตก	29.5	21.9	12.4
	0.9	เหนือ	30.9	22.1	13.1
		ตะวันออก	37.3	24.9	15.8
		ใต้	39.0	27.1	16.3
		ตะวันตก	36.7	27.0	15.3
30	0.3	เหนือ	14.7	11.03	6.50
		ตะวันออก	16.0	11.54	7.10
		ใต้	16.3	12.04	7.20
		ตะวันตก	15.8	12.04	7.00
	0.5	เหนือ	21.5	15.65	9.30
		ตะวันออก	24.0	16.66	10.31
		ใต้	24.6	17.56	10.51
		ตะวันตก	23.8	17.56	10.20
	0.7	เหนือ	28.4	20.28	12.10
		ตะวันออก	32.0	21.79	13.60
		ใต้	32.9	23.10	13.91
		ตะวันตก	31.7	23.10	13.31
	0.9	เหนือ	35.8	24.99	14.91
		ตะวันออก	40.0	26.92	16.81
		ใต้	41.3	28.45	17.30
		ตะวันตก	39.6	28.72	16.51
15	0.3	เหนือ	15.7	11.73	6.91
		ตะวันออก	16.4	11.94	7.21
		ใต้	16.5	12.24	7.30
		ตะวันตก	16.3	12.24	7.20

ตารางที่ 44 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ฉลากประสิทธิภาพสูง (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
15	0.5	เหนือ	23.5	16.96	10.10
		ตะวันออก	24.8	17.46	10.61
		ใต้	25.1	17.96	10.80
		ตะวันตก	24.7	17.98	10.60
	0.7	เหนือ	31.4	22.19	13.30
		ตะวันออก	33.2	22.99	14.10
		ใต้	33.7	23.69	14.21
		ตะวันตก	33.1	23.79	13.91
	0.9	เหนือ	39.2	27.50	16.50
		ตะวันออก	41.7	28.42	17.51
		ใต้	42.4	29.43	17.71
		ตะวันตก	41.5	29.53	17.31

มหาวิทยาลัยศิลปากร

2.2 หลังคากระเบื้องติดตั้งฉนวนใยแก้ว ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1 ที่มีค่า R-value = 2.6 $m^{2\circ}C/W$

ตารางที่ 45 ค่า U ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1

ลำดับ		รายการ	**Δx** (m)	K (W/m.°C)	R ($m^{2\circ}C$/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.055
1.	R1	กระเบื้องลอนคู่	0.100	0.384	0.013
2.	R2	ช่องว่างอากาศ	-	-	1.356
3.	R3	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 2 นิ้ว (ตราช้าง รุ่น CRB 3225 ความหนาแน่น 32 kg/m^3)	-	-	2.600
4.	R4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	0.282	0.032
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.162
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (R total)					**4.22**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U value) ($W/m^{2\circ}C$)					**0.24**

ตารางที่ 46 ค่า DSH ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1

รายการ		**Δx** (m)	**ρ** (kg/m^3)	Cp ($kJ/kg\cdot^{\circ}C$)	DSH ($kJ/m^{2\cdot\circ}C$)
1.	กระเบื้องลอนคู่	0.005	1,700	1	8.5
2.	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5	0.050	32	0.96	1.536
3.	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	800	1.09	7.848
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**17.88**

ตารางที่ 47 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
45	0.3	เหนือ	13.4	10.2	5.9
		ตะวันออก	15.2	11.1	6.7
		ใต้	15.7	11.7	6.9
		ตะวันตก	15.1	11.6	6.6
	0.5	เหนือ	19.3	14.2	8.3
		ตะวันออก	22.6	15.7	9.8
		ใต้	23.4	16.9	10.1
		ตะวันตก	22.3	16.8	9.5

ตารางที่ 47 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1 (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
45	0.7	เหนือ	25.1	18.1	10.7
		ตะวันออก	30.0	20.3	12.8
		ใต้	31.2	22.0	13.2
		ตะวันตก	29.5	21.9	12.4
	0.9	เหนือ	30.9	22.1	13.1
		ตะวันออก	37.3	25.0	15.8
		ใต้	39.0	27.2	16.3
		ตะวันตก	36.7	27.0	15.3
30	0.3	เหนือ	14.6	11.04	6.50
		ตะวันออก	15.9	11.56	7.10
		ใต้	16.2	12.06	7.20
		ตะวันตก	15.8	12.06	7.00
	0.5	เหนือ	21.5	15.68	9.30
		ตะวันออก	24.0	16.70	10.32
		ใต้	24.6	17.60	10.52
		ตะวันตก	23.8	17.60	10.20
	0.7	เหนือ	28.4	20.32	12.10
		ตะวันออก	32.0	21.83	13.60
		ใต้	32.9	23.15	13.92
		ตะวันตก	31.7	23.15	13.32
	0.9	เหนือ	36.1	25.03	14.92
		ตะวันออก	40.0	26.97	16.82
		ใต้	41.3	28.53	17.30
		ตะวันตก	39.6	28.77	16.52
15	0.3	เหนือ	15.7	11.74	6.92
		ตะวันออก	16.3	11.96	7.22
		ใต้	16.5	12.26	7.30
		ตะวันตก	16.3	12.26	7.20
	0.5	เหนือ	23.5	17.00	10.10
		ตะวันออก	24.8	17.50	10.62
		ใต้	25.1	18.00	10.80

ตารางที่ 47 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 1 (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
15	0.5	ตะวันตก	24.7	18.02	10.60
	0.7	เหนือ	31.4	22.23	13.30
		ตะวันออก	33.2	23.03	14.10
		ใต้	33.7	23.73	14.22
		ตะวันตก	33.1	23.83	13.92
	0.9	เหนือ	39.2	27.55	16.50
		ตะวันออก	41.7	28.47	17.52
		ใต้	42.4	29.49	17.72
		ตะวันตก	41.5	29.59	17.32

มหาวิทยาลัยศิลปากร

2.3 หลังคากระเบื้องติดตั้งฉนวนใยแก้ว ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2 ที่มีค่า R-value = 3.9 $m^{2\circ}C/W$

ตารางที่ 48 ค่า U ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2

ลำดับ		รายการ	**Δ**X (m)	K (W/m.°C)	R ($m^{2\circ}C$/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.055
1.	R1	กระเบื้องลอนคู่	0.100	0.384	0.013
2.	R2	ช่องว่างอากาศ	-	-	1.356
3.	R3	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 2 นิ้ว (ตราช้าง รุ่น CRB 3225 ความหนาแน่น 32 kg/m^3)	-	-	3.900
4.	R4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	0.282	0.032
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.162
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (R total)					**5.52**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U value) ($W/m^{2\circ}C$)					**0.18**

ตารางที่ 49 ค่า DSH ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2

รายการ		**Δ**X (m)	**ρ** (kg/m^3)	Cp ($kJ/kg\cdot^{\circ}C$)	DSH ($kJ/m^{2\cdot\circ}C$)
1.	กระเบื้องลอนคู่	0.005	1,700	1	8.5
2.	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5	0.075	32	0.96	2.304
3.	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	800	1.09	7.848
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**18.65**

ตารางที่ 50 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
45	0.3	เหนือ	13.4	10.2	5.9
		ตะวันออก	15.2	11.1	6.7
		ใต้	15.7	11.7	6.9
		ตะวันตก	15.1	11.6	6.6
	0.5	เหนือ	19.3	14.2	8.3
		ตะวันออก	22.6	15.7	9.8
		ใต้	23.4	16.9	10.1
		ตะวันตก	22.3	16.8	9.5

ตารางที่ 50 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2 (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
	0.7	เหนือ	25.1	18.1	10.7
		ตะวันออก	30.0	20.3	12.8
		ใต้	31.2	22.0	13.2
		ตะวันตก	29.5	21.9	12.4
	0.9	เหนือ	30.9	22.1	13.1
		ตะวันออก	37.3	25.0	15.8
		ใต้	39.0	27.2	16.3
		ตะวันตก	36.6	27.1	15.3
30	0.3	เหนือ	14.6	11.05	6.50
		ตะวันออก	15.9	11.57	7.10
		ใต้	16.2	12.07	7.20
		ตะวันตก	15.8	12.07	7.00
	0.5	เหนือ	21.5	15.70	9.30
		ตะวันออก	24.0	16.72	10.32
		ใต้	24.6	17.62	10.52
		ตะวันตก	23.8	17.62	10.20
	0.7	เหนือ	28.4	20.35	12.10
		ตะวันออก	32.0	21.87	13.60
		ใต้	32.9	23.19	13.92
		ตะวันตก	31.7	23.19	13.32
	0.9	เหนือ	36.3	25.07	14.92
		ตะวันออก	40.0	27.02	16.82
		ใต้	41.2	28.59	17.30
		ตะวันตก	39.6	28.82	16.52
15	0.3	เหนือ	15.7	11.75	6.92
		ตะวันออก	16.3	11.97	7.22
		ใต้	16.5	12.27	7.30
		ตะวันตก	16.3	12.27	7.20
	0.5	เหนือ	23.5	17.02	10.10
		ตะวันออก	24.8	17.52	10.62
		ใต้	25.1	18.02	10.80

ตารางที่ 50 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามคู่มือการประเมินฯ แบบที่ 2 (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
15	0.5	ตะวันตก	24.7	18.05	10.60
	0.7	เหนือ	31.4	22.27	13.30
		ตะวันออก	33.2	23.07	14.10
		ใต้	33.7	23.77	14.22
		ตะวันตก	33.1	23.87	13.92
	0.9	เหนือ	39.2	27.59	16.50
		ตะวันออก	41.7	28.52	17.52
		ใต้	42.3	29.54	17.72
		ตะวันตก	41.5	29.64	17.32

มหาวิทยาลัยศิลปากร

2.4 หลังคากระเบื้องติดตั้งฉนวนใยแก้ว ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 ที่มีค่า R-value = 6.7 $m^{2\circ}C/W$

ตารางที่ 51 ค่า U ของหลังคากระเบื้อง ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016

ลำดับ		รายการ	**Δx** (m)	**K** (W/m.°C)	**R** ($m^{2\circ}C$/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.055
1.	R1	กระเบื้องลอนคู่	0.100	0.384	0.013
2.	R2	ช่องว่างอากาศ	-	-	1.356
3.	R3	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 4 นิ้ว (ตราช้าง รุ่น CRB 4825 ความหนาแน่น 48 kg/m^3)	-	-	6.700
4.	R4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	0.282	0.032
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.162
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (R total)					**8.32**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U value) ($W/m^{2\circ}C$)					**0.12**

ตารางที่ 52 ค่า DSH ของหลังคากระเบื้อง ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016

รายการ		**Δx** (m)	**ρ** (kg/m^3)	Cp ($kJ/kg\cdot^{\circ}C$)	DSH ($kJ/m^{2\cdot\circ}C$)
1.	กระเบื้องลอนคู่	0.005	1,700	1	8.5
2.	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5	0.1	48	0.96	4.608
3.	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.009	800	1.09	7.848
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**20.96**

ตารางที่ 53 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์**	**ทิศทาง**	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})**		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
45	0.3	เหนือ	13.3	10.28	5.94
		ตะวันออก	15.1	11.12	6.74
		ใต้	15.6	11.72	6.90
		ตะวันตก	15.0	11.68	6.60
	0.5	เหนือ	19.1	14.22	8.34
		ตะวันออก	22.5	15.76	9.80

ตารางที่ 53 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
45	0.5	ใต้	23.3	16.96	10.10
		ตะวันตก	22.1	16.86	9.54
	0.7	เหนือ	24.9	18.20	10.74
		ตะวันออก	29.8	20.44	12.80
		ใต้	31.0	22.14	13.24
		ตะวันตก	29.3	22.04	12.44
	0.9	เหนือ	30.7	22.20	13.14
		ตะวันออก	37.1	25.12	15.80
		ใต้	38.8	27.36	16.34
		ตะวันตก	36.4	27.18	15.34
30	0.3	เหนือ	14.6	11.08	6.50
		ตะวันออก	15.9	11.62	7.10
		ใต้	16.2	12.12	7.20
		ตะวันตก	15.7	12.12	7.00
	0.5	เหนือ	21.4	15.76	9.30
		ตะวันออก	23.9	16.80	10.34
		ใต้	24.5	17.70	10.54
		ตะวันตก	23.7	17.70	10.20
	0.7	เหนือ	28.3	20.44	12.10
		ตะวันออก	31.9	21.98	13.60
		ใต้	32.8	23.32	13.94
		ตะวันตก	31.6	23.32	13.34
	0.9	เหนือ	36.8	25.18	14.94
		ตะวันออก	39.9	27.16	16.84
		ใต้	41.1	28.78	17.30
		ตะวันตก	39.5	28.96	16.54
15	0.3	เหนือ	15.6	11.78	6.94
		ตะวันออก	16.3	12.02	7.24
		ใต้	16.4	12.32	7.30
		ตะวันตก	16.2	12.32	7.20

ตารางที่ 53 ค่า TD_{eq} ของหลังคากระเบื้อง ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
15	0.5	เหนือ	23.4	17.10	10.10
		ตะวันออก	24.7	17.60	10.64
		ใต้	25.0	18.10	10.80
		ตะวันตก	24.6	18.14	10.60
	0.7	เหนือ	31.3	22.38	13.30
		ตะวันออก	33.1	23.18	14.10
		ใต้	33.6	23.88	14.24
		ตะวันตก	33.0	23.98	13.94
	0.9	เหนือ	39.1	27.72	16.50
		ตะวันออก	41.6	28.66	17.54
		ใต้	42.2	29.70	17.74
		ตะวันตก	41.4	29.80	17.34

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ง
รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV)

ค่าสัมประสิทธิ์ของผนังด้านนอกอาคาร

1. ผนังมวลสาร (Mass Wall)

1.1 ผนังคอนกรีตมวลเบา

1) ผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ BCA Green Mark มีค่า U-value = 1.20 $W/m^{2\circ}C$

ตารางที่ 54 ค่า U ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ BCA Green Mark

ลำดับ		รายการ	**Δx** (m)	**K** (W/m.°C)	**R** (m^2.C/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.044
1.	R1	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
2.	R2	คอนกรีตมวลเบา เบอร์ 5 (บริษัท สมาร์ทคอนกรีต จำกัด (มหาชน)) ความหนาแน่น 600 kg/m^3	0.075	0.130	0.577
3.	R3	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.120
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ (R total)					**0.83**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U value) ($W/m^{2\circ}C$)					**1.20**

ตารางที่ 55 ค่า DSH ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ BCA Green Mark

รายการ		**Δx** (m)	**ρ** (kg/m^3)	Cp ($kJ/kg\cdot^\circ C$)	DSH ($kJ/m^{2\cdot\circ}C$)
1.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
2.	คอนกรีตมวลเบา เบอร์ 5 ความหนาแน่น 600 kg/m^3	0.075	600	0.84	37.8
3.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**68.04**

ตารางที่ 56 ค่า TD_{eq} ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ BCA Green Mark

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์**	**ทิศทาง**	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})**		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.3	เหนือ	9.7	8.40	4.7
		ตะวันออก	11.6	9.57	5.5
		ใต้	11.8	10.04	5.7
		ตะวันตก	10.9	9.70	5.4
	0.5	เหนือ	12.8	10.84	6.1
		ตะวันออก	16.1	12.71	7.5

ตารางที่ 56 ค่า TD_{eq} ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ BCA Green Mark (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.5	ใต้	16.4	13.51	7.7
		ตะวันตก	15.0	13.00	7.2
	0.7	เหนือ	15.9	13.24	7.5
		ตะวันออก	20.7	15.88	9.4
		ใต้	21.1	17.01	9.8
		ตะวันตก	19.0	16.30	9.1
	0.9	เหนือ	19.0	15.57	8.9
		ตะวันออก	25.2	18.95	11.4
		ใต้	25.7	20.48	11.9
		ตะวันตก	22.9	19.54	11.0

2) ผนังคอนกรีตมวลเบา ตามคู่มือการประเมินฯ ที่มีค่า U-value = 0.98 $W/m^{2o}C$

ตารางที่ 57 ค่า U ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามคู่มือการประเมินฯ

ลำดับ		รายการ	**Δx** (m)	K (W/m.°C)	R ($m^{2o}C$/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.044
1.	R1	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
2.	R2	คอนกรีตมวลเบา เบอร์ 5 (บริษัท สมาร์ทคอนกรีต จำกัด (มหาชน)) ความหนาแน่น 600 kg/m^3	0.100	0.130	0.769
3.	R3	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.120
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ (R total)					**1.03**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U value) ($W/m^{2o}C$)					**0.98**

ตารางที่ 58 ค่า DSH ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามคู่มือการประเมินฯ

รายการ		**Δx** (m)	**ρ** (kg/m^3)	Cp ($kJ/kg{\cdot}^oC$)	DSH ($kJ/m^{2.o}C$)
1.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
2.	คอนกรีตมวลเบา เบอร์ 5 ความหนาแน่น 600 kg/m^3	0.100	600	0.84	50.40
3.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**80.64**

ตารางที่ 59 ค่า TD_{eq} ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามคู่มือการประเมินฯ

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.3	เหนือ	9.4	8.40	4.8
		ตะวันออก	11.4	9.62	5.5
		ใต้	11.5	10.06	5.7
		ตะวันตก	10.6	9.70	5.4
	0.5	เหนือ	12.5	10.86	6.2
		ตะวันออก	15.9	12.78	7.5
		ใต้	16.1	13.58	7.8
		ตะวันตก	14.6	13.00	7.3
	0.7	เหนือ	15.6	13.26	7.6
		ตะวันออก	20.4	16.01	9.5
		ใต้	20.7	17.08	9.9
		ตะวันตก	18.5	16.30	9.2
	0.9	เหนือ	18.6	15.62	9.0
		ตะวันออก	24.9	19.13	11.5
		ใต้	25.3	20.61	12.0
		ตะวันตก	22.4	19.56	11.0

3) ผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 ที่มีค่า U-value = 0.62 ($W/m^{2\circ}C$)

ตารางที่ 60 ค่า U ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016

ลำดับ		รายการ	**Δx** (m)	**K** (W/m.°C)	**R** ($m^{2\circ}C/W$)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.044
1.	R1	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
2.	R2	คอนกรีตมวลเบา เบอร์ 5 (บริษัท สมาร์ทคอนกรีต จำกัด (มหาชน)) ความหนาแน่น 600 kg/m^3	0.175	0.130	1.346
3.	R3	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.120
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ (R total)					**1.60**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U value) ($W/m^{2\circ}C$)					**0.62**

ตารางที่ 61 ค่า DSH ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016

รายการ		**Δx** (m)	**ρ** (kg/m^3)	Cp (kJ/kg·°C)	DSH (kJ/m^{2}·°C)
1.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
2.	คอนกรีตมวลเบา เบอร์ 5 ความหนาแน่น 600 kg/m^3	0.175	600	0.84	88.2
3.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**118.44**

ตารางที่ 62 ค่า TD_{eq} ของผนังคอนกรีตมวลเบา ตามเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์**	**ทิศทาง**	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})**		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.3	เหนือ	8.9	8.34	4.8
		ตะวันออก	10.9	9.66	5.5
		ใต้	10.8	10.04	5.7
		ตะวันตก	9.9	9.61	5.4
	0.5	เหนือ	11.8	10.83	6.2
		ตะวันออก	15.2	12.88	7.5
		ใต้	15.2	13.63	7.8
		ตะวันตก	13.6	12.89	7.3
	0.7	เหนือ	14.8	13.23	7.6
		ตะวันออก	19.6	16.18	9.5
		ใต้	19.7	17.14	9.9
		ตะวันตก	17.4	16.12	9.2
	0.9	เหนือ	17.7	15.61	9.0
		ตะวันออก	24.0	19.42	11.5
		ใต้	24.1	20.73	12.0
		ตะวันตก	21.1	19.47	11.1

2.1 ผนังอิฐมอญ

1) ผนังอิฐมอญ ตามเกณฑ์ BCA Green Mark ที่มีค่า U-value = 1.45 ($W/m^{2}{}^{\circ}C$)

ตารางที่ 63 ค่า U ของผนังอิฐมอญ ตามเกณฑ์ BCA Green Mark

ลำดับ		รายการ	**ΔX** (m)	K (W/m.°C)	R ($m^{2}.{}^{\circ}C/W$)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.044
1.	R1	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
2.	R2	อิฐมอญ	0.065	0.473	0.137
3.	R3	ช่องว่างอากาศ 10 ซม.	-	-	0.160
4.	R4	อิฐมอญ	0.065	0.473	0.137
5.	R5	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.120
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ (R total)					**0.69**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U value) ($W/m^{2}{}^{\circ}C$)					**1.45**

ตารางที่ 64 ค่า DSH ของผนังอิฐมอญ ตามเกณฑ์ BCA Green Mark

รายการ		**ΔX** (m)	**ρ** (kg/m^{3})	Cp ($kJ/kg{\cdot}{}^{\circ}C$)	DSH ($kJ/m^{2}{\cdot}{}^{\circ}C$)
1.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
2.	อิฐมอญ	0.100	1600	0.79	82.16
3.	อิฐมอญ	0.100	1600	0.79	82.16
4.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**194.56**

ตารางที่ 65 ค่า TD_{eq} ของผนังอิฐมอญ ตามเกณฑ์ BCA Green Mark

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์**	**ทิศทาง**	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})**		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.3	เหนือ	7.9	8.13	4.8
		ตะวันออก	9.8	9.53	5.6
		ใต้	9.7	9.84	5.8
		ตะวันตก	8.7	9.24	5.5
	0.5	เหนือ	10.6	10.54	6.3
		ตะวันออก	14.0	12.84	7.7
		ใต้	13.8	13.34	7.9

ตารางที่ 65 ค่า TD_{eq} ของผนังอิฐมอญ ตามเกณฑ์ BCA Green Mark (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.5	ตะวันตก	12.1	12.44	7.5
	0.7	เหนือ	13.4	12.94	7.7
		ตะวันออก	18.1	16.14	9.7
		ใต้	17.9	16.95	10.1
		ตะวันตก	15.6	15.34	9.4
	0.9	เหนือ	16.2	15.24	9.2
		ตะวันออก	22.3	19.55	11.7
		ใต้	22.0	20.46	12.2
		ตะวันตก	19.0	18.97	11.3

2) ผนังอิฐมอญ ตามคู่มือการประเมินฯ ที่มีค่า U-value = 1.00 ($W/m^{2\circ}C$)

ตารางที่ 66 ค่า U ของผนังอิฐมอญ ตามคู่มือการประเมินฯ

ลำดับ		รายการ	**Δx** (m)	K (W/m.°C)	R ($m^{2\circ}C/W$)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.044
1.	R1	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
2.	R2	อิฐมอญ (วางเต็มแผ่น)	0.130	0.473	0.275
3.	R3	ช่องว่างอากาศ 10 ซม.	-	-	0.160
4.	R4	อิฐมอญ (วางเต็มแผ่น)	0.130	0.473	0.275
5.	R5	ฉาบปูนเรียบ	0.015	0.326	0.046
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.120
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ (R total)					**0.97**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U value) ($W/m^{2\circ}C$)					**1.00**

ตารางที่ 67 ค่า DSH ของผนังอิฐมอญ ตามคู่มือการประเมินฯ

รายการ		**Δx** (m)	**ρ** (kg/m^3)	Cp ($kJ/kg\cdot^{\circ}C$)	DSH ($kJ/m^{2\cdot\circ}C$)
1.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
2.	อิฐมอญ (วางเต็มแผ่น)	0.130	1600	0.79	164.32
3.	อิฐมอญ (วางเต็มแผ่น)	0.130	1600	0.79	164.32
4.	ฉาบปูนเรียบ	0.015	1,200	0.84	15.12
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**358.88**

ตารางที่ 68 ค่า TD_{eq} ของผนังอิฐมอญ ตามคู่มือการประเมินฯ

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.3	เหนือ	6.9	7.15	5.0
		ตะวันออก	8.5	8.55	5.8
		ใต้	8.4	8.69	6.0
		ตะวันตก	7.7	8.09	5.7
	0.5	เหนือ	9.5	9.39	6.3
		ตะวันออก	12.2	11.69	7.9
		ใต้	12.1	12.03	8.2
		ตะวันตก	10.7	11.13	7.7
	0.7	เหนือ	12.0	11.63	7.9
		ตะวันออก	15.8	14.83	9.9
		ใต้	15.7	15.31	10.4
		ตะวันตก	13.8	14.19	9.6
	0.9	เหนือ	14.5	13.93	9.4
		ตะวันออก	19.3	17.91	12.0
		ใต้	19.4	18.65	12.6
		ตะวันตก	16.8	16.83	11.6

มหาวิทยาลัยศิลปากร

2. ผนังโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed)

ตารางที่ 69 ค่า U ของผนังโครงเคร่าเหล็ก ต่ำกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนด

ลำดับ		รายการ	**Δx** (m)	K (W/m.°C)	R (m^2.°C/ W)
Rao		ฟิล์มอากาศด้านนอก	-	-	0.044
1.	R1	ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ภายนอก	0.012	0.1	0.120
2.	R2	ช่องว่างอากาศ 50 มม. แผ่รังสีสูง	-	-	0.589
3.	R3	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ขนาด 50 มม. ความหนาแน่น 16 kg/m^3	-	-	1.400
4.	R4	ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ภายใน	0.010	0.1	0.100
Rai		ฟิล์มอากาศด้านใน	-	-	0.120
ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทึบ (R total)					**2.373**
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U value) (W/m^2°C)					**0.42**

ตารางที่ 70 ค่า DSH ของผนังโครงเคร่าเหล็ก ต่ำกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนด

รายการ		**Δx** (m)	**ρ** (kg/m^3)	Cp (kJ/kg·°C)	DSH (kJ/m^2·°C)
1.	ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ภายนอก	0.012	1300	1.3	20.28
2.	ฉนวนใยแก้ว เบอร์ 5 ความหนาแน่น 16 kg/m^3	0.05	16	0.96	0.768
3.	ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ภายใน	0.01	1300	1.3	16.9
ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH)					**37.95**

ตารางที่ 71 ค่า TD_{eq} ของผนังโครงเคร่าเหล็ก จากการทดสอบค่า U ต่ำกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนด

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.3	เหนือ	10.2	8.40	4.7
		ตะวันออก	12.1	9.45	5.5
		ใต้	12.5	9.98	5.7
		ตะวันตก	11.8	9.70	5.4
	0.5	เหนือ	13.5	10.78	6.1
		ตะวันออก	16.7	12.53	7.5
		ใต้	17.3	13.38	7.7
		ตะวันตก	16.1	12.98	7.2

ตารางที่ 71 ค่า TD_{eq} ของผนังโครงเคร่าเหล็ก จากการทดสอบค่า U ต่ำกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนด (ต่อ)

มุมเอียงของหลังคา (องศา)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	ทิศทาง	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})		
			อาคารกลุ่มที่ 1	อาคารกลุ่มที่ 2	อาคารกลุ่มที่ 3
90	0.7	เหนือ	16.7	13.18	7.5
		ตะวันออก	21.3	15.60	9.4
		ใต้	22.0	16.83	9.8
		ตะวันตก	20.2	16.28	9.1
	0.9	เหนือ	19.9	15.48	8.9
		ตะวันออก	25.9	18.60	11.4
		ใต้	26.8	20.23	11.9
		ตะวันตก	24.5	19.48	10.9

ภาคผนวก จ
ผลการคำนวณคุณสมบัติในการออกแบบกรอบอาคาร
ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร
(Roof Thermal Transfer Value, RTTV)

1. ผลการทดสอบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

1.1 หลังคาดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs) ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร

ตารางที่ 72 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาดาดฟ้าคอนกรีต ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร

ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R-value) $m^{2o}C/W$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m²)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
≥ 1.25	3.89	6.16	8.42	10.68	4.10	6.21	8.33	10.43	2.52	3.76	4.99	6.27
≥ 2.60	2.67	4.24	5.79	7.35	2.82	4.27	5.73	7.18	1.73	2.59	3.44	4.32
≥ 3.90	2.05	3.26	4.45	5.65	2.17	3.28	4.41	5.52	1.34	2.02	2.69	3.39
≥ 4.40	2.37	3.75	5.12	6.51	2.50	3.78	5.08	6.36	1.54	2.30	3.05	3.84

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

1.2 หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ชนิดหลังคาปั้นหยา ไม่มีช่องแสง

แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ความลาดชัน คือ หลังคาลาดชัน 45, 30 และ 15 องศา แสดงรายละเอียดตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 73 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 45 องศา ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร

ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R-value) $m^{2o}C/W$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m²)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
≥ 1.25	5.20	7.65	10.11	12.55	3.88	5.53	7.16	8.81	2.28	3.29	4.28	5.28
≥ 2.60	3.53	5.20	6.86	8.53	2.64	3.76	4.88	6.00	1.55	2.24	2.91	3.59
≥ 3.90	2.69	3.97	5.24	6.51	2.02	2.88	3.74	4.59	1.18	1.71	2.23	2.74
≥ 6.70	1.78	2.62	3.47	4.31	1.35	1.92	2.49	3.06	0.79	1.14	1.48	1.82

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ตารางที่ 74 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ความลาดชัน 30 องศา ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร

ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R-value) $m^{2o}C/W$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
≥ 1.25	5.47	8.20	10.91	13.67	4.07	5.88	7.69	9.51	2.42	3.52	4.61	5.71
≥ 2.60	3.71	5.57	7.41	9.30	2.77	4.00	5.24	6.48	1.65	2.39	3.14	3.89
≥ 3.90	2.83	4.25	5.66	7.11	2.12	3.07	4.01	4.96	1.26	1.83	2.40	2.97
≥ 6.70	1.87	2.81	3.74	4.73	1.41	2.05	2.68	3.31	0.84	1.21	1.59	1.97

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ตารางที่ 75 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ความลาดชัน 15 องศา ไม่มีช่องแสง ของทุกกลุ่มอาคาร

ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R-value) $m^{2o}C/W$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
≥ 1.25	5.67	8.57	11.47	14.37	4.20	6.13	8.08	10.01	2.50	3.67	4.84	6.02
≥ 2.60	3.85	5.82	7.79	9.76	2.86	4.18	5.50	6.82	1.70	2.50	3.29	4.09
≥ 3.90	2.94	4.44	5.95	7.46	2.19	3.20	4.21	5.22	1.30	1.91	2.52	3.13
≥ 6.70	1.94	2.94	3.94	4.94	1.46	2.13	2.81	3.48	0.86	1.27	1.67	2.08

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

1.3 หลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs) ที่มีช่องแสง

ตารางที่ 76 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต ที่มีช่องแสง โดยใช้ฉนวนใยแก้วเบอร์ 5

อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
ไม่มีช่องแสง	3.89	6.16	8.42	10.68	4.10	6.20	8.33	10.43	2.52	3.76	4.99	6.27
กระจกชนิดที่ 1 : กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 ชนิด กระจกโฟลตสีตัดแสง Energy Green หนา 6 mm. ค่า U กระจก = 5.74 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC=0.47 และค่า LSG=1.28												
ร้อยละ 1	6.19	8.44	10.68	12.92	5.89	7.97	10.07	12.15	3.68	4.91	6.12	7.39
ร้อยละ 2	8.50	10.72	12.94	15.16	7.67	9.72	11.81	13.86	4.84	6.06	7.26	8.52
ร้อยละ 3	10.80	13.00	15.20	17.39	9.45	11.48	13.54	15.58	6.00	7.21	8.40	9.64
กระจกชนิดที่ 2 : กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 ชนิด Sunergy Green หนา 6 mm. ค่า U = 3.30 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.42 และค่า LSG = 1.34												
ร้อยละ 1	5.85	8.10	10.34	12.58	5.60	7.68	9.78	11.86	3.46	4.70	5.91	7.17
ร้อยละ 2	7.82	10.04	12.26	14.47	7.10	9.15	11.24	13.29	4.40	5.63	6.83	8.08
ร้อยละ 3	9.78	11.98	14.18	16.37	8.59	10.63	12.69	14.73	5.35	6.56	7.74	8.99
กระจกชนิดที่ 3 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิด PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 mm. ค่า U กระจก = 2.58 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.35 และค่า LSG = 1.55												
ร้อยละ 1	5.51	7.76	10.00	12.24	5.34	7.42	9.52	11.60	3.29	4.53	5.74	7.00
ร้อยละ 2	7.13	9.36	11.57	13.79	6.57	8.63	10.71	12.77	4.06	5.29	6.49	7.74
ร้อยละ 3	8.75	10.96	13.15	15.34	7.80	9.83	11.90	13.93	4.84	6.05	7.23	8.48
กระจกชนิดที่ 4 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิด Stopray Vision หนา 24 mm. มีค่า U กระจก = 1.60 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.30 และค่า LSG = 1.63												
ร้อยละ 1	5.24	7.49	9.73	11.97	5.12	7.20	9.31	11.39	3.15	4.38	5.59	6.86
ร้อยละ 2	6.60	8.82	11.04	13.26	6.14	8.20	10.28	12.34	3.78	5.00	6.20	7.45
ร้อยละ 3	7.95	10.15	12.35	14.54	7.16	9.20	11.26	13.30	4.40	5.61	6.80	8.04

ตารางที่ 76 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต ที่มีช่องแสง โดยใช้ฉนวนใยแก้วเบอร์ 5 (ต่อ)

อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
กระจกชนิดที่ 5 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิดกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้า เคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 mm. มีค่า U กระจก = 1.56 W/m^2°C, ค่า SHGC = 0.21 และค่า LSG = 1.67 (อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)												
ร้อยละ 1	4.85	7.10	9.33	11.57	4.83	6.91	9.01	11.09	2.97	4.21	5.42	6.68
ร้อยละ 2	5.80	8.03	10.25	12.46	5.55	7.61	9.69	11.75	3.43	4.65	5.85	7.10
ร้อยละ 3	6.76	8.97	11.16	13.35	6.27	8.31	10.37	12.41	3.88	5.09	6.28	7.52

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

1.4 หลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ที่มีช่องแสง (skylight)

1) ความลาดชัน 45 องศา

ตารางที่ 77 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนแก้วเบอร์ 5

อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
ไม่มีช่องแสง	5.20	7.65	10.11	12.55	3.88	5.53	7.16	8.81	2.28	3.29	4.28	5.28
กระจกชนิดที่ 1 : กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 ชนิด กระจกโฟลตสีตัดแสง Energy Green หนา 6 mm. ค่า U กระจก = 5.74 W/m^2°C, ค่า SHGC=0.47 และค่า LSG=1.28												
ร้อยละ 1	7.15	9.58	12.01	14.43	5.40	7.03	8.65	10.28	3.29	4.29	5.18	6.26
ร้อยละ 2	9.10	11.50	13.91	16.31	6.92	8.53	10.14	11.75	4.31	5.30	6.28	7.25
ร้อยละ 3	11.05	13.43	15.81	18.18	8.44	10.03	11.62	13.22	5.33	6.31	7.27	8.24

ตารางที่ 77 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนแก้วเบอร์ 5 (ต่อ)

อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
กระจกชนิดที่ 2 : กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 ชนิด Sunergy Green หนา 6 mm. ค่า U = 3.30 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.42 และค่า LSG = 1.34												
ร้อยละ 1	6.84	9.27	11.70	14.12	5.14	6.77	8.39	10.02	3.09	4.09	5.08	6.06
ร้อยละ 2	8.49	10.89	13.30	15.70	6.40	8.02	9.62	11.23	3.91	4.90	5.87	6.85
ร้อยละ 3	10.14	12.52	14.90	17.27	7.67	9.26	10.85	12.45	4.72	5.70	6.67	7.63
กระจกชนิดที่ 3 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิด PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 mm. ค่า U กระจก = 2.58 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.35 และค่า LSG = 1.55												
ร้อยละ 1	6.55	8.98	11.41	13.83	4.92	6.55	8.17	9.80	2.94	3.94	4.93	5.91
ร้อยละ 2	7.91	10.31	12.72	15.11	5.95	7.57	9.17	10.78	3.61	4.60	5.58	6.55
ร้อยละ 3	9.26	11.64	14.02	16.40	6.99	8.59	10.18	11.77	4.28	5.26	6.22	7.19
กระจกชนิดที่ 4 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิด Stopray Vision หนา 24 mm. มีค่า U กระจก = 1.60 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.30 และค่า LSG = 1.63												
ร้อยละ 1	6.32	8.75	11.18	13.60	4.73	6.36	7.98	9.61	2.81	3.82	4.80	5.78
ร้อยละ 2	7.44	9.85	12.25	14.65	5.59	7.20	8.80	10.42	3.35	4.34	5.32	6.29
ร้อยละ 3	8.57	10.95	13.33	15.70	6.44	8.03	9.62	11.22	3.89	4.87	5.84	6.80
กระจกชนิดที่ 5 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิดกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้า เคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 mm. มีค่า U กระจก = 1.56 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.21 และค่า LSG = 1.67 (อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)												
ร้อยละ 1	5.99	8.42	10.85	13.27	4.49	6.12	7.74	9.37	2.67	3.67	4.65	5.64
ร้อยละ 2	6.78	9.19	11.59	13.99	5.10	6.71	8.31	9.93	3.06	4.05	5.03	6.00
ร้อยละ 3	7.58	9.96	12.34	14.71	5.70	7.30	8.89	10.48	3.45	4.43	5.40	6.36

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) ความลาดชัน 30 องศา

ตารางที่ 78 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนนแก้วเบอร์ 5

อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
ไม่มีช่องแสง	5.47	8.20	10.91	13.67	4.07	5.88	7.69	9.51	2.42	3.52	4.61	5.71
กระจกชนิดที่ 1 : กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 ชนิด กระจกโฟลตสีตัดแสง Energy Green หนา 6 mm. ค่า U กระจก = 5.74 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC=0.47 และค่า LSG=1.28												
ร้อยละ 1	7.59	10.29	12.98	15.71	5.72	7.52	9.32	11.11	3.51	4.60	5.68	6.77
ร้อยละ 2	9.71	12.39	15.04	17.75	7.38	9.16	10.94	12.71	4.61	5.68	6.75	7.83
ร้อยละ 3	11.84	14.49	17.11	19.79	9.04	10.80	12.56	14.32	5.70	6.76	7.82	8.89
กระจกชนิดที่ 2 : กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 ชนิด Sunergy Green หนา 6 mm. ค่า U = 3.30 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.42 และค่า LSG = 1.34												
ร้อยละ 1	7.27	9.97	12.65	15.39	5.54	7.25	9.04	10.84	3.30	4.39	5.47	6.56
ร้อยละ 2	9.07	11.74	14.40	17.10	6.84	8.61	10.39	12.17	4.19	5.26	6.33	7.41
ร้อยละ 3	10.87	13.52	16.14	18.82	8.22	9.98	11.74	13.50	5.07	6.13	7.19	8.26
กระจกชนิดที่ 3 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิด PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 mm. ค่า U กระจก = 2.58 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.35 และค่า LSG = 1.55												
ร้อยละ 1	6.95	9.65	12.34	15.07	5.20	7.00	8.80	10.59	3.15	4.23	5.31	6.40
ร้อยละ 2	8.43	11.11	13.76	16.47	6.34	8.12	9.90	11.68	3.87	4.94	6.01	7.09
ร้อยละ 3	9.91	12.56	15.19	17.87	7.48	9.24	11.00	12.76	4.59	5.65	6.71	7.78
กระจกชนิดที่ 4 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิด Stopray Vision หนา 24 mm. มีค่า U กระจก = 1.60 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.30 และค่า LSG = 1.63												
ร้อยละ 1	6.70	9.40	12.09	14.82	5.01	6.80	8.60	10.39	3.01	4.09	5.18	6.26
ร้อยละ 2	7.93	10.61	13.26	15.97	5.95	7.72	9.50	11.28	3.59	4.66	5.74	6.82
ร้อยละ 3	9.16	11.81	14.44	17.12	6.88	8.64	10.40	12.16	4.18	5.24	6.30	7.37

ตารางที่ 78 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนแก้วเบอร์ 5 (ต่อ)

อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
กระจกชนิดที่ 5 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิดกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้า เคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 mm. มีค่า U กระจก = 1.56 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.21 และค่า LSG = 1.67 (อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)												
ร้อยละ 1	6.34	9.04	11.72	14.45	4.73	6.53	8.33	10.12	2.85	3.93	5.02	6.10
ร้อยละ 2	7.20	9.88	12.53	15.24	5.40	7.18	8.96	10.73	3.27	4.34	5.42	6.50
ร้อยละ 3	8.07	10.72	13.35	16.03	6.07	7.83	9.59	11.35	3.70	4.75	5.82	6.89

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

3) ความลาดชัน 15 องศา

ตารางที่ 79 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนแก้วเบอร์ 5

อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
ไม่มีช่องแสง	5.67	8.57	11.47	14.37	4.20	6.13	8.08	10.01	2.50	3.67	4.84	6.02
กระจกชนิดที่ 1 : กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 ชนิด กระจกโฟลตสีตัดแสง Energy Green หนา 6 mm. ค่า U กระจก = 5.74 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC=0.47 และค่า LSG=1.28												
ร้อยละ 1	7.91	10.78	13.65	16.53	5.95	7.86	9.79	11.71	3.64	4.80	5.96	7.13
ร้อยละ 2	10.15	12.99	15.83	18.68	7.70	9.60	11.50	13.40	4.78	5.93	7.08	8.23
ร้อยละ 3	12.39	15.21	18.02	20.84	9.45	11.33	13.21	15.09	5.92	7.06	8.20	9.34

ตารางที่ 79 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคากระเบื้อง ชนิดหลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา ที่มีช่องแสง (skylight) โดยใช้ฉนวนนแก้วเบอร์ 5 (ต่อ)

อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคา (SRR)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
	ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
กระจกชนิดที่ 2 : กระจกชั้นเดียว เบอร์ 5 ชนิด Sunergy Green หนา 6 mm. ค่า U = 3.30 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.42 และค่า LSG = 1.34												
ร้อยละ 1	7.57	10.44	13.31	16.19	5.66	7.58	9.51	11.42	3.42	4.59	5.74	6.91
ร้อยละ 2	9.48	12.32	15.16	18.01	7.13	9.03	10.94	12.83	4.35	5.50	6.65	7.80
ร้อยละ 3	11.38	14.20	17.01	19.83	8.60	10.48	12.36	14.24	5.28	6.42	7.55	8.69
กระจกชนิดที่ 3 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิด PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 mm. ค่า U กระจก = 2.58 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.35 และค่า LSG = 1.55												
ร้อยละ 1	7.24	10.11	12.98	15.86	5.40	7.32	9.25	11.16	3.26	4.42	5.58	6.74
ร้อยละ 2	8.81	11.65	14.49	17.34	6.61	8.51	10.42	12.31	4.02	5.17	6.31	7.47
ร้อยละ 3	10.38	13.19	16.00	18.82	7.82	9.70	11.58	13.46	4.78	5.92	7.05	8.19
กระจกชนิดที่ 4 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิด Stopray Vision หนา 24 mm. มีค่า U กระจก = 1.60 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.30 และค่า LSG = 1.63												
ร้อยละ 1	6.97	9.85	12.72	15.59	5.20	7.11	9.04	10.95	3.11	4.28	5.43	6.60
ร้อยละ 2	8.28	11.12	13.97	16.81	6.19	8.09	10.00	11.89	3.73	4.88	6.03	7.18
ร้อยละ 3	9.59	12.40	15.21	18.03	7.19	9.07	10.96	12.84	4.35	5.49	6.62	4.35
กระจกชนิดที่ 5 : กระจก 2 ชั้น Low-E เบอร์ 5 ชนิดกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้า เคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 mm. มีค่า U กระจก = 1.56 W/m$^{2\circ}$C, ค่า SHGC = 0.21 และค่า LSG = 1.67 (อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)												
ร้อยละ 1	6.59	9.46	12.33	15.21	4.90	6.82	8.75	10.66	2.94	4.11	5.26	6.43
ร้อยละ 2	7.51	10.35	13.19	16.04	5.61	7.51	9.42	11.31	3.39	4.54	5.69	6.84
ร้อยละ 3	8.43	11.24	14.05	16.87	6.32	8.20	10.09	11.96	3.84	4.98	6.11	7.25

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

4) หลังคาปั้นหยา ไม่มีช่องแสง สัดส่วน 1:1 ถึง 1:3

ตารางที่ 80 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาปั้นหยา เมื่อไม่มีช่องแสง

ชนิดของหลังคา			สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
			ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถาน บริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
			(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. หลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 45 องศา														
1.1	สัดส่วน 1:1	ทุกทิศทาง	5.20	7.65	10.11	12.55	3.88	5.53	7.16	8.81	2.28	3.29	4.28	5.28
1.2	สัดส่วน 1:2	ด้านยาว = ทิศเหนือและทิศใต้	5.16	7.59	10.01	12.43	3.86	5.48	7.10	8.73	2.26	3.26	4.25	5.23
		ด้านยาว = ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.23	7.71	10.20	12.67	3.90	5.57	7.23	8.89	2.29	3.31	4.32	5.33
1.3	สัดส่วน 1:3	ด้านยาว = ทิศเหนือและทิศใต้	5.14	7.56	9.97	12.37	3.85	5.46	7.07	8.69	2.26	3.25	4.23	5.20
		ด้านยาว = ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.25	7.75	10.24	12.73	3.92	5.59	7.26	8.93	2.30	3.33	4.34	5.35
2. หลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 30 องศา														
1.1	สัดส่วน 1:1	ทุกทิศทาง	5.47	8.20	10.91	13.67	4.07	5.88	7.69	9.51	2.42	3.52	4.61	5.71
1.2	สัดส่วน 1:2	ด้านยาว = ทิศเหนือและทิศใต้	5.44	8.15	10.84	13.60	4.05	5.85	7.65	9.44	2.41	3.49	4.59	5.68
		ด้านยาว = ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.49	8.25	10.98	13.74	4.08	5.91	7.74	9.57	2.43	3.54	4.64	5.75
1.3	สัดส่วน 1:3	ด้านยาว = ทิศเหนือและทิศใต้	5.43	8.13	10.80	13.56	4.04	5.83	7.63	9.41	2.41	3.48	4.57	5.66
		ด้านยาว = ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.51	8.27	11.01	13.78	4.09	5.92	7.76	9.60	2.44	3.55	4.65	5.76

ตารางที่ 80 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาปั้นหยา เมื่อไม่มีช่องแสง (ต่อ)

ชนิดของหลังคา			สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
			ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถาน บริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
			(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. หลังคาปั้นหยา ความลาดชัน 15 องศา														
1.1	สัดส่วน 1:1	ทุกทิศทาง	5.67	8.57	11.47	14.37	4.20	6.13	8.08	10.01	2.50	3.67	4.84	6.02
1.2	สัดส่วน 1:2	ด้านยาว = ทิศเหนือและทิศใต้	5.65	8.54	11.43	14.33	4.19	6.12	8.05	9.98	2.49	3.66	4.83	6.00
		ด้านยาว = ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.68	8.59	11.50	14.42	4.20	6.15	8.10	10.04	2.50	3.68	4.85	6.04
1.3	สัดส่วน 1:3	ด้านยาว = ทิศเหนือและทิศใต้	5.65	8.53	11.41	14.30	4.19	6.11	8.04	9.97	2.49	3.66	4.82	5.99
		ด้านยาว = ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	5.68	8.61	11.52	14.44	4.21	6.16	8.12	10.06	2.50	3.68	4.86	6.04

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

5) หลังคาปั้นหยา ไม่มีช่องแสง สัดส่วน 1:1 ถึง 1:3

ตารางที่ 81 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาจั่ว เมื่อไม่มีช่องแสง

ชนิดของหลังคา		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถาน บริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. หลังคาจั่ว ความลาดชัน 45 องศา (ทุกสัดส่วน)													
1.1	ลาดเอียงทิศเหนือ-ทิศใต้	5.09	7.46	9.83	12.19	3.81	5.40	6.98	8.57	2.23	3.21	4.17	5.13
1.2	ลาดเอียงทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก	5.30	7.84	10.38	12.91	3.95	5.65	7.35	9.05	2.32	3.37	4.40	5.42
2. หลังคาจั่ว ความลาดชัน 30 องศา (ทุกสัดส่วน)													
2.1	ลาดเอียงทิศเหนือ-ทิศใต้	5.39	8.05	10.70	13.45	4.02	5.79	7.56	9.32	2.39	3.45	4.54	5.62
2.2	ลาดเอียงทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก	5.55	8.35	11.12	13.89	4.11	5.97	7.83	9.70	2.46	3.58	4.69	5.81
3. หลังคาจั่ว ความลาดชัน 15 องศา (ทุกสัดส่วน)													
3.1	ลาดเอียงทิศเหนือ-ทิศใต้	5.63	8.49	11.36	14.23	4.18	6.09	8.00	9.93	2.48	3.64	4.80	5.96
3.2	ลาดเอียงทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก	5.70	8.64	11.57	14.51	4.22	6.18	8.16	10.10	2.51	3.70	4.88	6.07

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

6) หลังคาเพิงหมาแหงน ไม่มีช่องแสง สัดส่วน 1:1 ถึง 1:3

ตารางที่ 82 ผลการทดสอบค่า RTTV ของชนิดหลังคาเพิงหมาแหงน เมื่อไม่มีช่องแสง

ชนิดของหลังคา		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (RTTV ≤ 15 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถาน บริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (RTTV ≤ 12 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (RTTV ≤ 10 W/m^2)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. หลังคาเพิงหมาแหงน ความลาดชัน 45 องศา													
1.1	ทิศเหนือ	4.69	6.74	8.76	10.78	3.57	4.93	6.30	7.69	2.06	2.90	3.74	4.57
1.2	ทิศตะวันออก	5.32	7.90	10.47	13.02	3.85	5.46	7.07	8.68	2.34	3.42	4.46	5.51
1.3	ทิศใต้	5.49	8.18	10.89	13.61	4.06	5.88	7.66	9.45	2.41	3.52	4.61	5.69
1.4	ทิศตะวันตก	5.28	7.79	10.29	12.80	4.05	5.84	7.63	9.41	2.30	3.32	4.33	5.34
2. หลังคาเพิงหมาแหงน ความลาดชัน 30 องศา													
2.1	ทิศเหนือ	5.11	7.51	9.92	12.50	3.84	5.46	7.07	8.71	2.27	3.24	4.22	5.20
2.2	ทิศตะวันออก	5.57	8.38	11.17	13.96	4.02	5.81	7.60	9.38	2.48	3.60	4.74	5.86
2.3	ทิศใต้	5.67	8.59	11.48	14.40	4.20	6.12	8.06	9.92	2.51	3.67	4.85	6.03
2.4	ทิศตะวันตก	5.53	8.31	11.06	13.82	4.20	6.12	8.06	10.01	2.44	3.56	4.64	5.76
3. หลังคาเพิงหมาแหงน ความลาดชัน 15 องศา													
3.1	ทิศเหนือ	5.49	8.21	10.96	13.68	4.09	5.92	7.74	9.59	2.41	3.52	4.64	5.75
3.2	ทิศตะวันออก	5.70	8.66	11.59	14.55	4.16	6.09	8.02	9.91	2.51	3.70	4.92	6.11
3.3	ทิศใต้	5.77	8.77	11.76	14.79	4.27	6.26	8.26	10.26	2.55	3.77	4.96	6.18
3.4	ทิศตะวันตก	5.70	8.63	11.55	14.48	4.27	6.27	8.30	10.30	2.51	3.70	4.85	6.04

ภาคผนวก ฉ
ผลการคำนวณคุณสมบัติในการออกแบบกรอบอาคาร ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV)

1. ผนังมวลสาร (Mass Wall)

1.1 ผนังคอนกรีตมวลเบา

1) สัดส่วนอาคาร 1:1

ตารางที่ 83 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังคอนกรีตมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35

U กระจก (W/m^2°C) **และ SHGC**		**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา**											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m^2)				**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** (OTTV ≤ 40 W/m^2)				**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** (OTTV ≤ 30 W/m^2)			
		(0.3)	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**
WWR ร้อยละ 40													
1. เกณฑ์ BCA Green Mark (โดยในการทดสอบได้ค่า U เท่ากับ 1.20 W/m^2°C และ DSH เท่ากับ 68.04 kJ/m^{2}C)													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	53.65	56.59	59.52	62.44	41.06	43.28	45.51	47.69	27.53	28.84	30.16	31.48
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	45.69	48.63	51.56	54.48	35.01	37.23	39.46	41.64	23.24	24.55	25.87	27.19
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	39.07	42.01	44.94	47.86	29.75	31.98	34.21	36.39	19.25	20.56	21.88	23.20
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.61	33.55	36.47	39.39	23.75	25.97	28.20	30.38	15.50	16.81	18.14	19.46
2. คู่มือการประเมินฯ (โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = 0.975 W/m^2°C และ DSH เท่ากับ 80.64 kJ/m^{2}C)													
2.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	52.02	54.37	56.72	59.07	39.80	41.62	43.44	45.23	26.81	27.88	28.96	30.04
2.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	44.06	46.41	48.76	51.11	33.75	35.57	37.38	39.18	22.52	23.59	24.67	25.75
2.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	37.44	39.79	42.14	44.49	28.49	30.31	32.13	33.93	18.53	19.60	20.68	21.75
2.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.98	31.33	33.68	36.02	22.48	24.30	26.12	27.92	14.79	15.86	16.94	18.01

ตารางที่ 83 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังคอนกรีตมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 (ต่อ)

	U กระจก ($W/m^2{}^oC$) **และ SHGC**	**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา**											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา ($OTTV \leq 50\ W/m^2$)				**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** ($OTTV \leq 40\ W/m^2$)				**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** ($OTTV \leq 30\ W/m^2$)			
		(0.3)	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**
3. เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ค่า U ผนังทึบ = 0.624 $W/m^2{}^oC$ มีน้ำหนัก = 141 kg/m^2 พื้นที่ผนังที่วัสดุน้ำหนัก = 1,800 kg/m^3 และ DSH = 118 kJ/m^2C)													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	49.52	50.96	52.42	53.86	37.80	38.97	40.14	41.31	25.69	26.39	27.09	27.78
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.56	43.00	44.46	45.90	31.74	32.92	34.09	35.26	21.41	22.10	22.80	23.49
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	34.94	36.38	37.84	39.29	26.49	27.67	28.83	30.01	17.41	18.11	18.80	19.50
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	26.48	27.92	29.37	30.82	20.48	21.66	22.82	24.00	13.67	14.37	15.06	15.76
WWR ร้อยละ 35													
1. เกณฑ์ BCA Green Mark (โดยในการทดสอบได้ค่า U เท่ากับ 1.20 $W/m^2{}^oC$ และ DSH เท่ากับ 68.04 kJ/m^2C)													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.59	51.78	54.95	58.11	37.34	39.75	42.16	44.53	24.89	26.31	27.74	29.17
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.63	44.81	47.98	51.15	32.05	34.46	36.87	39.23	21.14	22.55	23.99	25.42
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	35.84	39.01	42.19	45.36	27.45	29.86	32.27	34.64	17.64	19.06	20.49	21.92
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.43	31.62	34.79	37.95	22.19	24.60	27.01	29.38	14.37	15.79	17.22	18.65
2. คู่มือการประเมินฯ (โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = 0.975 $W/m^2{}^oC$ และ DSH เท่ากับ 80.64 kJ/m^2C)													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	46.83	49.38	51.92	54.46	35.97	37.95	39.92	41.86	24.11	25.27	26.44	27.60
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	39.86	42.41	44.96	47.50	30.68	32.65	34.62	36.57	20.36	21.52	22.69	23.85
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	34.07	36.62	39.17	41.71	26.08	28.05	30.02	31.97	16.86	18.02	19.19	20.36
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	26.66	29.21	31.76	34.30	20.82	22.80	24.77	26.71	13.59	14.75	15.92	17.08

ตารางที่ 83 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังคอนกรีตมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 (ต่อ)

U กระจก ($W/m^2{}^\circ C$) **และ SHGC**		**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา**											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา ($OTTV \leq 50\ W/m^2$)				**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** ($OTTV \leq 40\ W/m^2$)				**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** ($OTTV \leq 30\ W/m^2$)			
		(0.3)	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**
3. เกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 (ค่า U ผนังทึบ = 0.624 $W/m^2{}^\circ C$ มีน้ำหนัก = 141 kg/m^2 พื้นที่ผนังที่วัสดุน้ำหนัก = 1,800 kg/m^3 และ HC = 118 kJ/m^2C)													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	44.12	45.68	47.26	48.83	33.81	35.08	36.34	37.62	22.90	23.66	24.41	25.16
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	37.15	38.72	40.29	41.86	28.51	29.78	31.05	32.32	19.15	19.91	20.66	21.41
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	31.36	32.93	34.50	36.07	23.91	25.19	26.45	27.72	15.65	16.41	17.16	17.92
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	23.96	25.52	27.10	28.66	18.66	19.93	21.19	22.47	12.38	13.14	13.89	14.64

หมายเหตุ - 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) สัดส่วนอาคาร 1:2

ตารางที่ 84 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35

สัดส่วนอาคาร 1:2		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m^2)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. WWR ร้อยละ 40													
1.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	53.21	56.10	58.98	61.85	40.82	43.02	45.21	47.36	27.32	28.60	29.90	31.20
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	45.31	48.21	51.08	53.96	34.80	36.99	39.19	41.34	23.06	24.35	25.65	26.95
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	38.74	41.63	44.51	47.38	29.57	31.76	33.96	36.11	19.09	20.37	21.67	22.98
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.36	33.25	36.12	39.00	23.60	25.79	27.99	30.14	15.39	16.67	17.97	19.27
1.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	54.09	57.08	60.06	63.02	41.30	43.55	45.81	48.03	27.74	29.07	30.41	31.75
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	46.06	49.06	52.03	54.99	35.21	37.47	39.73	41.94	23.42	24.75	26.09	27.44
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	39.40	42.39	45.37	48.33	29.94	32.19	34.46	36.67	19.40	20.74	22.08	23.42
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.86	33.85	36.83	39.79	23.89	26.14	28.41	30.62	15.62	16.96	18.30	19.64

ตารางที่ 84 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 (ต่อ)

สัดส่วนอาคาร 1:2		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m²)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
2. WWR ร้อยละ 35													
2.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.20	51.33	54.44	57.56	37.13	39.50	41.88	44.21	24.70	26.09	27.50	28.91
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.29	44.42	47.53	50.65	31.86	34.23	36.61	38.94	20.97	22.36	23.77	25.18
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	35.53	38.67	41.78	44.90	27.28	29.65	32.03	34.36	17.50	18.89	20.30	21.71
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.20	31.33	34.45	37.56	22.06	24.43	26.81	29.14	14.26	15.65	17.06	18.47
2.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.99	52.23	55.46	58.67	37.56	40.00	42.45	44.85	25.08	26.52	27.97	29.43
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.97	45.21	48.44	51.64	32.24	34.68	37.13	39.53	21.30	22.74	24.20	25.65
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	36.14	39.38	42.61	45.81	27.62	30.06	32.52	34.91	17.78	19.23	20.68	22.14
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.66	31.90	35.13	38.34	22.33	24.77	27.22	29.62	14.48	15.92	17.37	18.83

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ $W/m^{2o}C$, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

3) สัดส่วนอาคาร 1:3

ตารางที่ 85 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35

สัดส่วนอาคาร 1:3		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m^2)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. WWR ร้อยละ 40													
1.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	53.00	55.86	58.71	61.57	40.71	42.88	45.06	47.20	27.21	28.49	29.78	31.07
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	45.13	48.00	50.84	53.70	34.70	36.88	39.05	41.19	22.97	24.25	25.54	26.83
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	38.58	41.44	44.29	47.15	29.48	31.66	33.83	35.97	19.01	20.28	21.57	22.87
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.23	33.10	35.95	38.80	23.53	25.71	27.88	30.02	15.33	16.60	17.89	19.18
1.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	54.30	57.32	60.32	63.30	41.41	43.68	45.96	48.19	27.84	29.19	30.54	31.89
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	46.25	49.26	52.27	55.25	35.32	37.59	39.87	42.09	23.51	24.85	26.20	27.56
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	39.56	42.58	45.58	48.57	30.03	32.30	34.58	36.81	19.48	20.83	22.18	23.53
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.98	34.00	37.00	39.98	23.96	26.23	28.51	30.74	15.68	17.03	18.38	19.73

ตารางที่ 85 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมวลเบา สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 (ต่อ)

สัดส่วนอาคาร 1:3		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m²)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
2. WWR ร้อยละ 35													
2.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.00	51.11	54.19	57.29	37.02	39.37	41.73	44.05	24.60	25.98	27.38	28.78
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.12	44.23	47.31	50.41	31.76	34.12	36.48	38.79	20.89	22.27	23.67	25.07
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	35.39	38.49	41.58	44.67	27.20	29.55	31.91	34.22	17.43	18.81	20.20	21.60
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.08	31.19	34.28	37.37	21.99	24.35	26.70	29.02	14.20	15.58	16.98	18.38
2.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	49.18	52.45	55.71	58.94	37.67	40.13	42.60	45.01	25.17	26.63	28.09	29.55
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	42.14	45.40	48.66	51.89	32.33	34.79	37.26	39.67	21.38	22.84	24.30	25.76
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	36.29	39.56	42.81	46.04	27.71	30.17	32.63	35.05	17.85	19.31	20.78	22.24
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.78	32.04	35.30	38.53	22.40	24.85	27.32	29.74	14.53	15.99	17.45	18.92

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ $W/m^{2o}C$, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2. ผนังอิฐมอญ

1) สัดส่วนอาคาร 1:1

ตารางที่ 86 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35

U กระจก ($W/m^2{}^oC$) **และ SHGC**		**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา**											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา ($OTTV \leq 50\ W/m^2$)				**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน ($OTTV \leq 40\ W/m^2$)**				**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด ($OTTV \leq 30\ W/m^2$)**			
		(0.3)	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**
WWR ร้อยละ 40													
1. เกณฑ์ BCA Green Mark โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = 1.45 $W/m^2{}^oC$ และ DSH เท่ากับ 194.56 kJ/m^2C													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	53.60	56.69	59.83	62.97	42.25	44.94	47.60	50.39	28.39	30.07	31.69	33.33
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	45.64	48.73	51.87	55.01	36.20	38.89	41.54	44.33	24.10	25.79	27.40	29.04
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	39.02	42.11	45.25	48.39	30.94	33.64	36.29	39.08	20.11	21.79	23.41	25.05
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.55	33.65	36.79	39.92	24.93	27.63	30.28	33.07	16.37	18.05	19.67	21.30
2. คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = 1.00 $W/m^2{}^oC$ และ DSH เท่ากับ 358.88 kJ/m^2C													
2.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	50.64	52.63	54.62	56.61	39.31	41.14	42.96	44.73	27.15	28.35	29.54	30.77
2.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	42.68	44.67	46.66	48.64	33.26	35.09	36.91	38.68	22.87	24.06	25.25	26.49
2.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	36.06	38.05	40.04	42.03	28.01	29.83	31.66	33.42	18.87	20.06	21.26	22.49
2.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	27.60	29.58	31.57	33.56	22.00	23.83	25.65	27.41	15.13	16.32	17.52	18.75

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ $W/m^2{}^oC$, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ตารางที่ 86 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35 (ต่อ)

U กระจก ($W/m^2{}^oC$) **และ SHGC**		**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา**											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา ($OTTV \leq 50\ W/m^2$)				**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** ($OTTV \leq 40\ W/m^2$)				**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** ($OTTV \leq 30\ W/m^2$)			
		(0.3)	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**
WWR ร้อยละ 35													
1. เกณฑ์ BCA Green Mark โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = 1.45 $W/m^2{}^oC$ และ DSH เท่ากับ 194.56 kJ/m^2C													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.54	51.89	55.29	58.69	38.63	41.55	44.42	47.45	25.82	27.65	29.40	31.17
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.57	44.92	48.32	51.72	33.33	36.25	39.13	42.15	22.07	23.90	25.65	27.42
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	35.78	39.13	42.53	45.93	28.74	31.66	34.53	37.55	18.58	20.40	22.15	23.92
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.37	31.73	35.13	38.53	23.48	26.40	29.27	32.30	15.30	17.13	18.88	20.65
2. คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ โดยในการทดสอบได้ใช้ ค่า U ผนังทึบ = 1.00 $W/m^2{}^oC$ และ DSH เท่ากับ 358.88 kJ/m^2C													
2.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	45.34	47.49	49.64	51.80	35.45	37.43	39.40	41.32	24.48	25.77	27.07	28.40
2.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	38.37	40.52	42.68	44.83	30.15	32.13	34.11	36.02	20.73	22.02	23.32	24.65
2.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	32.58	34.73	36.88	39.04	25.56	27.54	29.51	31.42	17.24	18.53	19.82	21.16
2.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	25.17	27.32	29.48	31.63	20.30	22.28	24.25	26.16	13.96	15.25	16.55	17.88

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ $W/m^2{}^oC$, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) สัดส่วนอาคาร 1:2

ตารางที่ 87 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35

สัดส่วนอาคาร 1:2		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m²)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. WWR ร้อยละ 40													
1.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	53.16	56.19	59.29	62.37	42.00	44.66	47.30	49.99	28.17	29.82	31.41	33.03
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	45.26	48.29	51.39	54.47	35.98	38.64	41.27	43.97	23.92	25.57	27.16	28.78
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	38.69	41.72	44.81	47.89	30.75	33.40	36.04	38.74	19.94	21.59	23.18	24.80
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.30	33.34	36.43	39.51	24.78	27.43	30.07	32.77	16.24	17.89	19.48	21.10
1.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	54.04	57.19	60.37	63.57	42.49	45.23	47.90	50.78	28.61	30.33	31.97	33.62
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	46.01	49.17	52.35	55.55	36.41	39.15	41.82	44.70	24.29	26.01	27.65	29.30
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	39.35	42.50	45.69	48.88	31.13	33.87	36.54	39.42	20.28	21.99	23.63	25.29
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.81	33.96	37.14	40.34	25.08	27.82	30.49	33.37	16.50	18.21	19.85	21.51

ตารางที่ 87 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 (ต่อ)

สัดส่วนอาคาร 1:2		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m²)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
2. WWR ร้อยละ 35													
2.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.14	51.43	54.78	58.11	38.40	41.28	44.14	47.06	25.62	27.41	29.14	30.89
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.23	44.51	47.87	51.20	33.13	36.01	38.87	41.79	21.90	23.69	25.41	27.16
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	35.48	38.76	42.12	45.45	28.56	31.43	34.29	37.21	18.42	20.21	21.93	23.69
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.14	31.43	34.78	38.12	23.33	26.21	29.07	31.99	15.18	16.97	18.70	20.45
2.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.94	52.35	55.80	59.26	38.85	41.82	44.71	47.83	26.02	27.88	29.66	31.45
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.92	45.33	48.78	52.24	33.53	36.50	39.39	42.51	22.24	24.10	25.88	27.67
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	36.09	39.50	42.95	46.41	28.92	31.88	34.77	37.89	18.73	20.59	22.37	24.16
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.61	32.03	35.47	38.94	23.62	26.59	29.48	32.60	15.42	17.28	19.06	20.85

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ $W/m^{2o}C$, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

3) สัดส่วนอาคาร 1:3

ตารางที่ 88 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35

สัดส่วนอาคาร 1:3		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m^2)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. WWR ร้อยละ 40													
1.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	52.94	55.95	59.02	62.07	41.88	44.51	47.15	49.80	28.07	29.70	31.28	32.89
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	45.07	48.08	51.15	54.20	35.88	38.51	41.14	43.80	23.82	25.46	27.04	28.65
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	38.52	41.53	44.60	47.65	30.66	33.29	35.92	38.58	19.86	21.50	23.07	24.68
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.18	33.18	36.26	39.31	24.71	27.34	29.97	32.63	16.18	17.81	19.39	21.00
1.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	54.25	57.44	60.64	63.87	42.61	45.37	48.05	50.97	28.72	30.45	32.10	33.77
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	46.20	49.38	52.59	55.81	36.51	39.28	41.95	44.87	24.38	26.12	27.77	29.43
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	39.52	42.70	45.90	49.13	31.23	33.99	36.66	39.59	20.36	22.09	23.74	25.41
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	30.93	34.11	37.32	40.54	25.16	27.92	30.59	33.52	16.56	18.29	19.95	21.61

ตารางที่ 88 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังอิฐมอญ สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 (ต่อ)

สัดส่วนอาคาร 1:3		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m²)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
2. WWR ร้อยละ 35													
2.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	47.94	51.20	54.53	57.83	38.29	41.14	43.99	46.87	25.53	27.30	29.01	30.75
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.06	44.31	47.64	50.95	33.04	35.89	38.74	41.62	21.82	23.59	25.29	27.04
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	35.33	38.58	41.91	45.21	28.47	31.32	34.17	37.05	18.35	20.12	21.83	23.57
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.02	31.28	34.61	37.91	23.26	26.11	28.97	31.84	15.13	16.90	18.61	20.35
2.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	49.13	52.58	56.05	59.55	38.97	41.96	44.85	48.02	26.12	28.00	29.79	31.59
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	42.09	45.53	49.00	52.50	33.63	36.62	39.52	42.68	22.33	24.20	26.00	27.80
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	36.24	39.68	43.15	46.65	29.00	32.00	34.89	38.06	18.81	20.68	22.47	24.27
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	28.73	32.17	35.64	39.14	23.69	26.69	29.58	32.75	15.48	17.36	19.15	20.95

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ $W/m^{2o}C$, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

3. ผนังโครงเคร่าเหล็ก

1) สัดส่วนอาคาร 1:1

ตารางที่ 89 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:1 ที่มี WWR ร้อยละ 40 และร้อยละ 35

U กระจก ($W/m^2{}^oC$) **และ SHGC**		**สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา**											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา ($OTTV \leq 50\ W/m^2$)				**ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน** ($OTTV \leq 40\ W/m^2$)				**ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด** ($OTTV \leq 30\ W/m^2$)			
		(0.3)	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**	**(0.3)**	**(0.5)**	**(0.7)**	**(0.9)**
ผนังโครงเคร่าเหล็ก ฉนวนเบอร์ 5 ค่า U เท่ากับ 0.42 $W/m^2{}^oC$ และ DSH เท่ากับ 37.95 kJ/m^2C													
1. WWR ร้อยละ 40													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.68	49.75	50.80	51.86	36.64	37.41	38.18	38.93	25.03	25.49	25.95	26.41
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	40.72	41.78	42.84	43.90	30.59	31.36	32.13	32.88	20.74	21.20	21.66	22.12
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	34.10	35.17	36.22	37.28	25.34	26.10	26.88	27.63	16.75	17.20	17.67	18.13
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	25.63	26.70	27.76	28.82	19.33	20.09	20.87	21.62	13.01	13.46	13.92	14.39
2. WWR ร้อยละ 35													
1.1	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	43.21	44.36	45.51	46.66	32.56	33.39	34.22	35.04	22.18	22.67	23.17	23.67
1.2	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	36.24	37.40	38.54	39.69	27.26	28.09	28.93	29.74	18.43	18.92	19.42	19.92
1.3	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	30.45	31.61	32.75	33.90	22.66	23.49	24.33	25.15	14.93	15.43	15.93	16.43
1.4	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	23.04	24.20	25.35	26.49	17.41	18.24	19.07	19.89	11.66	12.15	12.65	13.15

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ $W/m^2{}^oC$, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

2) สัดส่วนอาคาร 1:2

ตารางที่ 90 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35

สัดส่วนอาคาร 1:2		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m^2)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m^2)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m^2)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. WWR ร้อยละ 40													
1.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.28	49.33	50.36	51.41	36.44	37.19	37.96	38.70	24.84	25.29	25.74	26.19
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	40.38	41.43	42.47	43.51	30.42	31.17	31.94	32.68	20.58	21.03	21.48	21.94
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	33.80	34.86	35.89	36.94	25.19	25.94	26.70	27.45	16.61	17.06	17.51	17.96
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	25.42	26.47	27.51	28.55	19.22	19.97	20.73	21.48	12.90	13.35	13.81	14.26
1.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	49.08	50.16	51.24	52.32	36.85	37.62	38.41	39.17	25.22	25.69	26.15	26.62
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.05	42.14	43.21	44.29	30.76	31.54	32.32	33.09	20.90	21.37	21.84	22.30
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	34.39	35.48	36.55	37.63	25.49	26.27	27.05	27.81	16.89	17.03	17.82	18.29
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	25.85	26.93	28.01	29.09	19.44	20.22	21.00	21.76	13.11	13.57	14.04	14.51

ตารางที่ 90 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:2 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 (ต่อ)

สัดส่วนอาคาร 1:2		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m²)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
2. WWR ร้อยละ 35													
2.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	42.85	43.99	45.11	46.24	32.38	33.19	34.02	34.82	22.01	22.50	22.99	23.48
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	35.94	37.08	38.20	39.33	27.11	27.93	28.75	29.55	18.28	18.77	19.26	19.76
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	30.19	31.33	32.45	33.58	22.53	23.35	24.17	24.98	14.81	14.59	15.79	16.28
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	22.85	23.99	25.11	26.24	17.31	18.12	18.95	19.75	11.57	12.06	12.55	13.04
2.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	43.56	44.74	45.90	47.07	32.74	33.58	34.43	35.26	22.35	22.85	23.36	23.87
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	36.54	37.72	38.88	40.05	27.42	28.26	29.11	29.93	18.57	19.08	19.58	20.09
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	30.71	31.89	33.05	34.22	22.80	23.64	24.49	25.32	15.06	15.21	16.07	16.58
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	23.24	24.41	25.58	26.75	17.51	18.35	19.20	20.03	11.75	12.25	12.76	13.27

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ W/m^{2}°C, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

3) สัดส่วนอาคาร 1:3

ตารางที่ 91 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35

สัดส่วนอาคาร 1:3		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m²)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
1. WWR ร้อยละ 40													
1.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	48.08	49.12	50.15	51.18	36.34	37.09	37.85	38.58	24.74	25.19	25.64	26.09
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	40.21	41.25	42.28	43.32	30.33	31.08	31.84	32.58	20.50	20.94	21.40	21.85
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	33.66	34.70	35.73	36.76	25.11	25.86	26.62	27.36	16.54	16.25	17.43	17.89
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	25.32	26.36	27.39	28.42	19.16	19.91	20.67	21.41	12.85	13.30	13.75	14.20
1.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	49.27	50.37	51.45	52.54	36.95	37.73	38.52	39.29	25.32	25.78	26.25	26.73
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	41.22	42.31	43.40	44.49	30.85	31.63	32.42	33.19	20.98	21.45	21.92	22.39
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	34.53	35.63	36.71	37.80	25.56	26.34	27.13	27.90	16.96	17.18	17.90	18.37
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	25.95	27.05	28.13	29.22	19.49	20.28	21.07	21.83	13.16	13.63	14.10	14.57

ตารางที่ 91 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงเคร่าเหล็ก สำหรับสัดส่วนอาคาร 1:3 ที่มีอัตราส่วน WWR ร้อยละ 40 และ 35 (ต่อ)

สัดส่วนอาคาร 1:3		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาและสีภายนอกของหลังคา											
		ประเภทสำนักงาน สถานศึกษา (OTTV ≤ 50 W/m²)				ประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน (OTTV ≤ 40 W/m²)				ประเภทโรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (OTTV ≤ 30 W/m²)			
		(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)	(0.3)	(0.5)	(0.7)	(0.9)
2. WWR ร้อยละ 35													
2.1 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศเหนือและทิศใต้													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	42.68	43.81	44.92	46.04	32.29	33.10	33.92	34.72	21.93	22.41	22.90	23.39
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	35.79	36.92	38.04	39.16	27.03	27.84	28.66	29.46	18.21	18.70	19.19	19.67
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	30.06	31.19	32.30	33.42	22.46	23.27	24.09	24.89	14.75	14.44	15.72	16.21
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	22.76	23.89	25.00	26.12	17.26	18.07	18.89	19.69	11.52	12.01	12.50	12.98
2.2 สัดส่วนที่มีด้านยาว คือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก													
1)	U_f = 3.30, SHGC = 0.42	43.74	44.92	46.10	47.28	32.83	33.68	34.53	35.36	22.43	22.94	23.45	23.96
2)	U_f = 2.58, SHGC = 0.35	36.69	37.88	39.05	40.23	27.49	28.34	29.20	30.03	18.64	19.15	19.66	20.17
3)	U_f = 1.60, SHGC = 0.30	30.84	32.03	33.20	34.38	22.86	23.71	24.57	25.40	15.12	15.36	16.14	16.65
4)	U_f = 1.56, SHGC = 0.21	23.33	24.52	25.69	26.87	17.55	18.40	19.26	20.09	11.80	12.30	12.81	13.33

หมายเหตุ - ค่า U ของกระจกมีหน่วย คือ $W/m^{2o}C$, 0.3 = วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว, 0.5 = วัสดุที่มีผิวสีอ่อน, 0.7 = วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม และ 0.9 = วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	รัฐภัทร์ อุปละ
วัน เดือน ปี เกิด	27 กันยายน 2536
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2560 สำเร็จการศึกษาปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม (5 ปี) ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2560 ศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	321 ถนนสุมนเทวราช ตำบลในเวียง อำเภอเมือง จังหวัดน่าน 55000

มหาวิทยาลัยศิลปากร