



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

แนวทางการเลือกใช้ชนิดของกระจกบานใหญ่ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานหรือลดผลกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารสูง กรณีศึกษาอาคารสำนักงานความสูงตั้งแต่ 25 ชั้นขึ้นไป ในเขตกรุงเทพมหานคร

Guidelines for selecting the type of curtain wall for energy conservation or reducing the impact of solar energy in high-rise buildings. A case study of an office building with a height of 25 floors or more in the Bangkok Metropolitan area.

สมัคร สุทธิพิชญ์ ยุทธนา ทองท้วม.*

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Samak Suttipui Yuttana Thongtuam.*

Faculty of Architecture, Chiangmai University Chiangmai 50200

*Corresponding author.

E-mail: yuttana.t@cmu.ac.th; Telephone: 098 742 9461

วันที่รับบทความ 10 พฤษภาคม 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 27 สิงหาคม 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 21 กันยายน 2567

วันที่ตอบรับบทความ 12 ตุลาคม 256

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อกระจกบานใหญ่ (Curtain wall) ชนิดต่างๆ ในอาคารสูงประเภทอาคารสำนักงาน โดยพิจารณาข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ออกแบบ จาก 4 บริษัทชั้นนำที่เคยออกแบบอาคารสำนักงานสูงเกินกว่า 25 ชั้น จำนวน 4 โครงการ ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยการศึกษามุ่งชี้ให้เห็นผลกระทบจากการใช้กระจกหลายประเภททั้งที่อยู่ในเกณฑ์และต่ำกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดในด้านการอนุรักษ์พลังงาน ตามเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ โดยใช้เกณฑ์ Building Energy Code (BEC)

ผู้วิจัยได้ใช้วิธีทดสอบโดยการจำลองค่าอาคารต้นแบบอนุรักษ์พลังงาน และนำค่าคุณสมบัติกระจกในประเภทเป็นทางเลือกทดสอบให้เห็นค่าประสิทธิภาพและความคุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าประสิทธิภาพและราคา เพื่อให้เจ้าของอาคารหรือผู้ออกแบบทั้งสถาปนิกและวิศวกรสามารถพิจารณากระจกที่เหมาะสมในการต้านทานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ โดยสามารถเลือกกระจกที่ประสิทธิภาพดี ในราคาที่เหมาะสมตามโครงสร้างต้นทุนค่าก่อสร้างที่เจ้าของโครงการได้วางแผนไว้แล้ว

ผลจากการวิจัยได้หลักเกณฑ์เพื่อกำหนดรูปแบบกระจก โดยการทดลองคำนวณเปรียบเทียบค่า OTTV ในโปรแกรม BEC web-base โดยอ้างอิงค่าจากการคำนวณและแสดงผลด้วยกราฟ เพื่อแสดงการเปรียบเทียบทั้งค่าการอนุรักษ์พลังงานและต้นทุนค่านั่งกระจกบานใหญ่

ผลการศึกษาจากกระจกที่ทำการทดสอบหาค่าพบว่า ค่า OTTV ในกลุ่มที่ 2 ชนิดกระจกอินซูลेट ความหนากระจกแผ่นหน้า 6 มม.+ช่องว่างอากาศระยะ 12 มม.+ความหนากระจกแผ่นหลังหนา 6 มม. มีค่าการประหยัดพลังงานดีปานกลาง และมีราคาไม่สูง และมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดเรื่องการประหยัดพลังงาน ทว่าการนำข้อมูลสรุปไปใช้ สถาปนิกหรือวิศวกรผู้ออกแบบ นอกจากพิจารณาค่าการประหยัดพลังงานและราคาแล้ว ควรจะต้องคำนึงถึงระเบียบและกฎหมายปัจจุบัน ที่มีการเพิ่มข้อกำหนดให้กระจกแผ่นนอกสุดจะต้องไม่หลุดร่วงลงมาเป็นอันตรายต่อผู้สัญจรภายนอกด้านล่างได้ ดังนั้นสถาปนิกจำเป็นต้องพิจารณากระจกตามค่าประสิทธิภาพจากกลุ่มที่ 3 (เป็นกลุ่มที่มีการติด

ฟิล์มกันรังสีที่แผ่นนอก) และเลือกชนิดที่ราคาเหมาะสมตามงบประมาณจากกลุ่มดังกล่าว เพื่อนำมาใช้ในการสรุปออกแบบให้ผ่านเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานตามที่กฎหมายกำหนด และอยู่ในกรอบงบประมาณของโครงการ

คำสำคัญ

พลังงานแสงอาทิตย์ กระฉกบานใหญ่ อาคารสูง อาคารสำนักงาน อนุรักษ์พลังงาน

Abstract

This research presents a study of the impact of solar energy on various types of large glass (curtain wall) in high-rise office buildings. The study considered data from interviews with designers from 4 leading companies that had designed 4 projects of office buildings over 25 floors in Bangkok Metropolitan. The study aims to identify the impact of using different types of glass, both within and below the legal criteria, in terms of energy conservation, according to the minimum energy efficiency standards using the Building Energy Code (BEC).

The researcher used a testing method by simulating the values of energy-saving prototype buildings and using the glass properties in the types as alternatives to test the efficiency and value when comparing the efficiency and price. This allows building owners or designers, both architects and engineers, to consider the glass that is suitable for resisting heat from solar radiation. They can select glass with good efficiency at a reasonable price according to the construction cost structure that the project owner has planned in advance.

The research results provide criteria for determining the glass type by experimenting with OTTV calculations in the BEC web base program, referring to the calculated values and displaying them in graphs to show the comparison of both energy conservation values and the cost of large glass walls.

The results of the study from the tested glass found that the OTTV value in Group 2, the insulated glass type, The thickness of the front glass panel is 6 mm. + air gap of 12 mm. + the thickness of the back glass panel is 6 mm. It has a moderate energy saving value and the cost not too high. It also meets the energy saving requirements. However, when using the summary data, architects or engineers designer, in addition to considering the energy saving value and price, should also consider the current regulations and laws that have added requirements by the outer glass panel must not fall down and be a danger to people walking outside below. Therefore, architects need to consider the curtain wall according to the efficiency value from Group 3 (the group with laminated glass on the outer panel) and select the type with a price that is appropriate for the budget from the group. This will be used to conclude the design to pass the energy conservation criteria as specified by law and within the project budget.

Keywords

solar energy; curtainwall; high-rise buildings; office buildings; energy conservation

1. บทนำ

จากการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน โดยเฉพาะธุรกิจศูนย์กลางในเขตพื้นที่ศูนย์กลางในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นศูนย์กลางการควบคุมและขับเคลื่อนธุรกิจทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากความหนาแน่นของอาคารในกรุงเทพมหานครและผู้ใช้สอยอาคารจำนวนมาก เหล่านี้ทำให้ความต้องการใช้พลังงานของอาคารเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้การใช้พลังงานรวมของประเทศในปัจจุบันอยู่ในขั้นวิกฤติ และเมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารพบว่ามีการบริโภคทรัพยากรจำนวนมาก โดยเฉพาะช่วง

ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารอันส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนตามลำดับ

นอกจากนี้อาคารสำนักงานให้เข้าก็เป็นสถานที่รวมตัวของบริษัทชั้นนำต่างๆ ซึ่งปัจจุบันมักมีข้อกำหนดหรือเกณฑ์พิจารณาเช่าอาคารที่ต้องผ่านมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในระดับต่างๆ ทั้งในระดับประเทศ (BEC และ EIA) หรือระดับนานาชาติ (LEED) เป็นต้น เหล่านี้เพื่อแสดงออกถึงความรับผิดชอบต่อปัญหาโลกร้อนซึ่งเป็นนโยบายทางสังคม (CSR) ประการหนึ่ง ด้วยเหตุดังกล่าวผู้ประกอบการที่เป็นเจ้าของอาคารให้เข้าจึงจำเป็นต้องพิจารณานำเอาหลักเกณฑ์จากสำนักรับรองมาตรฐานทางด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารมา

วางแผนให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ขั้นเริ่มพัฒนาโครงการสู่ขั้นตอนออกแบบ และก่อสร้างอาคาร หลักการสำคัญคือการเลือกใช้วัสดุอาคาร วัสดุกรอบอาคาร (Building Envelope) ที่เหมาะสม โดยต้องออกแบบและก่อสร้างตามข้อกำหนดมาตรฐานเพื่อให้ได้รับการรับรองมาตรฐาน เพื่อให้ค่าการใช้งานรวมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอนุรักษ์พลังงานที่สถาบันต่างๆ รับรอง ปัจจัยสำคัญคือการเลือกรูปแบบกระจกภายนอกอาคารให้มีประสิทธิภาพต่อการรับมือค่าความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นเหตุผลหลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ อ้างอิงประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และการรับรองผลการตรวจประเมินในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์ พลังงานแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2564 ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Building Energy Code, BEC) คือได้กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Overall Thermal transfer value; OTTV) $\leq 50 \text{ W/m}^2$ โดยจากสถิติข้อมูลอาคารที่ผ่านการประเมินแบบอาคาร BEC ที่ก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคารจำนวน 775 แบบ ในระหว่างปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2561 ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ในเกณฑ์มาตรฐานรายระบบต่างๆ พบว่า อาคารกลุ่มที่ 1 และ 3 ผ่านเกณฑ์ OTTV น้อยที่สุด จากเกณฑ์มาตรฐานรายระบบทั้งหมด

ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำของอาคารประเภทอาคารสำนักงาน

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม		ประเภทอาคาร
ไม่เกิน (W/m ²)		
(OTTV)	(RTTV)	
50	15	สถานศึกษา <u>สำนักงาน</u>
40	12	โรงแรมที่พัก ศูนย์การค้า สถานบริการ อาคารชุมนุมคน
30	10	สถานพยาบาล อาคารชุด โรงแรม

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางในการเลือกกระจกที่มีประสิทธิภาพตามกำหนดเกณฑ์มาตรฐาน

ประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Building Energy Code, BEC) สำหรับอาคารประเภทสำนักงานที่เป็นอาคารสูง ผสมกับการประเมินค่ากระจกและอลูมิเนียม Curtainwall โดยพิจารณา ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) เป็นหลักสำคัญในการพิจารณา สำหรับอาคารสูงประเภทอาคารสำนักงานตามกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 ได้กำหนดให้การก่อสร้างอาคาร 9 ประเภท (3 กลุ่มอาคาร) ให้มีการออกแบบอาคารให้เป็นไปตามมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ตามกฎกระทรวงนี้ โดยมีหลักการแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการใช้งานอาคารสำนักงานซึ่งอยู่ในอาคารกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีการใช้งานอาคาร 8 ชั่วโมงต่อวัน

2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ประกอบด้วยดัชนีแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคาร (ครอบคลุมทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสง) ที่เป็นผลต่อภาระการปรับอากาศของอาคารโดยใช้สมการที่ (1) ในการประเมินค่าตามสูตรการคำนวณคือ

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

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา หน่วย W/m^2

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ หน่วย $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

WWR คือ อัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของด้านที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Temperature Difference Equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก หน่วย $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

$SHGC$ คือ สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์บังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบแสง W/m^2

ชื่อโครงการ : ONE BANGKOK

ออกแบบโดย : บริษัท สถาปนิก 49 จำกัด

กระจกอาคาร : ระบบ Unitized – 4 sided

กระจกในส่วน Vision : Laminated + Insulated glass

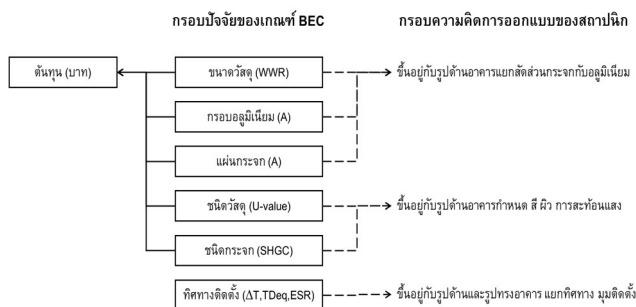
กระจกในส่วน Spandrel : Laminated glass+Insulation

รูปแบบโครงการ : Mixed used Project



รูปที่ 2 โครงการ ONE BANGKOK (พิจารณาแสง ทั้ง 8 ทิศทาง)

3. วิธีการศึกษา



รูปที่ 1 ผังแสดงการพิจารณากรอบปัจจัยตามเกณฑ์ BEC

วิธีการศึกษา ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับในเรื่องที่ศึกษานี้ได้ ได้สัมภาษณ์กระบวนการออกแบบผนังกระจกและกรอบอลูมิเนียมของสถาปนิกที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร โดยปัจจัยในการพิจารณาทางเลือกวัสดุ กระจกที่ส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อนในอาคาร ได้แก่ กฎหมายและกฎเกณฑ์ในการออกแบบผนังกระจกและกรอบอลูมิเนียม ที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน เรื่องการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code, BEC) เพื่อเปรียบเทียบกับราคากระจกทั้งชุดในหน่วยต่อตารางเมตร เพื่อทดสอบด้วยการคำนวณความคุ้มค่าจากการเลือกใช้ผนังกระจกและกรอบอลูมิเนียมดังกล่าว โดยได้มีการนำตัวอย่างโครงการอาคารสูงจาก 4 บริษัทผู้ออกแบบ โดยการสัมภาษณ์ดังนี้

3.1 กลุ่มตัวอย่างอาคารสูงประเภทอาคารสำนักงานในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครที่มีความสูงเกิน 25 ชั้น

กรณีศึกษาที่ 1 : อาคารสูง ประเภทอาคาร สำนักงาน



รูปที่ 3 โครงการ ONE BANGKOK (พิจารณาแสง ทั้ง 8 ทิศทาง)

กรณีศึกษาที่ 2 : อาคารสูง ประเภทอาคาร สำนักงาน

ชื่อโครงการ : SINGHA COMPLEX

ออกแบบโดย : บริษัท ดีไซน์ 103อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

กระจกอาคาร : ระบบ Unitized – 4 sided

กระจกในส่วน Vision : laminated + Insulated glass

กระจกในส่วน Spandrel : laminated glass+insulation

รูปแบบโครงการ : Mixed used Project



รูปที่ 4 โครงการ SINGHA COMPLEX (พิจารณาแสง ทั้ง 8 ทิศทาง)



รูปที่ 5 โครงการ SINGHA COMPLEX (พิจารณาแสง ทั้ง 8 ทิศทาง)

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารสูง ประเภทอาคาร สำนักงาน

ชื่อโครงการ : 140 Wireless

ออกแบบโดย บริษัท บริษัท แพลน อาร์คิเท็ค จำกัด

กระจกอาคาร : ระบบ Unitized – 2 sided

กระจกในส่วน Vision : laminated + Insulated glass

กระจกในส่วน Spandrel : laminated glass+insulation



รูปที่ 6 โครงการ 140 WIRELESS (พิจารณาแสง ทั้ง 8 ทิศทาง)

กรณีศึกษาที่ 4 : อาคารสูง ประเภทอาคาร สำนักงาน

ชื่อโครงการ : SUMMIT TOWER

ออกแบบโดย : บริษัท สถาปนิก 49 จำกัด

บริษัทผู้รับเหมา FAÇADE : บริษัท ปีเตอร์สัน 1990 จำกัด

กระจกอาคาร : ระบบ Unitized – 2 sided

กระจกในส่วน Vision : laminated + Insulated glass

กระจกในส่วน Spandrel : laminated glass+insulation



รูปที่ 7 โครงการ SUMMIT TOWER (พิจารณาแสง ทั้ง 8 ทิศทาง)



รูปที่ 8 โครงการ SUMMIT TOWER (พิจารณาแสง ทั้ง 8 ทิศทาง)

จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 อาคาร เป็นอาคารสูงที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชั้นในของกรุงเทพมหานคร มีอาคารสูงข้างเคียงจำนวนมาก ในการออกแบบสถาปนิกจำเป็นต้องพิจารณาค่าคุณสมบัติของกระจกทั้งในด้านการประหยัดพลังงาน รวมถึงการลดภาระความร้อนเข้าสู่อาคารเพื่อช่วยให้อาคารสูญเสียพลังงานจากค่าไฟฟ้า เพื่อปรับอากาศให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงค่าคุณสมบัติอื่นๆ ของกระจกเช่นค่าการสะท้อนแสงของกระจกสู่ภายนอกซึ่งกระทบต่อผู้ใช้อาคารข้างเคียงหรือผู้สัญจรรอบอาคาร การเลือกกระจกให้สามารถรับภาระความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ รวมทั้งการลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ การวิจัยนี้ได้แสดงแนวทางที่สถาปนิกสามารถนำไปเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมในด้านประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน

โดยการพิจารณาอาคารสำนักงานทั้ง 4 อาคาร และใช้ระบบกระจกเหมือนกันทั้งหมด คือ Unitized System สรุปข้อมูลการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 บริษัท มีขั้นตอนการออกแบบผนังกระจกบานสูง (curtain wall) สรุปดังนี้

1. ตรวจสอบเช็คแบบโครงสร้างและค่าระยะคอนกรีต โครงสร้างต่างๆ หน่วยงานว่าตรงกันหรือมีการแก้ไขใดๆ จากแบบก่อสร้างหรือไม่

2. ตรวจสอบข้อมูลความสูงอาคารสำนักงานระดับพื้นถึงพื้นในชั้นถัดไป ซึ่งความสูงบานกระจกที่นิยมออกแบบ คือ 3.6 ม. / 3.9 ม. / 4.2 ม. / 4.5 ม. / 5.0 ม. / 6.0 ม.

3. กำหนดความกว้างของแผงกระจก 1.5 ม. / 1.6 ม. / 1.7 ม. / 1.8 ม. และ 1.9 ม. / 2.0 ม.

4. พิจารณาค่า Wind Load หรือ ทดสอบอุโมงค์ลม เพื่อดูค่าลมดูด และแรงดันลม ตามค่ากำหนดของกรุงเทพมหานคร ตามพร.อาคาร หมวดเกี่ยวกับกระจก ปี พ.ศ.2522, 2535, 2543, 2550, 2558

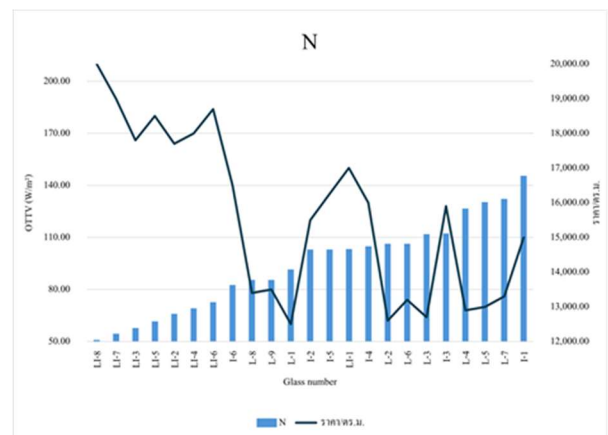
5. จากนั้นนำค่าตามข้อ 4 ไปคำนวณเพื่อยืนยันเลือกชนิดความหนากระจกและอลูมิเนียม

6. เลือกชนิดกระจก เพื่อนำตัวแปรทดสอบค่า OTTV ในโปรแกรม BEC (ดังแสดงในรูปที่ 9 - รูปที่ 16)

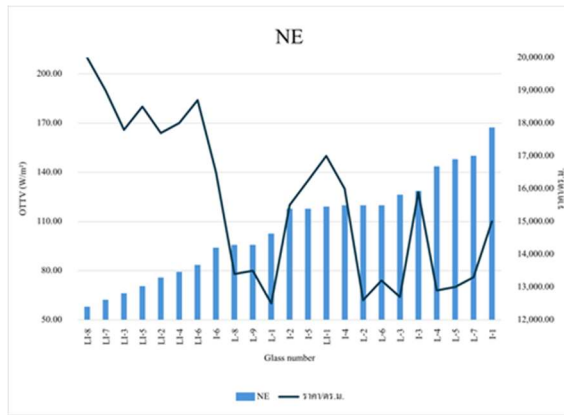
7. กระจกส่วน Vision ใช้ Insulated Glass คือ [นอก 6 มม.+6 มม.สามารถเคลือบ Low E ที่ผิวที่ 4] [I กลาง Airgap หรือ Argon gas 12 มม.] [I ใน 6 มม.หรือ 8 มม.]

8. เลือกขนาดหน้าต่างตัดเสาอลูมิเนียม ตัวตั้งโครงอลูมิเนียม ที่นิยมใช้ปัจจุบัน ความกว้าง / 80 / 84 / 85 / 90 / 100 / 110 / มม. ความยาว / 150 / 160 / 170 / 180 / 190 / 200 / 210... 300 มม.

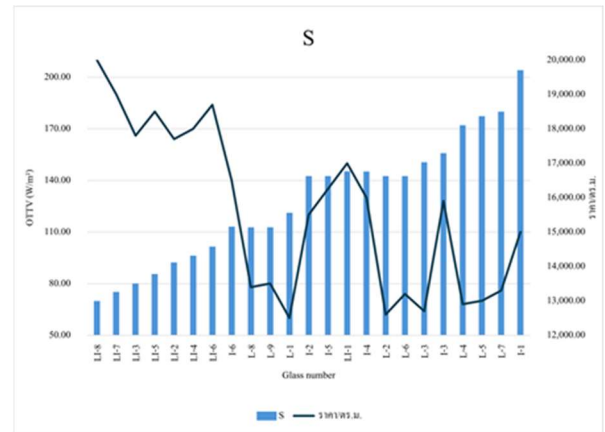
9. กระจกส่วน Spandrel ส่วนที่ขอบพื้น แผงด้านใน ตรงกลางเป็นฉนวนกันความร้อนไม่ให้ไปสู่โครงสร้างพื้นอาคาร ส่วนอลูมิเนียมมีหน้าที่ยึดกระจก / ระบายน้ำออก / ป้องกันไม่ให้อากาศไหลเข้าออก โดยการออกแบบใช้อลูมิเนียม ความหนา 3 มม.



รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก ด้านทิศเหนือ



รูปที่ 10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



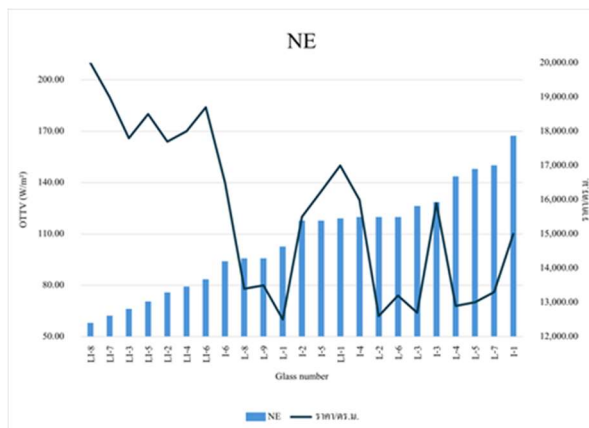
รูปที่ 13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก ด้านทิศใต้



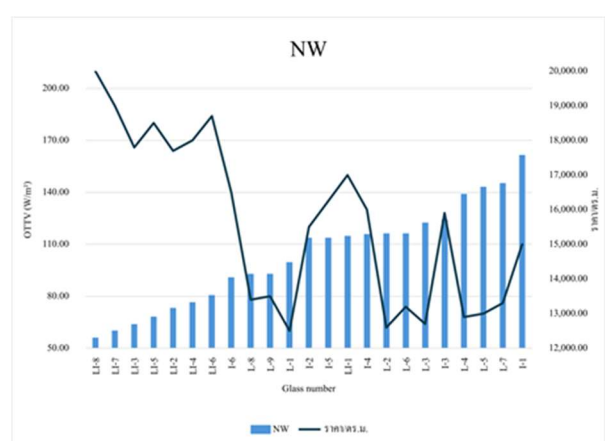
รูปที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้



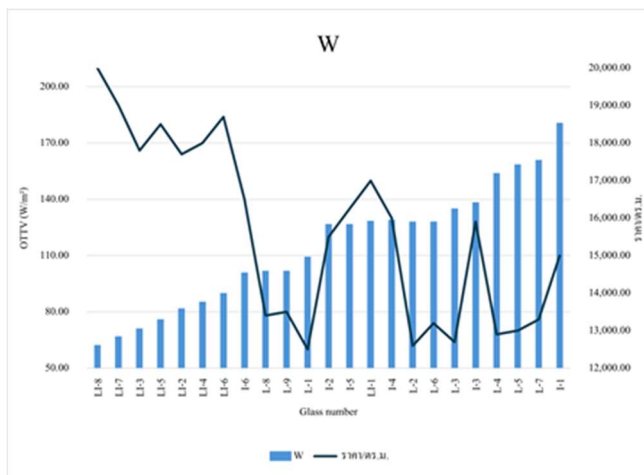
รูปที่ 14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก ด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก ด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



รูปที่ 16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก ด้านทิศตะวันตก

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลอ้างอิงจาก บริษัทผู้ผลิตภัณฑ์กระจก Thai Asahi ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จัดจำหน่ายในประเทศไทยเป็นค่าคุณสมบัติกระจกมาประกอบการพิจารณาค่าประสิทธิภาพเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับราคากระจกแต่ละชนิด

4. ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์พบว่า การนำชนิดของกระจก 3 กลุ่ม และราคาของกระจกแต่ละชนิดนำมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบค่า OTTV การประหยัดพลังงานและราคาพบว่าในแต่ละทิศสามารถสรุป (ดังแสดงในรูปที่ 20) ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ร้อนน้อยมาก 5 ราคาสูง / ร้อนน้อย 4 ราคาสูง

กลุ่มที่ 2 ร้อนปานกลาง 3 ราคาปานกลาง / ร้อนปานกลาง 3 ราคาต่ำ

กลุ่มที่ 3 ร้อนมาก 2 ราคาปานกลาง / ร้อนมาก 2 ราคาต่ำ

กลุ่มที่ 4 ร้อนมากที่สุด 1 ราคาต่ำ / ร้อนมากที่สุด 1 ราคาปานกลาง

โดยการพิจารณานำชนิดและค่ากระจกมาทดสอบ 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ชนิด Laminare Glass ราคาประมาณ 12,500-13,500 B./sqm

SolarTAG Plus CS120 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm
SolarTAG Plus CS130 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm
SolarTAG Plus CS140 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm
SolarTAG Plus CS148 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm
SolarTAG Plus CS150 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm
SolarTAG Plus PS135 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm
SolarTAG Plus PS155 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm
HS SolarTAG Plus CS214 6mm + PVB1.52mm + HS Clear 6mm
HS SolarTAG Plus CS514 6mm + PVB1.52mm + HS Clear 6mm

Glass Type	Thickness (mm)	Light Properties (T% (30°/0°), 40°/0°)	Energy Properties (E% (30°/0°), 40°/0°)	SG	SHGC	U-Value (W/m²·K)	Rg (W/m²·K)	Heat Block (%)	UVT (%)	STC (dB)
SolarTAG Plus CS120 6mm + PVB0.38mm + Clear 6mm	8.38	22.7 27.6	22.5 18.2	23.6 18.2	0.42 0.37	5.14	306	63	0	34
SolarTAG Plus CS130 6mm + PVB0.38mm + Clear 6mm	8.38	33.8 19.7	18.6 27.2	18.6 16.1	0.52 0.48	5.14	309	55	0	34
SolarTAG Plus CS140 6mm + PVB0.38mm + Clear 6mm	8.38	38.5 17.5	14.2 31.2	14.6 14.5	0.56 0.48	5.14	304	52	0	34
SolarTAG Plus CS148 6mm + PVB0.38mm + Clear 6mm	8.38	52.5 14.7	10.5 42.8	11.5 45.7	0.66 0.57	5.14	457	43	0	34
SolarTAG Plus CS150 6mm + PVB0.38mm + Clear 6mm	8.38	52.0 14.5	12.9 40.9	11.4 41.7	0.59 0.50	5.14	475	40	0	34
SolarTAG Plus PS135 6mm + PVB0.38mm + Clear 6mm	8.38	36.6 22.4	18.7 30.0	18.6 17.4	0.53 0.48	5.14	375	54	0	34
SolarTAG Plus PS155 6mm + PVB0.38mm + Clear 6mm	8.38	38.5 19.7	18.1 49.4	11.8 38.8	0.71 0.61	5.14	488	39	0	34
SolarTAG Plus CS120 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm	12.76	22.2 27.1	22.1 18.0	21.8 18.2	0.42 0.36	4.99	305	64	0	36
SolarTAG Plus CS130 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm	12.76	33.0 19.3	15.3 24.0	15.5 16.5	0.50 0.44	4.99	305	56	0	36
SolarTAG Plus CS140 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm	12.76	37.6 17.2	13.9 27.7	13.6 16.7	0.54 0.47	4.99	300	53	0	36
SolarTAG Plus CS148 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm	12.76	51.3 14.5	10.3 38.2	10.8 51.0	0.63 0.55	4.99	437	45	0	36
SolarTAG Plus CS150 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm	12.76	51.7 14.2	12.7 41.2	10.7 48.1	0.65 0.57	4.99	449	43	0	36
SolarTAG Plus PS135 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm	12.76	36.7 22.9	18.6 29.3	17.3 16.4	0.51 0.44	4.99	301	56	0	36
SolarTAG Plus PS155 6mm + PVB0.76mm + Clear 6mm	12.76	37.1 15.4	9.9 43.5	11.1 45.3	0.67 0.58	4.99	482	42	0	36
HS SolarTAG Plus CS214 6mm + PVB1.52mm + HS Clear 6mm	13.52	12.1 25.2	28.2 6.3	14.0 79.7	0.38 0.33	4.90	279	67	0	37
HS SolarTAG Plus CS514 6mm + PVB1.52mm + HS Clear 6mm	13.52	9.5 17.2	28.2 6.0	12.5 81.5	0.38 0.33	4.90	279	67	0	37

รูปที่ 17 กระจกกลุ่มที่ 1 ชนิด Laminare Glass ของ AGC

กลุ่มที่ 2 กระจกอินซูลेट รูปแบบ 6 มม.+12 มม.+6 มม.

ชนิด Insulated Glass ราคาประมาณ 15,500-16,500B./sqm

Clear 6mm + Air 12mm + Clear 6mm
Ocean Green 6mm + Air 12mm + Clear 6mm
Euro Bronze 6mm + Air 12mm + Clear 6mm
Euro Grey 6mm + Air 12mm + Clear 6mm
Sky Blue 6mm + Air 12mm + Clear 6mm
Energy Green 6mm + Air 12mm + Clear 6mm

Glass Type	Thickness (mm)	Light Properties (T% (30°/0°), 40°/0°)	Energy Properties (E% (30°/0°), 40°/0°)	SG	SHGC	U-Value (W/m²·K)	Rg (W/m²·K)	Heat Block (%)	UVT (%)	STC (dB)
Clear 6mm + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	78.4 14.5	14.5 61.8	11.8 26.4	0.82 0.71	2.94	539	29	42	31
Ocean Green 6mm + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	65.0 11.5	13.7 38.9	7.8 55.4	0.95 0.48	2.94	369	32	20	31
Euro Bronze 6mm + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	45.3 7.6	12.4 41.4	7.5 51.0	0.81 0.53	2.94	407	47	15	31
Euro Grey 6mm + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	38.9 7.0	12.4 38.4	6.9 56.6	0.96 0.49	2.94	376	51	16	31
Sky Blue 6mm + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	51.2 8.8	12.8 35.7	6.9 57.4	0.95 0.48	2.94	369	52	23	31
Energy Green 6mm + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	53.4 9.1	12.8 24.2	5.9 68.8	0.42 0.37	2.94	287	63	11	31

รูปที่ 18 กระจกกลุ่มที่ 2 ชนิด Insulated Glass ของ AGC

กลุ่มที่ 3 กระจกอินซูเลต รูปแบบ กระจกลามิเนตหนา 6 มม.
(จำนวน 2 แผ่นประกบกัน ราคาประมาณ 17,500-20,000 B /sqm)

Clear Low-E 101S 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm
Stopray Smart 51 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm
Stopray Vision 50 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm
Stopray Vision 60 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm
HS Stopray Vision 50T 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm
HS Stopray Vision 60T 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm
HS Stopray Ace 38T 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm
HS Stopray Ace 40T 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm

Glass Type	Thickness (mm)	Light Properties (1% (400nm) 100% (700nm))	Energy Properties (1% (400nm) 100% (700nm))	SG	SHG	U-Value (W/m ² K)	R _g (W/m ² K)	Heat Block (%)	DVT (%)	STC (dB)
Clear Low-E 101S 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	69.5 17.9 15.1	43.2 24.1 32.7	0.85	0.51	1.80	380	49	25	31
Stopray Smart 51 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	49.7 25.4 17.2	25.8 32.7 41.5	0.36	0.32	1.63	242	68	20	31
Stopray Vision 50 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	48.8 19.7 21.8	22.1 35.4 42.5	0.31	0.27	1.58	210	73	4	31
Stopray Vision 60 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	59.6 15.3 17.7	27.5 34.0 38.5	0.38	0.33	1.61	249	67	9	31
HS Stopray Vision 50T 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	48.8 17.3 21.0	23.7 35.7 40.8	0.33	0.29	1.60	221	71	8	31
HS Stopray Vision 60T 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	58.5 14.5 19.7	29.5 30.8 39.8	0.40	0.35	1.59	267	65	14	31
HS Stopray Ace 38T 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	39.1 14.9 13.1	18.7 23.8 57.5	0.29	0.25	1.66	196	75	21	31
HS Stopray Ace 40T 6mm #2 + Air 12mm + Clear 6mm	24.00	39.5 15.8 11.7	17.0 25.0 58.0	0.27	0.23	1.67	183	77	14	31

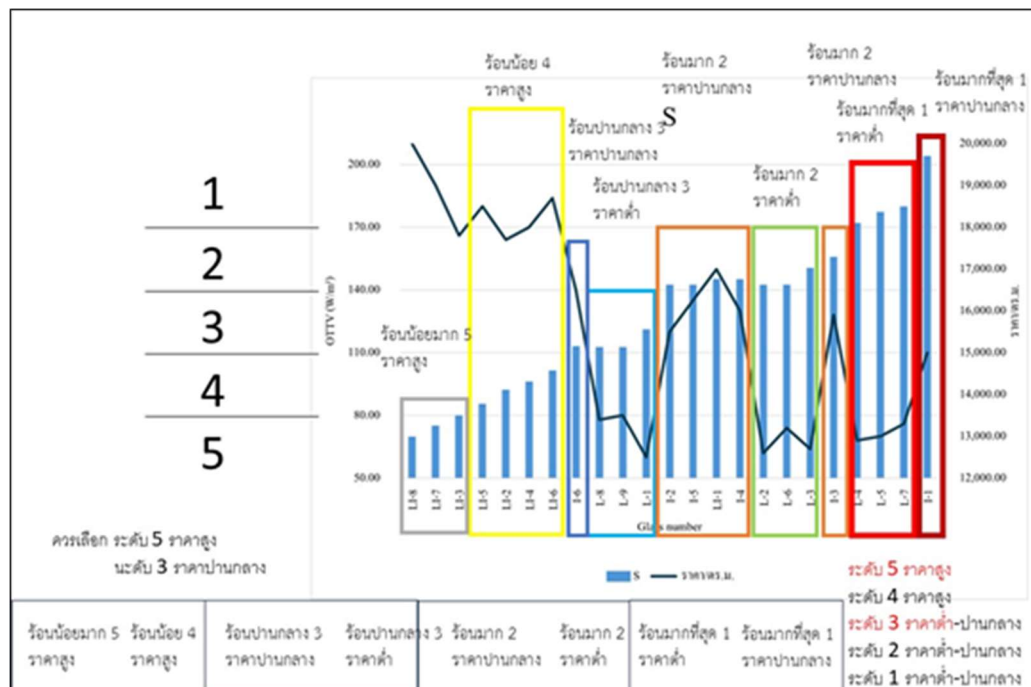
รูปที่ 19 กระจกกลุ่มที่ 3 ชนิด Insulated Glass ของ AGC

กระจกที่ทำการหาค่า OTTV ในกลุ่มที่ 3 ชนิดกระจกอินซูเลตรูปแบบ แผ่นหน้าสุดกระจกลามิเนต ความหนา 6 มม. จำนวน 2 แผ่นประกบกัน + ช่องว่าง 12 มม.+ กระจกหนา 6 มม. มีค่าการประหยัดพลังงานดีที่สุดในกลุ่ม แต่มีราคาสูงที่สุด

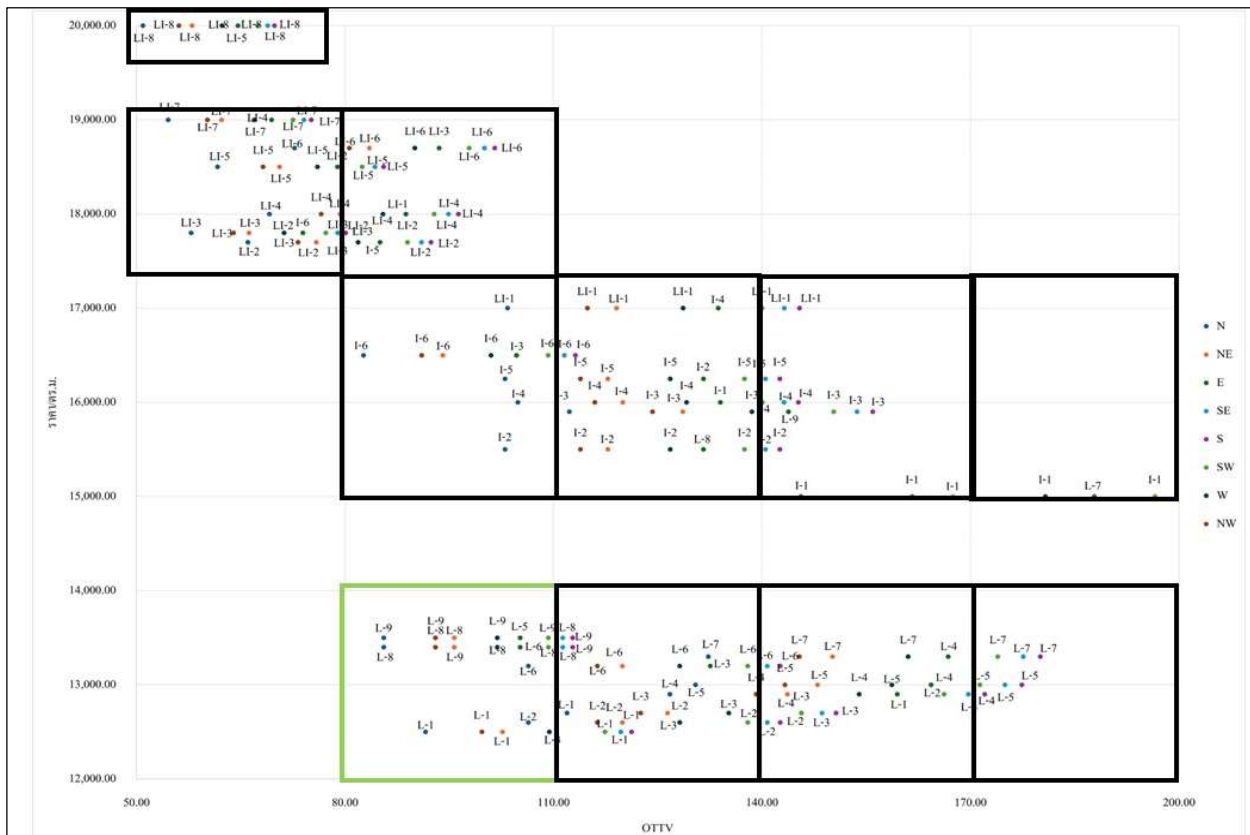
กระจกที่ทำการทดสอบ ผลของค่า OTTV ในกลุ่มที่ 2 ชนิดกระจกอินซูเลต ความหนา 6 มม.+12 มม.+6 มม. มีค่าการประหยัดพลังงานดีปานกลาง แต่มีราคาไม่แพงเกินไป และมีคุณสมบัติเพียงพอตามข้อกำหนดเรื่องประหยัดพลังงาน

ค่า OTTV ของกระจกดังแสดงข้อมูล ในกลุ่มที่ 1 ชนิดกระจกลามิเนต ความหนา 6 มม.+6 มม. มีค่าการประหยัดพลังงานต่ำ แม้ราคาไม่สูง แต่คุณสมบัติไม่เพียงพอตามข้อกำหนดเรื่องประหยัดพลังงาน

กระจกที่ทำการทดสอบ ของกระจกแต่ละชนิด เทียบกับราคา สามารถจัดกลุ่มได้ดังภาพ สิ่งที่พึงระวังในการนำไปใช้นอกจากการพิจารณาค่าการประหยัดพลังงานและราคาแล้ว จะต้องคำนึงถึงกฎหมายปัจจุบัน ที่ได้มีการกำหนดให้กระจกแผ่นนอกสุดจะต้องไม่หลุดร่วงลงมาเป็นอันตรายต่อผู้อยู่ด้านล่างได้ ดังนั้นสถาปนิกจำเป็นต้องพิจารณากระจกชนิดที่ 3 เนื่องจากเป็นกลุ่มเดียวที่อยู่ในเกณฑ์ตามกฎหมายปัจจุบันที่จะต้องประกบด้วยกระจกลามิเนตด้านนอกสุดก่อนจะมาประกอบกระจกอินซูเลต และผู้ออกแบบพิจารณาเลือกที่ราคาถูกที่สุดในกลุ่มเพื่อนำไปใช้



รูปที่ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ สรุปลักษณะราคาผนังกระจกบานสูง เมื่อเรียงค่า OTTV ของผนังกระจกแต่ละชนิดจากน้อยไปหามาก



รูปที่ 21 กราฟแบบจุด แสดงค่า 8 ทิศทาง จากการคำนวณค่า OTTV

5. อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาผลกระทบความร้อนจากแสงอาทิตย์ต่อกระจกผืนใหญ่ของอาคารสูงประเภทอาคารสำนักงาน ผู้วิจัยได้ศึกษาค่าประสิทธิภาพของกระจก ที่ใช้ในอาคารสูงในประเทศไทย โดยแบ่งกระจกเป็น 3 กลุ่มตามรายละเอียดวัสดุกำหนด

การศึกษาได้พิจารณาค่าคุณสมบัติของกระจกแต่ละชนิด โดยพิจารณาควบคู่กับระดับราคาต่อตารางเมตร โดยเมื่อนำค่าคุณสมบัติของกระจกดังกล่าวมาคำนวณหาค่า OTTV แล้วในทุกทิศทาง ก็นำมาจัดเรียงลำดับเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ด้านการอนุรักษ์พลังงาน และ ต้นทุนกระจกไปพร้อมกัน

ปัจจัยทางด้านกฎหมาย กฎกระทรวงกำหนดวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารประเภทควบคุมการใช้ พ.ศ. 2566 มาตรฐานอุตสาหกรรม ตามประกาศราชกฤษฎีกา เรื่องความปลอดภัยต่อผู้สัญจรนอกอาคาร ส่งผลทำให้กระจกที่ใช้กับอาคารที่สูง เป็นเหตุให้ผู้ออกแบบและเจ้าของอาคารถูกจำกัดทางเลือกการใช้กระจกได้เพียงกลุ่มที่ 3 ซึ่งเป็นการรวมกันของกระจกลามิเนตและกระจกอินซูลेट ส่งผลโดยตรงต่อทางเลือก

ราคาสำหรับสถาปนิกค่อนข้างจำกัด ข้อมูลจากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างพบว่าเจ้าของโครงการจำนวนมากหันไปพิจารณากระจกนำเข้าจากประเทศจีนเพื่อให้ราคาระงจยยังสามารถควบคุมให้อยู่ตามกรอบงบประมาณโครงการ และปลอดภัย

อย่างไรก็ตาม แนวทางการวิเคราะห์กระจก โดยการนำค่าคุณสมบัติของกระจกมาวิเคราะห์ ดังที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในการวิจัยครั้งนี้ ผู้สนใจสามารถนำไปศึกษาเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้กระจกแต่ละประเภทได้อย่างเหมาะสม ในด้านการอนุรักษ์พลังงานและประหยัดต้นทุน

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหางานวิจัยฉบับนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท สถาปนิก 49 จำกัด, บริษัท ดีไซน์ 103อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, บริษัท บริษัท แพลน อาร์คิเท็ค จำกัด และ บริษัท ปีเตอร์สัน 1990 จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย รวมทั้งหน่วยงานที่ในการสำรวจและการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน; *Bec web-based. Ministry of energy*. Available from: <https://bec.energy.in.th/dashboard#> [Accessed 16th October 2020].
- [2] Button D, Pye B. *Glass in Building*. Jordan Hill. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1993.
- [3] Fanger PO. Calculation of thermal comfort, Introduction of a basic comfort equation. *ASHRA Transactions*.; 1967.
- [4] German International Cooperation. *แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน ประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม*; 2016. Available from: <https://www.thai-german-cooperation.info/th/giz-eppo-launched-an-architectural-guidebook-for-high-energy-efficient-building-design/> [Accessed 15th November 2020].
- [5] Givoni B. *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. New York: Van Nostrand Reinhold.; 1994.
- [6] Gupta MY. Carbon credit. A step towards green environment. *Global Journal of Management and Business Research*. 2011. p11(5).
- [7] Taleb H, Ahmad H. *Simulation Study of Active Shading System*. Available from: https://www.academia.edu/38900516/Simulation_Study_of_Active_Shading_System_In_Residential_Building_In_UAE. [Accessed 15th October 2021].
- [8] Sacht HM, Bragança L, Almeida MG. *Facades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings*. Available from: www.irbnet.de/daten/iconda/CIB17378.pdf [Accessed 11th September 2021].
- [9] Wurm J. *Glass Structures Design and Construction of Self-Supporting Skins*, Available from: https://books.google.co.th/books?id=DLmaaA1Jq8C&printsec=frontcover&hl=th&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [Accessed 7th October 2021].
- [10] Liu Y, Yu F, Su S, Lam H. *A Cost- Benefit Evaluation Server for decision support in e-business*. Available from: <http://www.efsa.unsa.ba/-nijazbajgoric/dst/dss2.pdf> [Accessed 12th June 2021].
- [11] Lyson P. & Hockings B. *Technical manual home*. Retrieved June 5, 2009. Available from: <http://www.yourhome.gov.au/technical/pubs/fs410.pdf> [Accessed 8th March 2021].
- [12] Moore F. *Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting*. New York: Mc Graw-Hill; 2008.
- [13] O' Leary C. *Thermal Comfort*. Berkeley: University of California, Berkeley. Available from: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien326.pdf>. [Accessed 22th June 2021].
- [14] Onestockhome co., ltd. Available from: <https://www.onestockhome.com/th> [Accessed 15th October 2020]
- [15] Pongyen N, Waroonkun T. Design guidelines for improving outpatient building of a community hospital in order to increase satisfaction. *Journal of Environmental Design*. 2014;1(2):49-80.
- [16] Ridthplake S, Boonkham W. Greenhouse gasses (carbon dioxide gas) assessment from municipal solid waste management system in ban-yang, buriram province. *Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College*. 2020;7(1):29-37.
- [17] Sharma A, Saxena A, Sethi M, Shree V. Life cycle assessment of buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(1):871-875.
- [18] Surachotivet T. Analysis life cycle energy of building construction: a case study multi-purpose building of silpakorn university, graduate school. *Bangkok, Thailand: Silpakorn University*; 2018.
- [19] Tuhus -Dubrow D, Krarti M. Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope

- design for residential buildings. *Building and environment*. 2010;45(7):15,74-81.
- [20] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ค่าไฟฟ้า FT. 2552. Available from: <http://www.egat.co.th/ft/ft-stat5.html> [Accessed 21th May 2021].
- [21] การุณย์ ศุภมิตรโยธิน. การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น [วิทยานิพนธ์]. ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
- [22] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code, BEC). 2564 Available from: <http://new.2e-building.com/sites/default/files/2019-08/18%20เอกสารอบรม%20BEC.Pdf> [Accessed 5th July 2021].
- [23] ดารณี จาริมิตร. แนวทางการออกแบบและจัดอาคารสำนักงานเพื่อป้องกันโรคติดต่อทางอากาศ. [วิทยานิพนธ์]. ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2548.
- [24] บุรพล แจ่งสว่าง. แนวทางการกำหนดมาตรฐานการใช้แสงธรรมชาติในอาคารสำนักงาน. [วิทยานิพนธ์]. ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2548.
- [25] ปวีณา แซ่ตั้ง. การศึกษาและประเมินการปรับปรุงเปลือกอาคารอาคารเพื่อการปรับเปลี่ยนสภาพลักษณะขององค์กร. [วิทยานิพนธ์]. ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2549.
- [26] ชนิกันต์ ยิ้มประยูร. แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำหรับประเทศไทย 2564. Available from: https://www.arch.chula.ac.th/ejournal/files/article/108_20160106153647_PB.pdf. [Accessed 14th August 2021].
- [27] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม; 2552.
- [28] พุทธิพันธ์ สวัสดิ์รัตนธรร. การพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์ประเมินการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน [วิทยานิพนธ์]. ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2550.
- [29] ราชกิจจานุเบกษา. กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563. Available from: <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files.กฎกระทรวงกำหนดประเภทขนาดอาคาร>. [Accessed 10th July 2021].
- [30] วรุฒิ ศิริรัชฎะ. การศึกษาด้านแบบช่องเปิดสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น[วิทยานิพนธ์]. มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550.
- [31] สุมาลิ จินดาพล. แนวทางการออกแบบช่องเปิดเพื่อได้รับความร้อนและแสงธรรมชาติอย่างเหมาะสมในอาคารสำนักงาน [วิทยานิพนธ์]. ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [32] อรรถน ศรีธรรมาบุตร. บทความประกอบ การบรรยายเรื่อง อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer). คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.