

The background of the slide features several isometric diagrams of building envelope components. In the top left, there is a cross-section of a roof assembly with yellow corrugated metal decking on a grey structural base. To its right is a vertical section of a wall or window frame with a teal glass pane and white structural elements. Below the roof section is another cross-section showing a teal glass pane above a yellow corrugated metal layer, which is on a grey base. To the right of this is a vertical section of a wall with a teal glass pane and a white frame. In the bottom left, there is a cross-section of a flat roof or floor assembly with a teal glass pane on top of a grey structural layer. To its right is a vertical section of a wall with a teal glass pane, a white frame, and a brickwork pattern below. The text is centered over these diagrams.

Development of prescriptive method for evaluating energy performance of building envelope

การพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด

Development of prescriptive method for evaluating energy performance of building envelope

รัฐภัทร อุปละ¹ และ พันธุดา พุฒิไพโรจน์²

Rattapat Oupala¹ and Pantuda Puthipiroj²

Received: 2020-08-14

Revised: 2020-11-06

Accepted: 2020-11-10

บทคัดย่อ

กฎหมายอนุรักษ์พลังงานของกระทรวงพลังงาน กำหนดอาคาร 9 ประเภท ที่มีขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องออกแบบให้ได้ตามเกณฑ์ โดยในส่วนของกรอบอาคารแบ่งประเภทอาคารเป็น 3 กลุ่ม ใช้การประเมินประสิทธิภาพกรอบอาคารด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ซึ่งต้องคำนวณด้วยโปรแกรม BEC ของกระทรวงพลังงาน แต่ปัจจุบันอาคารที่ผ่านเกณฑ์เฉพาะกรอบอาคารไม่ถึงร้อยละ 50 เกือบทุกกลุ่มอาคาร จึงจะเห็นได้ว่าการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์โดยใช้วิธีคำนวณยังปฏิบัติให้สอดคล้องได้น้อย นำไปสู่การศึกษาทางเลือกในการประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจากการศึกษากฎหมายและมาตรฐานของต่างประเทศ พบว่ามีทางเลือกในการประเมินกรอบอาคาร โดยไม่ต้องใช้การจำลองพลังงานควบคู่กันไปด้วย คือใช้วิธีการประเมินจากคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ อาคาร เช่น ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา เป็นต้น ซึ่งเรียกว่า วิธีการประเมินตามรายการที่กำหนด (prescriptive method) เป็นวิธีการที่ปฏิบัติตามได้ง่าย เหมาะสำหรับอาคารที่มีลักษณะไม่ซับซ้อน วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้จึงต้องการพัฒนาข้อกำหนดของเกณฑ์การออกแบบกรอบอาคาร ที่สามารถให้ผลในการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV ได้ตามกฎหมาย ที่ไม่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการศึกษาใช้การทบทวนเอกสารที่

¹ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

(Faculty of Architecture, Silpakorn University)

ผู้เขียนหลัก (corresponding author) E-mail: auddyrattapat@gmail.com

² คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

(Faculty of Architecture, Silpakorn University)

เกี่ยวข้อง และนำค่าที่ได้จากมาตรฐานต่างๆ มาวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ BEC เพื่อหาข้อรายการคุณสมบัติของวัสดุ ในการออกแบบหลังคาและผนัง ที่สามารถให้ผลผ่านค่า RTTV และ OTTV ได้ในทุกกลุ่มประเภทอาคาร ผลการศึกษาพบว่า สำหรับการออกแบบหลังคา การกำหนดให้ใช้ฉนวนกันความร้อนประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีค่า $R\text{-value} \geq 1.25 \text{ (m}^2\text{C)/W}$ จะสามารถผ่านเกณฑ์ค่า RTTV ได้ทั้งหลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต และหลังคา กระเบื้องทุกประเภท ตั้งแต่สัดส่วนหลังคา 1:3 ถึง ทางทิศหลัก ในทุกกลุ่มประเภทอาคาร และทุกสีหลังคา และสามารถมีช่องแสงหลังคาขนาดไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งต้องออกแบบตามเงื่อนไขของแต่ละกลุ่มอาคาร สำหรับข้อกำหนดของผนังด้านนอก พบว่าการออกแบบให้ค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ได้ในทุกกลุ่มประเภทอาคาร ผนังต่างต้องมีพื้นที่ไม่เกินร้อยละ 40 โดยผนังมวลสาร ชนิดผนังคอนกรีตมวลเบา ควรมีค่า U ผนังทึบไม่เกิน $1.20 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ และชนิดผนังอิฐมวลเบา ควรมีค่า U ผนังทึบไม่มากกว่า $1.50 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ แต่ต้องมีผลคูณของค่าความหนาแน่นของ ความร้อนจำเพาะ (DSH) มากกว่า $181.92 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ ส่วนผนังโครงเคร่าเหล็กติดตั้งฉนวนที่มีค่า R value มากกว่า มาตรฐานของฉนวนเบอร์ 5 ควรมีค่า U ผนังทึบไม่เกิน $0.42 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ ใช้ได้กับผนังทุกสี และต้องออกแบบกระจก ให้เป็นไปตามเงื่อนไขของแต่ละกลุ่มอาคาร

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพพลังงานของผนัง ประสิทธิภาพพลังงานของหลังคา เปลือกอาคาร

Abstract

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%, among 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 $R\text{ value} \geq 1.25 \text{ (m}^2\text{C)/W}$ 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 $WWR \leq 40\%$ in all building types. The mass wall type of lightweight concrete

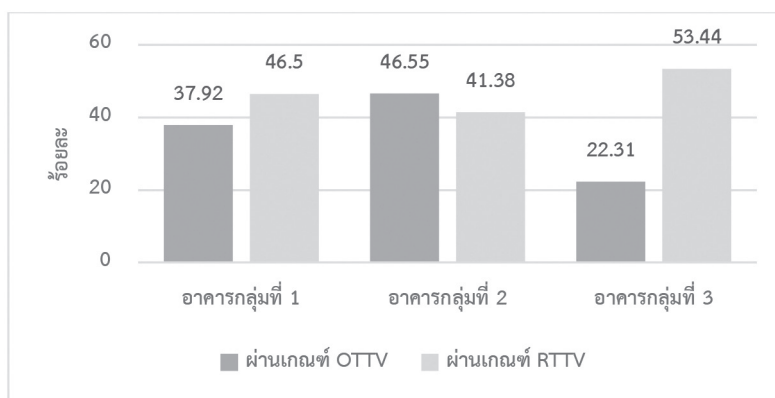
block should have U-value $\leq 1.20 \text{ W/(m}^2\text{C)}$. As for the wall of brick type, the U-value should have $\leq 1.50 \text{ W/(m}^2\text{C)}$, but must have a density-specific heat product $\geq 181.92 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. The steel frame wall should have U-value $\leq 0.42 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ 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.

Keywords: energy performance of exterior wall, energy performance of roof, building envelope

บทนำ

การออกแบบอาคารในปัจจุบันจำเป็นต้องคำนึงถึงการอนุรักษ์พลังงานเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งมีสาเหตุส่วนหนึ่งจากการใช้พลังงานในอาคาร กระทรวงพลังงานจึงได้ออกกฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ พ.ศ.2552 ขึ้นเพื่อควบคุมอาคาร 9 ประเภทที่มีขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ซึ่งได้แก่ 1) สถานศึกษา 2) สำนักงาน 3) โรงแรมสห 4) ห้างสรรพสินค้า 5) สถานบริการ 6) อาคารชุมนุมคน 7) โรงแรม 8) สถานพยาบาล และ 9) อาคารชุด การจะผ่านเกณฑ์ได้นั้นจำเป็นต้องประเมินด้วยโปรแกรม BEC เพื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (overall thermal transfer value, OTTV) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (roof thermal transfer value, RTTV) และค่าอื่นๆ

จากการกำหนดมาตรฐานและหลักเกณฑ์ของกฎกระทรวง ได้มีอาคารตรวจประเมินแบบอาคารที่ก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคารจนถึงปี พ.ศ.2562 มีจำนวนอาคาร 803 แบบ แบ่งเป็น อาคารภาครัฐ จำนวน 498 แบบ และเอกชน จำนวน 305 แบบ (Ministry of Energy, 2019) สามารถสรุปจำนวนอาคารที่ผ่านเกณฑ์ OTTV และ RTTV เป็นแผนภูมิดังนี้



ภาพที่ 1 แสดงแผนภูมิสถิติอาคารที่ผ่านการประเมิน BEC ในระบบกรอบอาคาร

ที่มา: Ministry of Energy, 2019

ภาพที่ 1 พบว่าอาคารทั้ง 3 กลุ่ม สามารถผ่านเกณฑ์ BEC ของระบบปรับอากาศไม่ถึงร้อยละ 50 ยกเว้นอาคารกลุ่มที่ 3 ที่สามารถผ่านมากกว่าร้อยละ 50 เพียงเกณฑ์ระบบ RTTV เท่านั้น จึงจะเห็นได้ว่าการออกแบบระบบปรับอากาศให้ผ่านเกณฑ์ OTTV และ RTTV โดยใช้วิธีคำนวณยังปฏิบัติให้สอดคล้องได้น้อย

ดังนั้นผลการศึกษาดังกล่าวนำไปสู่การศึกษาทางเลือกในการประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าพบว่า ในกฎหมายและมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของต่างประเทศนั้น มักกำหนดให้มีทางเลือกในการประเมินมากกว่า 1 วิธี หนึ่งในนั้นคือ การออกแบบโดยให้ปฏิบัติตามข้อกำหนด (prescriptive method) เป็นวิธีการที่กำหนดแต่ละองค์ประกอบของอาคาร ให้มีมาตรฐานขั้นต่ำที่ยอมรับได้ในเขตภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ตารางของรายการที่กำหนดส่วนใหญ่จะแสดงรายการของคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ ผนังกระจกและหรือหน้าต่าง ความต้านทานความร้อนของฉนวนในหลังคา สัดส่วนพื้นที่หน้าต่าง เป็นต้น เมื่อปฏิบัติตามข้อกำหนดที่กำหนดแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการจำลองประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร และใช้กับอาคารที่ไม่มีความซับซ้อน (Building Design Construction, 2015) ขนาดของอาคารที่ใช้เกณฑ์ตามรายการที่กำหนดนั้นยกตัวอย่างจากเกณฑ์ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% ที่เป็นเกณฑ์รายการที่กำหนด แบ่งเป็นแต่ละประเภทอาคาร เช่น อาคารสำนักงานขนาดเล็ก กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 1,800 ตารางเมตร (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004) หรืออาคารสรรพสินค้าขนาดเล็ก กำหนดพื้นที่อาคารไม่เกิน 1,800 ตารางเมตร (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2006) เป็นต้น

การศึกษานี้จึงต้องการหาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร ที่สามารถให้ผลผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน เพื่อใช้เป็นทางเลือกคู่ขนานกับเกณฑ์ตามกฎหมายในปัจจุบันที่ต้องใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร โดยวิธีการใช้รายการที่กำหนด (prescriptive method) ที่สามารถให้ผลผ่านเกณฑ์ โดยไม่ต้องใช้โปรแกรม BEC คำนวณ สำหรับทุกกลุ่มประเภทอาคารตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน
2. เพื่อศึกษาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ที่สามารถนำมาออกแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงาน

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กฎหมายอนุรักษ์พลังงาน และมาตรฐานการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานทั้งของในประเทศและต่างประเทศ ที่ใช้วิธีกำหนดรายการ (prescriptive method) รวมทั้งวัสดุต่างๆ ที่ได้มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน

2. นำค่าที่ได้จากการศึกษามาวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบการผ่านเกณฑ์กับผลคำนวณด้วยเกณฑ์ BEC
3. สรุปผลการศึกษา และอภิปรายผล

ผลการทบทวนเอกสาร

1. กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 (Ministry of Energy, 2009b)

ในกฎกระทรวงได้กำหนดให้อาคารที่มีพื้นที่รวมกันตั้งแต่ 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) (Ministry of Energy, 2009c) เป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง ด้านนอกของอาคาร (OTTV) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของ หลังคาอาคาร (RTTV) (วัตต์ต่อตารางเมตร)
1. สถานศึกษา สำนักงาน	≤ 50	≤ 15
2. โรงมหรสพ ห้างสรรพสินค้า สถานบริการ อาคารชุมนุมคน	≤ 40	≤ 12
3. โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	≤ 30	≤ 10

ที่มา: Ministry of Energy (2009a)

2. นิยามของเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด

กฎกระทรวงพลังงานกำหนดเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน โดยต้องใช้โปรแกรมคำนวณ วิธีนี้เรียกว่า performance building option ซึ่งต่างจากเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพประหยัดพลังงานของกรอบอาคารตามข้อรายการที่กำหนด หรือวิธี prescriptive option ที่ไม่ต้องใช้โปรแกรมคำนวณ

โดยข้อแตกต่างระหว่างวิธี performance building option และ prescriptive option (Building Design and Construction, 2019) คือ วิธีการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร 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

3. เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารในประเทศไทย

สำหรับในประเทศไทยนั้นพบว่า กระทรวงพลังงานได้จัดทำ คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานที่ใช้กับอาคารสาธารณะ (Ministry of Energy, 2007) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2549 โดยการใช้วิธี prescriptive เป็นทางเลือกคู่ไปกับการใช้ค่า OTTV และ RTTV โดยมีค่าที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของหลังคาและผนัง แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ

3.1 การป้องกันความร้อนจากหลังคา ประกอบไปด้วย ขนาดช่องแสงระนาบเดียวกับหลังคา (SRR), ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนหลังคา (R) หรือค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV)

3.2 การป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก ประกอบไปด้วย อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผนัง (U-value) การใช้หน้าต่างกระจก และ/หรือ กระจก สัมประสิทธิ์การบังแดดกระจก (SC หรือ SHGC) สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (SC) สีมวลผนังภายนอกและมวลของผนัง หรือค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV)

4. เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารในต่างประเทศ

ส่วนในต่างประเทศมีกฎหมายที่กำหนดเกณฑ์ประเภท Prescriptive จำนวนหลายประเทศ ตัวอย่างเช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร จีน ญี่ปุ่น เยอรมัน ฝรั่งเศส บราซิล อิตาลี อินเดีย แคนาดา ออสเตรเลีย สเปน เกาหลีใต้ เป็นต้น มีการกำหนดใช้การประเมินของกรอบอาคารในส่วนฉนวนในผนังและหลังคา และส่วนค่า U ของหน้าต่าง กับค่า SHGC (Young, 2014)

สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกา มีมาตรฐาน ASHRAE 90.1 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings ซึ่งเป็นมาตรฐานทางการออกแบบอาคารปรับอากาศ และมีการนำไปใช้เป็นกฎหมายในบางรัฐของสหรัฐอเมริกา อีกทั้งยังใช้ในมาตรฐานอาคารเขียว หรือ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ด้วย

ASHRAE Standard 90.1 (2016) แบ่งการประเมินออกเป็นหลายวิธี หนึ่งในนั้นคือ วิธีการประเมินของกรอบอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด ซึ่งแบ่งตามเขตภูมิอากาศ (climate zones) เป็น 9 เขต สำหรับ

ประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศร้อนชื้น จะอยู่ในเขตภูมิอากาศ 0-A (Zone 0-A) ร้อนสุดขีด (extremely hot) เช่น กรุงเทพฯ และเขตภูมิอากาศ 1-A (Zone 1-A) ร้อนมาก (very hot) เช่น เชียงใหม่ ข้อกำหนดของกรอบอาคารแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือส่วนกรอบอาคารทึบแสง (opaque element) ประกอบด้วย หลังคา ผนังเหนือดิน ผนังใต้ดิน พื้น พื้นคอนกรีตวางบนดิน และประตูทึบ สำหรับผนังและหลังคาจะกำหนดโดยใช้ ค่า U-factor หรือ ค่า R-value ของฉนวน และส่วนที่ 2 คือส่วนกรอบอาคารโปร่งแสง (fenestration) ประกอบด้วย ผนัง/หน้าต่าง โปร่งแสง (vertical fenestration) และช่องแสงหลังคา ซึ่งกำหนดโดยใช้ร้อยละของพื้นที่โปร่งแสงต่อพื้นที่รวมของผนัง ร้อยละของช่องเปิดหลังคา (skylight) โดยกำหนดค่า U-factor และค่า SHGC (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2016)

มาตรฐาน 90.1 ที่มีการใช้วิธี prescriptive แล้ว ยังพบว่ามีคู่มือการออกแบบอาคารการประหยัดพลังงานอื่นของ ASHRAE ที่ใช้วิธีนี้เช่นกัน คือ คู่มือการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานขั้นสูง ได้แก่ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% และ Advanced Energy Design Guide Achieving 50% สำหรับอาคารที่ต้องการประหยัดพลังงานสูงกว่ามาตรฐาน ในระดับร้อยละ 30 และร้อยละ 50

นอกจากนี้ยังมีเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงานสากล คือ International Energy Conservation Code (IECC) สร้างขึ้นโดย International Code Council (ICC) เป็นเกณฑ์ที่รับรองโดยหลายรัฐและรัฐบาลแห่งชาติในสหรัฐอเมริกา มีโครงสร้างเช่นเดียวกับเกณฑ์ ASHRAE 90.1 รวมถึงวิธีการออกแบบตามรายการที่กำหนด โดยแบ่งอาคารเป็น 2 ประเภท คือ อาคารเชิงพาณิชย์ และอาคารพักอาศัย ซึ่งกำหนดเขตภูมิอากาศอากาศออกเป็น 8 เขตภูมิอากาศ สำหรับประเทศไทยสอดคล้องกับเขตภูมิอากาศ 1 (Zone 1)

ส่วนรายการกำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคารนั้น ประกอบไปด้วย 1) ส่วนทึบแสง และ 2) ส่วนโปร่งแสง ซึ่งรายละเอียดมีความแตกต่างกับเกณฑ์ ASHRAE 90.1 ในเรื่องการกำหนดค่า SHGC ที่กำหนดตามทิศของผนังโปร่งแสง (ICC Digital Codes Library, 2018)

ในภูมิภาคเอเชียที่มีการใช้วิธี prescriptive method และมีเขตภูมิอากาศใกล้เคียงกับประเทศไทย คือ ประเทศสิงคโปร์ โดย The Building and Construction Authority (BCA) ได้กำหนดเกณฑ์ BCA Green Mark เกณฑ์กำหนดวิธีการประเมินในด้านประสิทธิภาพของกรอบเป็น 2 วิธี คือ 1) แบบการจำลอง (simulation method) และ 2) แบบรายการที่กำหนด (non simulation checklist) โดยกำหนดค่าคุณสมบัติกรอบอาคารคล้ายกัน ตัวอย่างเช่น ค่า U หน้าต่าง ค่า U ผนังด้านนอก สัดส่วน WWR และค่า SC1 x SC2) ค่า U ของหลังคา รวมถึงค่า RTTV เป็นต้น ซึ่งทั้งสองวิธีกำหนดอาคารเป็น 2 ประเภท ได้แก่ อาคารอุตสาหกรรมและอาคารที่ไม่ใช่อุตสาหกรรม (Building and Construction Authority, 2015)

ในการศึกษาได้นำค่าที่กำหนด ใน ASHRAE Standard 90.1 Advanced Energy Design Guide IECC BCA Green Mark และ คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ มาศึกษาเปรียบเทียบ ดังสรุปในตารางที่ 2 และ 3 และนำค่าต่างๆ เหล่านี้มาพิจารณา เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดประสิทธิภาพกรอบอาคาร และนำไปคำนวณเปรียบเทียบผลกับการใช้เกณฑ์ BEC คำนวณค่า OTTV และ RTTV

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่รายการกำหนดของแต่ละเกณฑ์ ประเภทส่วนที่บ่งแสง (ระบบหน่วย SI)

Standard <

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่รายการกำหนดของแต่ละเกณฑ์ ประเภทส่วนโปร่งแสง (ระบบหน่วย SI)

Standard Elements	ASHRAE Standard 90.1-2016										Advanced Energy Design Guide (Zone1)										IECC		BCA Green Mark				คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงาน	
	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) (SC ₁ x SC ₂)	≤ 0.4	≤ 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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										

5. วัสดุที่ได้รับการรับรองมาตรฐานการประหยัดพลังงาน

นอกจากนี้ได้พบว่าในปัจจุบันกระทรวงพลังงาน ได้จัดทำมาตรฐานวัสดุประหยัดพลังงานหลายชนิด โดยการให้ฉลากประสิทธิภาพสูง หรือฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 (Ministry of Energy, 2009a) ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงต้องการหาความเป็นไปได้ ที่จะระบุคุณสมบัติ โดยการใช้ฉลากประหยัดพลังงาน แทนการระบุคุณสมบัติของวัสดุรอบอาคาร เช่น ค่า R หรือ ค่า U วัสดุที่ได้ฉลากประหยัดพลังงานที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่

- ฉนวนใยแก้ว ที่มีค่า ความต้านทานความร้อน (R-value) $\geq 1.25 \text{ m}^2\text{C/W}$
- กระฉก ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจาก รังสีอาทิตย์ (SHGC) ≤ 0.55 และค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อ สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (LGS) ≥ 1.2
- คอนกรีตมวลเบา ขนาดความหนา 75 มิลลิเมตร ที่มีค่าความต้านทานความร้อน $\geq 0.58 \text{ m}^2\text{C/W}$ และ ขนาดความหนา 100 มิลลิเมตร ที่มีค่าความต้านทานความร้อน $\geq 0.77 \text{ m}^2\text{C/W}$

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในต่างประเทศ พบว่า มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินฯตามรายการที่กำหนด เช่นงานวิจัยศึกษาการเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินฯ 15 ประเทศ (Young, 2014) ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร จีน ญี่ปุ่น เยอรมัน ฝรั่งเศส บราซิล อิตาลี อินเดีย รัสเซีย แคนาดา ออสเตรเลีย เม็กซิโก สเปน และเกาหลีใต้ ซึ่งพบว่า ประเภทอาคารพาณิชย์ในประเทศส่วนใหญ่ กำหนดค่า R-value ของฉนวนในส่วนกรอบอาคาร จำนวน 14 ประเทศ และประเทศที่กำหนดค่า U-value ของกระฉก กับค่า SHGC มีจำนวน 12 ประเทศ สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์เปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินอาคารของประเทศปากีสถาน อินเดีย และสหรัฐอเมริกา (Usman & Ibrahim, 2018) พบว่าได้กำหนดสัมประสิทธิ์คุณสมบัติของกรอบอาคารที่เหมือนกัน คือ 1. U-factor ของ หลังคา ผนัง และหน้าต่าง 2. SHGC ของหน้าต่าง 3. อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 40 และงานวิจัยได้ศึกษาการสร้างและเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินฯของแต่ละประเทศใน 22 ประเทศ (Evans, Roshchanka & Graham, 2017) พบว่าการกำหนดพื้นที่อาคารมากกว่า 2,000 ตารางเมตร สำหรับอาคารประเภทพาณิชย์กรรม ทั้งนี้ยังกำหนดวัสดุที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงาน คือ หน้าต่าง ประตู หลังคา และฉนวนกันความร้อน ซึ่งกำหนดชนิดคล้ายกับฉลากเบอร์ 5 ของประเทศไทย

ส่วนในประเทศไทย มีงานวิจัยเรื่องการพัฒนาเกณฑ์ประเมินฯ สำหรับอาคารใหม่ในประเทศไทย (Chirattananon, et al., 2004) โดยใช้มาตรฐานจากเกณฑ์ BEC ซึ่งกำหนดการวิเคราะห์รูปแบบอาคารเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ในวิจัยสามารถสรุปคุณสมบัติกรอบอาคารที่สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV โดยใช้ผนังทึบชนิดติดตั้งฉนวนกันความร้อน PE Foam และชนิดกระฉก Low-E 2 ชั้น สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ที่อัตราส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 50 ส่วนงานวิจัยเรื่องศึกษาแนวทางการสร้างเกณฑ์การประเมินฯ สำหรับโรงเรียนในประเทศไทย (Patanompee, 2014) โดยนำคู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และฉลากประสิทธิภาพสูง ประกอบการทำวิจัย ซึ่งผลการวิจัยการออกแบบเปลือกอาคารกำหนดให้ผนังควรมีค่า U-value ต่ำ เช่น ผนังอิฐมวลเบา หรือมีการเพิ่มฉนวนกับความร้อน, หลังคาที่ติดตั้งฉนวนที่มีค่า R-value มากกว่า $1.25 \text{ m}^2\text{C/W}$ ตามเกณฑ์ฉลากประสิทธิภาพสูง ส่วนประตู หน้าต่าง ช่องระบายอากาศ ควรออกแบบให้มากกว่าร้อยละ 10-25 และการเลือกใช้กระจกที่มีค่า SHGC อยู่ระหว่าง 0.3–0.55 ในกรณีที่มีการปรับอากาศ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพวัสดุของกรอบอาคาร ได้แก่ งานวิจัยศึกษาเรื่องแนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ (Daoprakaimongkol, 2012) โดยผลการวิจัยสรุปว่ากระจกลามิเนตอินซูเลต สีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 มิลลิเมตร คุณสมบัติกระจกมีค่า $U=1.56 \text{ W/m}^2\text{K}$, $SHGC=0.21$, $LSG=1.67$ และ $VT=35\%$ สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ต่ำกว่ากฎหมายที่สัดส่วน WWR ไม่เกินร้อยละ 80 จึงได้นำกระจกชนิดนี้มาประกอบในการทดสอบของงานวิจัย

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยข้างต้นสรุปได้ว่าเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานในต่างประเทศส่วนใหญ่ แบ่งประเภทอาคารออกเป็นอาคารพักอาศัยและอาคารพาณิชย์กรรม หรืออาคารอุตสาหกรรม เป็นต้น และกำหนดการประเมินอย่างน้อย 2 วิธี คือ prescriptive method และ simulation method ซึ่ง prescriptive method กำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคาร ได้แก่ ค่า R-value ของฉนวนทั้งผนังและหลังคา ค่า U ของผนัง ค่า U ของกระจก ค่า SHGC และอัตราส่วน WWR เป็นต้น โดยเฉพาะผนังแบ่งเป็นประเภทผนังมวลสารและไม่มีมวลสาร แต่บางเกณฑ์ไม่มีการแบ่งชนิดผนัง เช่น เกณฑ์ BCA Green Mark

7. การวิเคราะห์เกณฑ์ในการออกแบบกรอบอาคารโดยใช้การใช้รายการที่กำหนด

จากการทบทวนเอกสารข้างต้น ได้นำมาสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ โดยการนำค่าต่าง ๆ มาคัดเลือกเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนคำนวณหาการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV ตามกฎหมาย ในทุกกลุ่มประเภทอาคารด้วยเกณฑ์ BEC โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1. หลังคาอาคาร แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 กรณีคือ 1. กรณีหลังคาตาดฟ้าคอนกรีต (flat roofs) และ 2. กรณีหลังคากระเบื้อง (pitched roof) โดยใช้ค่า R-value 4 ระดับ โดยมีค่าที่ใช้ คือ

7.1.1 หลังคาตาดฟ้าคอนกรีต

- 1) ฉนวนใยแก้ว ผลกประหยัดพลังงาน เบอร์ 5 กำหนดค่า R-value $\geq 1.25 \text{ (m}^2\text{C)/W}$
- 2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 1 ค่า R-value $\geq 2.6 \text{ (m}^2\text{C)/W}$
- 3) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 2 ค่า R-value $\geq 3.9 \text{ (m}^2\text{C)/W}$
- 4) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016, เกณฑ์ IECC และ Advanced Energy Design Guide Achieving 30% ฉนวนวางต่อเนื่องบนตาดฟ้า (insulation entirely above deck) กำหนดค่า R-value $\geq 4.4 \text{ (m}^2\text{C)/W}$

ลักษณะหลังคาประเภทตาดฟ้าคอนกรีต ประกอบไปด้วยชั้นวัสดุดังนี้ 1. คอนกรีตเสริมเหล็ก (หนา 10 เซนติเมตร) 2. ช่องว่างอากาศ (ขนาด 10 เซนติเมตร) 3. แผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด (หนา 9 เซนติเมตร) และ 4. ฉนวนที่มีค่า R ต่างกันตามข้างต้น วางในฝ้าหรือวางบนตาดฟ้าคอนกรีต

7.1.2 หลังคากระเบื้อง (pitched roof)

- 1) ฉนวนใยแก้ว ผลกประหยัดพลังงาน เบอร์ 5 กำหนดค่า R-value $\geq 1.25 \text{ (m}^2\text{C)/W}$
- 2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 1 ค่า R-value $\geq 2.6 \text{ (m}^2\text{C)/W}$
- 3) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ แบบที่ 2 ค่า R-value $\geq 3.9 \text{ (m}^2\text{C)/W}$

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

ลักษณะหลังคากระเบื้อง เป็นรูปทรงปั้นหยา ที่มีความลาดชัน 45 องศา 30 องศา และ 15 องศา ประกอบไปด้วยวัสดุดังนี้ 1. กระเบื้องลอน (หนา 5 มิลลิเมตร) 2. ช่องว่างอากาศ 3. ฉนวน (ขนาดตามเกณฑ์กำหนดข้างต้น) และ 4. แผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 เซนติเมตร

ผลการทดสอบพบว่า การใช้ฉนวนประสิทธิภาพสูง โดยมีค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา (R-value) ≥ 1.25 ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$) ก็เพียงพอที่จะผ่านเกณฑ์ RTTV ตามกฎหมายได้แล้ว ทั้งหลังคาตึกคอนกรีต และหลังคากระเบื้อง ที่ไม่มีช่องแสงหลังคา (skylight) ในทุกสปีหลังคา และทุกกลุ่มประเภทอาคาร ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาชนิดที่ไม่มีช่องโปร่งแสง (skylight) ของทุกกลุ่มอาคาร

ค่า U และ R ของฉนวน	RTTV		
	กลุ่ม 1 (RTTV ≤ 15 W/m ²)	กลุ่ม 2 (RTTV ≤ 12 W/m ²)	กลุ่ม 3 (RTTV ≤ 10 W/m ²)
1. หลังคาตึกคอนกรีต (Flat roofs)			
1 U หลังคา= 0.33 R ฉนวน = 1.25	3.89 - 10.68	4.10 - 10.68	2.52 - 6.27
2 U หลังคา= 0.23 R ฉนวน = 2.6	2.67 - 7.35	2.82 - 7.18	1.73 - 4.32
3 U หลังคา= 0.18 R ฉนวน = 3.9	2.05 - 5.65	2.17 - 5.52	1.34 - 3.39
4 U หลังคา= 0.20 R ฉนวน = 4.4	2.37 - 6.51	2.50 - 6.36	1.54 - 3.83
2. หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ลาดเอียง 45 องศา			
1 U หลังคา= 0.35 R ฉนวน = 1.25	5.20 - 12.55	3.88 - 8.81	2.52 - 6.27
2 U หลังคา= 0.24 R ฉนวน = 2.6	3.53 - 8.53	2.64 - 6.00	1.73 - 4.32
3 U หลังคา= 0.18 R ฉนวน = 3.9	2.69 - 6.51	2.02 - 4.59	1.34 - 3.39
4 U หลังคา= 0.12 R ฉนวน = 6.7	1.78 - 4.31	1.35 - 3.06	1.54 - 3.83
ค่า U และ R ของฉนวน	RTTV		
	กลุ่ม 1 (RTTV ≤ 15 W/m ²)	กลุ่ม 2 (RTTV ≤ 12 W/m ²)	กลุ่ม 3 (RTTV ≤ 10 W/m ²)
3. หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ลาดเอียง 30 องศา			
1 U หลังคา= 0.35 R ฉนวน = 1.25	5.47 - 13.67	4.07 - 9.51	2.42 - 5.71
2 U หลังคา= 0.24 R ฉนวน = 2.6	3.71 - 9.30	2.77 - 6.48	1.65 - 3.89
3 U หลังคา= 0.18 R ฉนวน = 3.9	2.83 - 7.11	2.12 - 4.96	1.26 - 2.97
4 U หลังคา= 0.12 R ฉนวน = 6.7	1.87 - 4.73	1.41 - 3.31	0.84 - 1.97
4. หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ลาดเอียง 15 องศา			
1 U หลังคา= 0.35 R ฉนวน = 1.25	5.67 - 14.37	4.20 - 10.01	2.50 - 6.02
2 U หลังคา= 0.24 R ฉนวน = 2.6	3.85 - 9.76	2.86 - 6.82	1.70 - 4.09
3 U หลังคา= 0.18 R ฉนวน = 3.9	2.94 - 7.46	2.19 - 5.22	1.30 - 3.13
4 U หลังคา= 0.12 R ฉนวน = 6.7	1.94 - 4.94	1.46 - 3.48	0.86 - 2.08

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

จากนั้นได้นำหลังคาข้างต้นที่ผ่านเกณฑ์ RTTV เมื่อใช้ฉนวนที่มีค่า R = 1.25 $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ นำมาวิเคราะห์หาขนาดช่องแสงหลังคา (Skylight to Roof Ratio, SRR) ที่สามารถผ่านเกณฑ์ค่า RTTV ได้

โดยค่า SRR อ้างอิงจากเกณฑ์ ASHRAE Standard 90.1-2016 เกณฑ์ IECC และ Advanced Energy Design Guide ที่กำหนดให้มีช่องแสง ได้ไม่เกินร้อยละ 3 ของพื้นที่หลังคา โดยทดสอบกับหลังคา 2 แบบ เช่นเดียวกับการทดสอบข้างต้น ซึ่งในการทดสอบได้เลือกใช้กระจก 2 ประเภท ที่ได้รับผลการประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน คือ กระจกชั้นเดียว จำนวน 2 ชนิด และกระจก 2 ชั้น Low-E จำนวน 2 ชนิด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในการทดสอบหลังคาอาคาร

ชนิดกระจก			U กระจก (W/(m ² °C))	SHGC	LSG
กระจกชั้นเดียว	1	กระจกโพลีคาร์บอเนต Energy Green หนา 6 มม.	5.74	0.47	1.28
	2	Sunergy Green หนา 6 มม.	3.30	0.42	1.34
กระจก 2 ชั้น Low-E	3	PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 มม.	2.58	0.35	1.55
	4	Stopray Vision หนา 24 มม.	1.60	0.30	1.63

ผลการทดสอบทั้ง 2 ประเภทหลังคา ที่มีช่องแสง สามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ตามเงื่อนไขแบ่งเป็น 3 กลุ่มอาคาร คือ อาคารกลุ่มที่ 1 และอาคารกลุ่มที่ 2 สามารถมีอัตราส่วน SRR ≤ ร้อยละ 3 โดยทั้ง 2 กลุ่มต้องมีค่า U กระจก ≤ 2.58 W/(m²°C) และค่า SHGC ≤ 0.35 เฉพาะหลังคาที่มีผิวสีขาว - สีอ่อนข้างเข้มีส่วนอาคารกลุ่มที่ 3 สามารถมีอัตราส่วน SRR ≤ ร้อยละ 3 โดยมีค่า U ≤ 5.74 W/(m²°C) และค่า SHGC ≤ 0.47 ทุกสปีผิววัสดุหลังคา ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบค่า RTTV ของหลังคาที่มีช่องโปร่งแสง (skylight) ร้อยละ 3 ของทุกกลุ่มอาคาร

ชนิดกระจก	RTTV			ชนิดกระจก	RTTV		
	กลุ่ม 1 (RTTV ≤ 15 W/m ²)	กลุ่ม 2 (RTTV ≤ 12 W/m ²)	กลุ่ม 3 (RTTV ≤ 10 W/m ²)		กลุ่ม 1 (RTTV ≤ 15 W/m ²)	กลุ่ม 2 (RTTV ≤ 12 W/m ²)	กลุ่ม 3 (RTTV ≤ 10 W/m ²)
1. หลังคาตาดฟ้าคอนกรีต (Flat roofs)				3. หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ลาดเอียง 30 องศา			
กระจกชนิดที่ 1	10.80 - 17.39	9.45 - 15.58	6.00 - 9.64	กระจกชนิดที่ 1	11.84 - 19.79	9.04 - 14.32	5.70 - 8.89
กระจกชนิดที่ 2	9.78 - 16.37	8.59 - 14.73	5.35 - 8.99	กระจกชนิดที่ 2	10.87 - 18.82	8.22 - 13.50	5.07 - 8.26
กระจกชนิดที่ 3	8.75 - 15.34	7.80 - 13.93	4.84 - 8.48	กระจกชนิดที่ 3	9.91 - 17.87	7.48 - 12.76	4.59 - 7.78
กระจกชนิดที่ 4	7.95 - 14.54	7.16 - 13.30	4.40 - 8.04	กระจกชนิดที่ 4	8.07 - 16.03	6.07 - 11.35	3.70 - 6.89
2. หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ลาดเอียง 45 องศา				4. หลังคากระเบื้อง (Pitched roof) ลาดเอียง 15 องศา			
กระจกชนิดที่ 1	11.05 - 18.18	8.44 - 13.22	5.33 - 8.24	กระจกชนิดที่ 1	12.39 - 20.84	9.45 - 15.09	5.92 - 9.34
กระจกชนิดที่ 2	10.14 - 17.27	7.67 - 12.45	4.72 - 7.63	กระจกชนิดที่ 2	11.38 - 19.83	8.60 - 14.24	5.28 - 8.69
กระจกชนิดที่ 3	9.26 - 16.40	6.99 - 11.77	4.28 - 7.19	กระจกชนิดที่ 3	10.38 - 18.82	7.82 - 13.46	4.78 - 8.19
กระจกชนิดที่ 4	8.57 - 15.70	6.44 - 11.22	3.89 - 6.80	กระจกชนิดที่ 4	9.59 - 18.03	7.19 - 12.84	4.35 - 4.35

หมายเหตุ - ค่า RTTV มีหน่วย W/(m²)

จากการทดสอบหลังคากระเบื้อง ที่มีความลาดชัน 45 30 และ 15 องศา ที่ผ่านมาได้ทดสอบเฉพาะรูปทรงปั้นหยาที่มีความกว้างและความยาวในสัดส่วน 1:1 เท่านั้น จึงได้ทดสอบกับหลังคาแบบอื่นๆ ได้แก่ หลังคาจั่ว และหลังคาเพิงหมาแหงน ที่ไม่มีช่องแสง และมีสัดส่วน 1:1 (สี่เหลี่ยมจัตุรัส) สัดส่วน 1:2 จนถึง 1:3 (สัดส่วนกว้างต่อยาวหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า) ในทิศหลัก ได้แก่

- หลังคาปั้นหยา แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ ด้านยาวคือทิศเหนือกับทิศใต้ และ ด้านยาวคือทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก

- หลังคาจั่ว แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ ลาดเอียงทิศเหนือ-ทิศใต้ และลาดเอียงทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก

- หลังคาเพิงหมาแหงน แบ่งออกเป็น 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้

จากผลการทดสอบพบว่าหลังคาที่ใช้ฉนวนหลังคา (R-value) $\geq 1.25 \text{ (m}^2\text{C)/W}$ ยังสามารถผ่านเกณฑ์ RTTV ทุกชนิดหลังคา ทุกสีผิววัสดุ และทุกประเภทอาคาร

7.2 ผนังด้านนอกอาคาร สำหรับการวิเคราะห์ข้อกำหนดที่สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ได้ กำหนดทดสอบค่า WWR ตามผลการทบทวนเอกสารข้างต้น คือ WWR เท่ากับร้อยละ 40 ซึ่งมีค่า U ของผนังที่ต่างกัน ซึ่งในการทดสอบได้เลือกใช้กระจก 2 ประเภท ที่ได้รับฉลากประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน คือ กระจกชั้นเดียว จำนวน 1 ชนิด และกระจก 2 ชั้น Low-E จำนวน 3 ชนิด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในการทดสอบผนังด้านนอกอาคาร

ชนิดกระจก			U กระจก ($\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$)	SHGC	LSG
กระจกชั้นเดียว	1	Sunergy Green หนา 6 มม.	3.30	0.42	1.34
กระจก 2 ชั้น Low-E	2	PairTAG-BLUE GREEN หนา 24 มม.	2.58	0.35	1.55
	3	Stopray Vision หนา 24 มม.	1.60	0.30	1.63
	4	กระจกลามิเนตอินซูเลตสี่เหลี่ยมฟ้าเคลือบสาร Very Low-E หนา 30.76 มม. (อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)	1.56	0.21	1.67

รวมถึงการทดสอบกับอาคารที่มีสัดส่วน 1:1 (มีความกว้างและความยาวรูปลี่เหลี่ยมจัตุรัส) และสัดส่วนที่มีความกว้างและความยาวรูปลี่เหลี่ยมผืนผ้า คือ สัดส่วน 1:2 จนถึงสัดส่วน 1:3 โดยการทดสอบผนังด้านนอกอาคารแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ผนังมวลสาร (mass wall) และผนังเบาโครงเคร่าเหล็ก (steel framed)

7.2.1 ผนังมวลสาร (mass wall) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1. ผนังคอนกรีตมวลเบา และ 2. ผนังอิฐมวลเบา โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ผนังคอนกรีตมวลเบา โดยในการทดสอบได้ใช้ค่า U ของผนังที่มาจาก 3 เกณฑ์ ดังนี้

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ของผนัง (กำหนดทุกชนิด) $\leq 1.5 \text{ W/(m}^2\text{C)}$

โดยในการทดสอบได้ใช้ค่า U ของผนัง = $1.20 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ และ DSH เท่ากับ $68.04 \text{ kJ/m}^2\text{C}$ (ใช้คอนกรีตมวลเบาขนาด 7.5 เซนติเมตร ฉาบปูนอีกด้านละ 1.5 เซนติเมตร รวมความหนาผนังเท่ากับ 10.5 เซนติเมตร)

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงาน กำหนดค่า U ของผนัง (กำหนดทุกชนิด) $\leq 1.0 \text{ W/(m}^2\text{C)}$

โดยในการทดสอบได้ใช้ค่า U ของผนัง = $0.98 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ และ DSH เท่ากับ $80.64 \text{ kJ/m}^2\text{C}$ (ใช้คอนกรีตมวลเบาขนาด 10 เซนติเมตร ฉาบปูนอีกด้านละ 1.5 เซนติเมตร รวมความหนาผนังเท่ากับ 13 เซนติเมตร)

3) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 กำหนดค่า U ของผนังมวลสาร $\leq 3.293 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ (ซึ่งต้องมีน้ำหนัก $\geq 122 \text{ kg/m}^2$ ของพื้นที่ผนังที่วัสดุมีความหนาแน่น $\leq 1,900 \text{ kg/m}^3$ และ DSH $\geq 102 \text{ kJ/m}^2\text{C}$)

โดยในการทดสอบได้ใช้ค่า U เท่ากับ $0.62 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ (ซึ่งใช้คอนกรีตมวลเบาความหนา 17.5 เซนติเมตร ฉาบปูนอีกด้านละ 1.5 เซนติเมตร รวมความหนาผนังเท่ากับ 20.5 เซนติเมตร เพื่อให้มี DSH ตามเงื่อนไขข้างต้น) มีน้ำหนักเท่ากับ 141 kg/m^2 ความหนาแน่นวัสดุเท่ากับ $1,800 \text{ kg/m}^3$ และ DSH เท่ากับ $118 \text{ kJ/m}^2\text{C}$ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์

ผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้ค่าของวัสดุตามเกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ไม่เกิน $1.20 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ตามกฎหมายได้ ถ้า WWR ไม่เกินร้อยละ 40 เมื่ออาคารกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่า U กระฉก $\leq 1.60 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ และ SHGC ≤ 0.30 ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ ส่วนอาคารกลุ่ม 3 สามารถใช้ค่าของกระฉกที่สูงขึ้นได้โดย U กระฉก $\leq 2.85 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ และ SHGC ≤ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบค่า OTTV ของของผนังคอนกรีตมวลเบา ที่มี WWR ร้อยละ 40 ของทุกกลุ่มอาคาร ในสัดส่วน 1:1

ผนังอิฐมวลเบา					
เกณฑ์	ชนิดกระจก	OTTV สัดส่วน 1:1			
		กลุ่ม 1 (OTTV ≤ 50 W/m ²) WWR = 40%	กลุ่ม 2 (OTTV ≤ 40 W/m ²) WWR = 40%	กลุ่ม 3 (OTTV ≤ 30 W/m ²) WWR = 40%	
1	เกณฑ์ BCA Green Mark U ที่ทดสอบได้ = 1.20	กระจกชนิดที่ 1	53.65 - 62.44	41.06 - 47.69	27.53 - 31.48
		กระจกชนิดที่ 2	45.69 - 54.48	37.23 - 41.64	23.24 - 27.19
		กระจกชนิดที่ 3	39.07 - 47.86	29.75 - 36.39	19.25 - 23.20
		กระจกชนิดที่ 4	30.61 - 39.39	23.75 - 30.38	15.50 - 19.46
2	คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงาน U ที่ทดสอบได้ = 0.98	กระจกชนิดที่ 1	52.02 - 59.07	39.80 - 45.23	26.81 - 30.04
		กระจกชนิดที่ 2	44.06 - 51.11	33.75 - 39.18	22.52 - 25.75
		กระจกชนิดที่ 3	37.44 - 44.49	28.49 - 33.93	18.53 - 21.75
		กระจกชนิดที่ 4	28.98 - 36.02	22.48 - 27.92	14.79 - 18.01
3	เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 U ที่ทดสอบได้ = 0.62	กระจกชนิดที่ 1	49.52 - 53.86	37.80 - 41.31	25.69 - 27.78
		กระจกชนิดที่ 2	41.56 - 45.90	31.74 - 35.26	21.41 - 23.49
		กระจกชนิดที่ 3	34.94 - 39.29	26.49 - 30.01	17.41 - 19.50
		กระจกชนิดที่ 4	26.48 - 30.82	20.48 - 24.00	13.67 - 15.76

*หมายเหตุ - เนื่องจากพื้นที่จำกัดจึงไม่แสดงผลสรุปของสัดส่วนอาคาร 1:2 และ 1:3

- ผนังอิฐมวลเบา โดยในการทดสอบได้ใช้ค่า U ของผนังที่บจาก 2 เกณฑ์ ดังนี้

1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ผนังที่ $\leq 1.5 \text{ W/(m}^2\text{°C)}$

โดยในการทดสอบได้ค่า U เท่ากับ $1.45 \text{ W/(m}^2\text{°C)}$ และ DSH เท่ากับ $194.56 \text{ kJ/m}^2\text{°C}$ (ใช้อิฐมวลเบาขนาดหนา 6.5 เซนติเมตร 2 ชั้น ที่มีช่องว่างอากาศ 10 เซนติเมตร และฉนวนปูนอีกด้านละ 1.5 เซนติเมตร ผนังจึงมีความหนาเท่ากับ 26 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ค่า U ตามเกณฑ์)

2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงาน กำหนดค่า U ของผนัง $\leq 1.0 \text{ W/(m}^2\text{°C)}$

โดยในการทดสอบได้ค่า U ของผนัง = $1.0 \text{ W/(m}^2\text{°C)}$ และ DSH เท่ากับ $358.88 \text{ kJ/m}^2\text{°C}$ (ใช้อิฐมวลเบาเต็มแผ่น 2 ชั้น ที่มีช่องว่างอากาศ 10 เซนติเมตร และฉนวนปูนอีกด้านละ 1.5 เซนติเมตร ผนังจึงมีความหนาเท่ากับ 37 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ค่า U ตามเกณฑ์)

ผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้ค่าของวัสดุตามเกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ไม่เกิน 1.50 สามารถผ่านเกณฑ์ OTTV ตามกฎหมายได้ ถ้า WWR ไม่เกินร้อยละ 40 เมื่ออาคารกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่า U กระจก $\leq 1.60 \text{ W/(m}^2\text{°C)}$ และ SHGC ≤ 0.30 ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ ส่วนอาคารกลุ่ม 3 สามารถใช้ค่าของกระจกที่สูงขึ้นได้โดย U กระจก $\leq 2.85 \text{ W/(m}^2\text{°C)}$ และ SHGC ≤ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ ดังแสดงในภาพที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบค่า OTTV ของของผนังอิฐมวลเบา ที่มี WWR ร้อยละ 40 ของทุกกลุ่มอาคาร ในสัดส่วน 1:1

ผนังอิฐมวลเบา					
เกณฑ์	ชนิดกระจก	OTTV สัดส่วน 1:1			
		กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	
		(OTTV ≤ 50 W/m ²) WWR = 40%	(OTTV ≤ 40 W/m ²) WWR = 40%	(OTTV ≤ 30 W/m ²) WWR = 40%	
1	เกณฑ์ BCA Green Mark U ที่ทดสอบได้ = 1.50	กระจกชนิดที่ 1	53.60 - 62.97	42.25 - 50.39	28.39 - 33.33
		กระจกชนิดที่ 2	45.64 - 55.01	36.20 - 44.33	24.10 - 29.04
		กระจกชนิดที่ 3	39.02 - 48.39	36.20 - 44.33	20.11 - 25.05
		กระจกชนิดที่ 4	30.55 - 39.92	24.93 - 33.07	16.37 - 21.30
2	คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงาน U ที่ทดสอบได้ = 1.00	กระจกชนิดที่ 1	50.64 - 56.61	39.31 - 44.73	27.15 - 30.77
		กระจกชนิดที่ 2	42.68 - 48.64	33.26 - 38.68	22.87 - 26.49
		กระจกชนิดที่ 3	36.06 - 42.03	28.01 - 33.42	18.87 - 22.49
		กระจกชนิดที่ 4	27.60 - 33.87	22.00 - 27.41	15.13 - 18.75

*หมายเหตุ เนื่องจากพื้นที่จำกัดจึงไม่แสดงผลสรุปของสัดส่วนอาคาร 1:2 และ 1:3

7.2.2 ผนังเบาโครงเคร่าเหล็ก (Steel framed) โดยเลือกกำหนดคุณสมบัติจากเกณฑ์ 3 เกณฑ์ คือ

- 1) เกณฑ์ BCA Green Mark กำหนดค่า U ของผนัง ≤ 1.5 W/(m²°C),
- 2) คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ กำหนดค่า U ของผนัง ≤ 1.0 W/(m²°C)
- 3) เกณฑ์ ASHRAE 90.1-2016 ชนิดผนังโครงเคร่าเหล็ก กำหนดค่า U ≤ 0.71 W/(m²°C)

ลักษณะผนังเบาโครงเคร่าเหล็ก มีส่วนประกอบของวัสดุ ได้แก่ 1. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดภายนอก (หนา 12 มิลลิเมตร), 2. ช่องว่างอากาศ (ขนาด 5 มิลลิเมตร), 3. ฉนวนใยแก้ว ขนาด 50 มิลลิเมตร มีค่า R ของฉนวนเท่ากับ 1.5 (m²°C)/W และความหนาแน่น 32 kg/m³ และ 4. ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดภายใน (หนา 10 มิลลิเมตร) ซึ่งผลการคำนวณวัสดุของผนังเบาโครงเคร่าเหล็ก ได้ค่า U เท่ากับ 0.40 W/(m²°C) จึงต่ำกว่า ทั้ง 3 เกณฑ์กำหนด

ผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้ผนังเบาโครงเคร่าเหล็ก ที่มีค่า U เท่ากับ 0.40 W/(m²°C) ซึ่งติดตั้ง ฉนวนมากกว่าฉนวนเบอร์ 5 ที่มีค่า R ฉนวนเท่ากับ 1.5 (m²°C)/W และความหนาแน่น 32 kg/m³ จะสามารถ ผ่านเกณฑ์ OTTV ตามกฎหมายได้ ถ้า WWR ไม่เกิน 40 เมื่ออาคารกลุ่ม 1 ควรมีค่า U กระจกต้อง ≤ 2.85 W/(m²°C) และ SHGC ≤ 0.35 ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ ส่วนอาคารกลุ่ม 2 และ 3 สามารถใช้ค่าของ กระจกที่สูงขึ้นได้โดย U กระจกต้อง ≤ 3.30 W/(m²°C) และ SHGC ≤ 0.42 ทุกระดับความเข้มของสีผิววัสดุ ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบค่า OTTV ของผนังโครงสร้างหลัก ที่มี WWR ร้อยละ 40 ของทุกกลุ่มอาคาร

ค่า U W/(m ² °C)	ชนิดกระจก	OTTV สัดส่วน 1:1	OTTV สัดส่วน 1 : 2		OTTV สัดส่วน 1 : 3	
			ทิศ N,S >	ทิศ E,W	ทิศ N, S	ทิศ E, W
		กลุ่ม 1 (OTTV ≤ 50 W/m ²)				
U ที่ทดสอบได้ = 0.42 (ต่ำกว่าเกณฑ์ กำหนด)	กระจกชนิดที่ 1	48.68 - 51.86	48.28 - 51.41	49.08 - 52.32	48.08 - 51.18	49.27 - 52.54
	กระจกชนิดที่ 2	40.72 - 43.90	40.38 - 43.51	41.05 - 44.29	40.21 - 43.32	41.22 - 44.49
	กระจกชนิดที่ 3	34.10 - 37.28	33.80 - 36.94	34.39 - 37.63	33.66 - 36.76	34.53 - 37.80
	กระจกชนิดที่ 4	25.63 - 28.82	25.42 - 28.55	25.85 - 29.09	25.32 - 28.42	25.95 - 29.22
	กลุ่ม 2 (OTTV ≤ 40 W/m ²)					
	กระจกชนิดที่ 1	36.64 - 38.93	36.44 - 38.70	36.85 - 39.17	36.34 - 38.58	36.95 - 39.29
	กระจกชนิดที่ 2	30.59 - 32.88	30.42 - 32.68	30.76 - 33.09	30.33 - 32.58	30.85 - 33.19
	กระจกชนิดที่ 3	25.34 - 27.63	25.19 - 27.45	25.49 - 27.81	25.11 - 27.36	25.56 - 27.90
	กระจกชนิดที่ 4	19.33 - 21.62	19.22 - 21.48	19.44 - 21.76	19.16 - 21.41	19.49 - 21.83
	กลุ่ม 3 (OTTV ≤ 40 W/m ²)					
	กระจกชนิดที่ 1	25.03 - 26.41	24.84 - 26.19	25.22 - 26.62	24.74 - 26.09	25.32 - 26.73
	กระจกชนิดที่ 2	20.74 - 22.12	20.58 - 21.94	20.9 - 22.30	20.50 - 21.85	20.98 - 22.39
	กระจกชนิดที่ 3	16.75 - 18.13	16.61 - 17.96	16.89 - 18.29	16.54 - 17.89	16.96 - 18.37
	กระจกชนิดที่ 4	13.01 - 14.39	12.90 - 14.26	13.11 - 14.51	12.85 - 14.20	13.16 - 14.57

8. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเพื่อพัฒนาเกณฑ์โดยใช้วิธีการออกแบบตามรายการที่กำหนด (prescriptive method) ของกรอบอาคารทุกประเภท สามารถกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบกรอบอาคาร ได้ดังนี้

ตารางที่ 11 แนวทางการออกแบบหลังคาให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

ชนิดหลังคา และกลุ่มอาคาร	อัตราส่วน SRR	R-value ของฉนวน ((m ² °C)/W)	U-value ของกระจก (W/(m ² °C))	SHGC	สีผิววัสดุภายนอก			
					0.3	0.5	0.7	0.9
1. หลังคาตาดฟ้าคอนกรีต								
- อาคารกลุ่ม 1, 2 และ 3	ไม่มีช่องแสง	≥ 1.25	-	-	/	/	/	/
- อาคารกลุ่ม 1 และ 2	≤ 3%		≤ 2.58	≤ 0.35	/	/	/	X
- อาคารกลุ่ม 3			≤ 5.74	≤ 0.47	/	/	/	/
2. หลังคากระเบื้อง								
- อาคารกลุ่ม 1, 2 และ 3	ไม่มีช่องแสง	≥ 1.25	-	-	/	/	/	/
- อาคารกลุ่ม 1	≤ 3%		≤ 2.58	≤ 0.35	/	/	X	X
- อาคารกลุ่ม 2					/	/	/	X
- อาคารกลุ่ม 3				≤ 5.74	≤ 0.47	/	/	/

ตารางที่ 12 แนวทางการออกแบบผนังให้ประหยัดพลังงานตามข้อกำหนด

ชนิดหลังคา และกลุ่มอาคาร		อัตราส่วน SRR	U-value ของผนังทึบ (W/(m ² °C))	DSH (kJ/(m ² °C))	U-value ของกระจก (W/(m ² °C))	SHGC	สีผิววัสดุภายนอก			
							0.3	0.5	0.7	0.9
1. ผนังมวลสาร										
1.1 ผนัง คอนกรีต มวลเบา	- อาคารกลุ่ม 1 และ 2	≤ 40%	≤ 1.20	≥ 68.04	≤ 1.60	≤ 0.30	ทุกสีผิววัสดุ			
	- อาคารกลุ่ม 3				≤ 2.85	≤ 0.35				
1.2 ผนังอิฐ มวลยู่	- อาคารกลุ่ม 1 และ 2	≤ 1.50	≥ 194.56	≤ 1.60	≤ 0.30					
	- อาคารกลุ่ม 3			≤ 2.85	≤ 0.35					
2. ผนังเบาโครงสร้างเหล็ก										
- อาคารกลุ่ม 1		≤ 40%	≤ 0.42	≥ 37.95	≤ 2.85	≤ 0.35	ทุกสีผิววัสดุ			
- อาคารกลุ่ม 2 และ 3					≤ 3.30	≤ 0.42				

อภิปรายผล

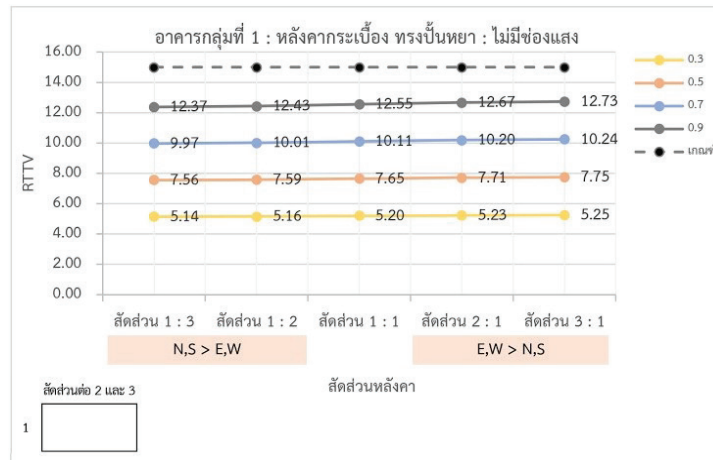
1. เปรียบเทียบผลสรุปรายการกำหนดกรอบอาคารของงานวิจัยกับเกณฑ์ในและต่างประเทศ

จากข้อสรุปของงานวิจัยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินฯ ในประเทศไทยและต่างประเทศ พบว่าค่าคุณสมบัติของข้อสรุปงานวิจัยมีความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น หลังคาประเภทดาดฟ้าคอนกรีต สำหรับเกณฑ์ ASHRAE 90.1 IECC มีการกำหนดค่า R ของฉนวนสูงกว่าอยู่ที่ ≥ 4.4 (m²°C)/W แต่จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยกำหนดให้ใช้ค่า R ของฉนวนประสิทธิภาพสูง เบอร์ 5 ≥ 1.25 (m²°C)/W เพราะเพียงพอต่อการผ่านเกณฑ์ BEC

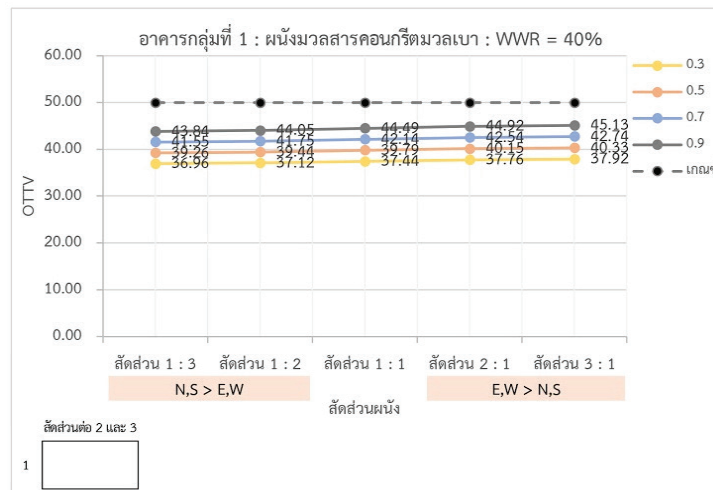
2. สัดส่วนอาคารที่ส่งผลต่อการผ่านเกณฑ์ RTTV และ OTTV

ในส่วนของการศึกษา RTTV ผู้วิจัยได้วิเคราะห์กับหลังคาที่มีพื้นที่สัดส่วนอาคาร 1:3 ถึง 3:1 เฉพาะทิศหลัก (ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้) เท่านั้น แต่หากสัดส่วนของความกว้างและความยาวของหลังคาเปลี่ยนไปนอกเหนือจากงานวิจัย เฉพาะหลังคาทรงปั้นหยา อาจส่งผลต่อค่า RTTV แต่ยังสามารถผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายได้ จากผลสรุปของงานวิจัย ดังแผนภูมิหลังคากระเบื้องแสดงในภาพที่ 2

สำหรับการศึกษาในส่วน OTTV ผู้วิจัยได้วิเคราะห์โดยใช้แปลนอาคารที่มีสัดส่วน 1:3 ถึง 3:1 เท่านั้น ซึ่งถ้าหากสัดส่วนอาคารที่มีขนาดกว้างต่อยาวนอกเหนือจากงานวิจัย อาจส่งผลต่อค่า OTTV แต่อาจยังทำให้ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายได้ ดังแผนภูมิผนังมวลสาร แสดงในภาพที่ 2



(a)



(b)

ภาพที่ 2 เปรียบเทียบค่า RTTV และ OTTV กับสัดส่วนและทิศของกรอบอาคาร

(a) เปรียบเทียบค่า RTTV กับสัดส่วนและทิศของหลังคาปั้นหย่า และ

(b) เปรียบเทียบค่า OTTV กับสัดส่วนและทิศของผนังมวลสารชนิดคอนกรีตมวลเบา

จากภาพข้างต้นค่า OTTV สำหรับอาคารที่มีขนาดกว้างต่อยาวในทางทิศเหนือกับทิศใต้ น้อยกว่า ทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก อาจส่งผลต่อค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารตามกฎหมาย ซึ่งจะ ทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย ซึ่งควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติม

ผู้วิจัยได้กำหนดสัดส่วนอาคารที่มีอัตราส่วนหน้าต่างต่อผนังอาคาร (WWR) ไม่เกินร้อยละ 40 เท่านั้น แต่หากอัตราส่วนร้อยละของหน้าต่างเปลี่ยนไปจะส่งผลต่อค่า OTTV เนื่องจากอัตราส่วนหน้าต่างได้ถูกเฉลี่ย ค่า OTTV เท่ากันในทุกทิศ ซึ่งควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2004). **Advanced energy design guide for small office buildings achieving 30% energy savings over ANSI/ASHRAE/IESNA standard 90.1-1999**. United States: Author.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2006). **Advanced energy design guide for small retail buildings achieving 30% energy savings toward a net zero energy building**. United States: Author.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2016). **ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016**. United States: Author.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). **Standard 90.1 user's manual**. United States: Author.
- Building and Construction Authority. (2015). **Green mark for non-residential buildings NRB: 2015**. Singapore: Author.
- Building Design and Construction. (2019). **Prescriptive vs. performance building codes**. Retrieved May 8, 2020, from <https://www.bdcnetwork.com/blog/prescriptive-vs-performance-building-codes>
- Chirattananon S., et al. (2004). Development of a building energy code for new buildings in Thailand. **The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE)**. (pp.859-867). Prachuap Khiri Khan: Author.
- Daoprakaimongkol, S. (2012). Neawtang karn lueak chai krachok pen phanang arkhan samnakngan prub akat phuea hai sotkhleng kub kot krasuang karn oakbab arkhan phuea karn anurak phalangngan pho so 2552. (In Thai) [Glass selection guide for curtain walls of air-conditioned office building in accordance with building energy code B.E. 2552] (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Evans, M., Roshchanka, V. & Graham, P. (2017). An international survey of building energy codes and their implementation. **Journal of Cleaner Production**, 158 (1), 382-389.
- ICC Digital Codes Library. (2018). **International Energy Conservation Code 2018 (IECC 2018)**. Retrieved May 20, 2020, from <https://codes.iccsafe.org/content/iecc2018/chapter-4-ce-commercial-energy-efficiency>
- Ministry of Energy. (2007). **Khumue pramoen arkhan prayat phalangngan lae pen mit to singwaetlom (arkhan satharana)**. (In Thai) [Building appraisal guide energy saving and environmentally friendly (public buildings)]. Bangkok: Chulalongkorn University.

- Ministry of Energy. (2009a). **Chalak prayat phalangngan prasitthiphap sung**. (In Thai) [Energy Efficiency Labelling]. Retrieved January 10, 2020, from https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=769&filename=index
- Ministry of Energy. (2009b). **Kot krasuang kamnot praphet rue khanat khong arkhan lae mattrathan lakken lae withikarn nai karn oakbab arkhan phuea karn anurak phalangngan pho so 2552**. (In Thai) [Ministerial regulations prescribing categories or the size of the building and the standards, criteria and methods in building design for energy conservation, B.E. 2552], (2009, 20 February). Royal Thai Government Gazette. Rule Number 126 section number 12 n. pp.9-15.
- Ministry of Energy. (2009c). **Prakat krasuang phalangngan rueang lakken lae withi karn kham nuan nai karn oakbab arkhan pho so 2552**. (In Thai) [Ministry of energy's notification on criteria and calculation methods for building design of various systems, overall energy consumption of buildings and use of renewable energy of various building systems B.E. 2552], (2009, 28 August). Royal Thai Government Gazette. Rule Number 126 special section number 122 ง. pp.21-39.
- Ministry of Energy. (2019). **Rai ngan pracham pi 2019**. (In Thai) [Annual report 2019]. Bangkok: Author.
- Patanompee, K. (2014). **Karn sueksa neawtang karn sang ken karn pramoen dan phalangngan lae singwaetlom samrab rongrian nai prathet Thai**. (In Thai) [Development of design criteria for green school in Thailand] (Master's thesis). Bangkok: Silpakorn University.
- 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**, 1 (1), 52–68.
- Young, R. (2014). Global approaches: a comparison of building energy codes in 15 countries. **ACEEE**, 4 (1), 351-366.