

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังกระจกสองชั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
ในการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา : อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

THE STUDY OF DOUBLE-GLAZING WINDOW RENOVATION FOR ENERGY EFFICIENCY.
CASE STUDY : EDUCATION BUILDING A1 OF BANGKOK UNIVERSITY.



การศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังกระจกสองชั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
ในการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา : อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

THE STUDY OF DOUBLE-GLAZING WINDOW RENOVATION FOR ENERGY EFFICIENCY.
CASE STUDY : EDUCATION BUILDING A1 OF BANGKOK UNIVERSITY.



วรัญญา มรรคนันท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยกรุงเทพ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เรื่อง การศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังกระจกสองชั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์
พลังงาน กรณีศึกษา : อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ผู้วิจัย วรัญญา มรรคนันท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพร มูรพันธ์

กรรมการสอบ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

ดร.ภฤศมน คำมะสอน

กรรมการสอบ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

ดร.ภิรมย์ แจ่มใส

กรรมการสอบ
(อาจารย์ประจำหลักสูตร)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสิต ถีนีวา

วรัญญา มรรคนันท์. ปริญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน, พุทธศักราช 2565, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังกระจกสองชั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงาน

กรณีศึกษา : อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (210 หน้า)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ดร. ภฤศมน คำมะสอน

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศที่เป็นเขตร้อนชื้น และมีอุณหภูมิที่สูงเกือบตลอดทั้งปี ส่งผลให้มีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทั้งในระบบทำความเย็นปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง ซึ่งความร้อนจะเข้าสู่อาคารได้โดย ผ่านทางหลังคา และผ่านหน้าต่าง ผนัง หรือกำแพง โดยความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด เช่น ช่องหน้าต่างกระจกจะมากที่สุดถึงสองเท่า เมื่อเทียบกับความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหลังคาในปริมาณต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เท่ากัน ดังนั้น การลดความร้อนที่ผ่านผนังกระจกจึงเป็นเรื่องสำคัญ ที่จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ ซึ่งผู้วิจัยเลือกอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ซึ่งเป็นอาคารขนาดใหญ่มีพื้นที่มากกว่า 2,000 ตารางเมตร และกรอบอาคารมีผนังโปร่งแสงเป็นส่วนประกอบของอาคาร เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคาร โดยมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงผนังโปร่งแสง เพื่อให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2563 และมีความเหมาะสม มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อีกด้วย

ในการทดลองผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) V.1.0.6 ของกระทรวงพลังงาน ในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเทียบเกณฑ์มาตรฐานตามกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 โดยอาคารกรณีศึกษาปัจจุบันใช้กระจกลามิเนต ชนิด Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass รุ่น Clear 4 mm. (4-0.38-4) โดยที่มีค่า U-value (ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน) 5.62 watt/m^2 และค่า SHGC (ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์) 0.77 ส่วนกระจกที่เลือกนำมาทำการทดลองเป็นกระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะในการใช้กับอาคารขนาดใหญ่เท่านั้น จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ กระจกลามิเนต Solar TAG Plus CS120 (ไม่มี Air Gap) , กระจกลามิเนต Solar TAG Plus CS130 (Air Gap 12 mm.), กระจกลามิเนต Stopray Smart51 (ไม่มี Air Gap), กระจกลามิเนต-อินซูลเลท Stopray Vision50 (Air Gap 12 mm.) และกระจกลามิเนต-อินซูลเลท Stopray ACE30T (Air Gap 12 mm.) ซึ่งพิจารณาจากชนิดกระจกที่มีค่า U-value ต่ำ, ค่า SHGC ต่ำ และ

กระจกที่มีและไม่มีช่องว่างระหว่างกระจก (Air Gap) โดยใส่ค่าเฉพาะของกระจกแต่ละชนิดลงในโปรแกรม

จากการศึกษาพบว่า กระจกสองชั้นที่มีค่า U-Value ต่ำ, ค่า SHGC ต่ำ และมี Air Gap ที่เหมาะสม ช่วยให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารที่ลดลง มีอัตราการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารลดลง ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าต่อปีลดลงประมาณ 6-7% ทั้งนี้งานวิจัยจัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้กระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูง ในการอนุรักษ์พลังงานและมีความเหมาะสมกับอาคาร รวมถึงมีการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อให้เกิดทางเลือกที่เหมาะสมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

คำสำคัญ: กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูง, การส่งผ่านความร้อน, ประหยัดพลังงานไฟฟ้า, ปรับปรุงอาคาร, การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์



Mukkanun, V. Master of Architecture (Interior Architecture), November 2022,
Graduate School, Bangkok University.
The Study of Double-Glazing Window Renovation for Energy Efficiency. Case Study :
Education Building A1 of Bangkok University (210 pp.)
Thesis Advisor: Prudsamon Kammasorn, Ph.D.

ABSTRACT

Thailand is located in a tropical weather zone where temperature is anticipated to be high throughout the year. Therefore air conditioning and lighting systems will highly lightly consume more electrical power to maintain building temperature because of heat energy constantly transferring itself from outside via roofs, windows, and/or walls to building insides. When comparing the heat transferring, 1 unit of heat transferred through opened windows is measured twice when compared to 1 unit of heat transferred through roofs, given the equal calculated area. Therefore, to decrease the amount of heat that passes through windows and glass walls is one of the solutions to minimise electrical power consumption. Researcher decided to research “Education Building A1” as a main object in this project, which is considered as large construction with most of walls made from penetrative glasses, along with around 2,000 m² of area and the frame of the building has transparent walls as a component of the building to find a way to improve the frame of the building by focusing on improving translucent walls In order to have the total heat transfer value of the building frame through the criteria according to the ministerial regulations specifying the type or the size of the building and the standards, criteria and methods for designing buildings for energy conservation B.E. It is economically worthwhile as well.

In the experimental processes, Building Energy Code (BEC) V.1.0.6 (of ministry of Energy) is used as main calculated program to speculated the amount of heat transferred which use Standard for energy efficiency or standard for energy conservation for new buildings (1982 B.C.) as framework in experimenting so. In the base case, an experimental object is applied with laminated glasses typed Clear

Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass Clear 4 mm. (4-0.38-4), with U-Value (heat transferring coefficient) of 5.62 watt/m² and SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) of 0.77. The type of glasses chosen to replace original glass walls are considered as doubled-glass for large building with high efficiency in preventing heat transferring; as for example, laminated glass “Solar TAG Plus CS120” (no air gap) , laminated glass Solar TAG Plus CS130 (Air Gap 12 mm.), laminated glass Stopray Smart51 (no air gap), Insulated glass Stopray Vision50 (Air Gap 12 mm.) and Insulated glass Stopray ACE30T (Air Gap 12 mm.) From all glasses chosen in research, all are considered to have low U-Value and low SHGC and also no air gap/ air gap specs.

Finally after the studies (from BEC calculation), experimental studies showed that glasses with low U-Value and SHGC, with appropriate air gap, will overall decrease the amount of heat transferring, and thus generally render the energy consumed in the building decreased. From experimenting, 6% - 7% of yearly electrical expenses will be saved from using appropriate glasses. Nevertheless, the studies not only take Standard for energy efficiency or standard for energy conservation as framework but also consider economical cost-benefit analysis

Keywords: High performance double-glazing, Heat transmission, Energy saving, Renovation, Economic Evaluation Analysis

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยบุคคลทั้งหลายที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่เคารพ อันได้แก่ ดร.ภฤศมน คำมะสอน อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัยและวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาในด้านวัสดุกระจกและการใช้โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงาน และ ดร.ภิรมย์ แจ่มใส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในด้านการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึง อาจารย์ชุมพร มูรพันธุ์ และอาจารย์ภาษิต ลีนิวา คณะกรรมการสอบ ที่ได้ให้คำชี้แนะแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณอาจารย์ณรงค์ฤทธิ์ สีนุสังข์, อาจารย์ทิพย์วัลย์ ทองอาจ, อาจารย์วรพันธ์ ไชว์พันธุ์, อาจารย์ธิดาใจ จันทนามศรี ซึ่งเป็นอาจารย์ฝ่ายบริหารจัดการอาคารสถานที่ รวมถึงอาจารย์ท่านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ขอขอบคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอขอบคุณอาจารย์ฝ่ายห้องเครื่อง/ห้องไฟฟ้า ขอขอบคุณอาจารย์ฝ่ายบัณฑิตวิทยาลัย รวมถึงบริษัท สถาปนิก 49 จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และบริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) (โดย คุณพูนลาภ สุมิตรเหมาะ) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลวัสดุกระจกที่นำมาใช้ในการทดลองและเป็นที่ปรึกษาในเรื่องวัสดุกระจก และบริษัท กิมหยูเสื่งค์ค้ากระจก จำกัด (โดย คุณพงศ์พจน์ เทพโสพรรณ) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในเรื่องค่าแรงในการติดตั้ง-รื้อถอนกระจก

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เคยอบรม สั่งสอนข้าพเจ้าตั้งแต่สมัยยังเด็ก ไปจนถึงอาจารย์ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ระดับปริญญาโท ที่ได้ให้องค์ความรู้แนวคิด ในด้านสถาปัตยกรรมต่าง ๆ แม้ว่าข้าพเจ้าจะไม่เคยศึกษาคณะสถาปัตยกรรมในระดับปริญญาตรีมาก่อนก็ตาม แต่ด้วยความทุ่มเท ตั้งใจ จริงใจ ของอาจารย์ ทำให้ข้าพเจ้าและลูกศิษย์สามารถนำความรู้ไปใช้ในการประกอบอาชีพ หรือนำความรู้ไปต่อยอดในด้านอื่น ๆ ต่อไป

ขอขอบคุณบุคคลผู้คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ อันได้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย ครอบครัวมรรคนันท์ สำหรับกำลังใจในการเรียนและการใช้ชีวิต ต้องขอขอบคุณ ตัน พื้ม ชินจัง ซึ่งเป็นเพื่อนที่คอยเป็นแรงขับเคลื่อนการทำวิทยานิพนธ์ และร่วมทุกข์ร่วมสุขเสมอมา ทั้งนี้ ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่กำลังศึกษาหรือผู้ที่สนใจในอนาคตต่อไป

วรัญญา มรรคนันท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 สมมติฐานงานวิจัย	2
1.5 คำถามงานวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความรู้ทั่วไปและส่วนประกอบของผนังกระจกสองชั้น	7
2.1.1 ประวัติของผนังกระจกสองชั้น	7
2.1.2 ส่วนประกอบของผนังกระจกสองชั้น	8
2.2 คุณสมบัติของกระจกอาคาร	9
2.2.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Thermal Conductivity)	9
2.2.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนัง (Solar Heat Gain Coefficient)	10
2.2.3 ค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ	11
2.2.4 ประสิทธิภาพของกระจกที่ช่วยประหยัดพลังงาน	13
2.3 พฤติกรรมและคุณสมบัติของรังสีอาทิตย์	19
2.3.1 การสะท้อนแสง (Light Reflection)	20
2.3.2 การดูดกลืนของแสง (Light Absorption)	21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 2 (ต่อ)

2.3.3 การส่องผ่านของแสง (Light Transmission)	21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจก	22
2.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและ กรอบอาคาร	22
2.4.2 การศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร	24
2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก	25
2.4.4 การถ่ายเทความร้อนในระบบผนังกระจกสองชั้น	31
2.5 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	32
2.5.1 กฎกระทรวงฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2540) ออกตามความใน พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522	32
2.5.2 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535	33
2.5.3 พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538	33
2.5.4 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550	34
2.5.5 กฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และ มาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการ อนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552	34
2.5.6 กฎกระทรวงกำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552	37
2.5.7 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณ ในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของ อาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552	38
2.5.8 กฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และ มาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการ อนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563	38
2.5.9 การนำหลักการ Green Building มาปรับใช้กับกฎหมายไทย เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร	39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 2 (ต่อ)

2.6 การหาค่าพลังงานอาคาร และการคำนวณเงินค่าไฟฟ้า	42
2.6.1 พลังงานไฟฟ้า	43
2.6.2 กำลังไฟฟ้า	43
2.6.3 การคิดเงินจากปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้า	44
2.6.4 การพิจารณาค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน	44
2.6.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์	45

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 49

3.1 แนวทางในการดำเนินการวิจัย	50
3.1.1 กำหนดตัวแปรงานวิจัย	50
3.1.2 สํารวจบริเวณสภาพอากาศอุณหภูมิสูง	51
3.1.3 วิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงอาคาร	51
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	51
3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือโน้ตบุ๊ก	51
3.2.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ผิวของกระจก Thermal Camera	51
3.2.3 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอากาศในและนอกห้องทดลอง Netatmo	52
3.2.4 โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานอาคาร BEC (Building Energy Code)	53

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	61
3.3.1 สํารวจข้อมูลตำแหน่งอุณหภูมิสูงภายในห้องทำงานของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	61
3.3.2 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนํากำหนดแนวทางปรับปรุงอาคาร	86
3.3.3 ประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนปรับปรุง	94
3.3.4 เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารหลังปรับปรุงผนังกระจก	99
3.3.5 นำแนวทางการปรับปรุงผนังกระจก มาศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุน	99

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 (ต่อ)

3.3.6 สรุปผลการศึกษา	100
----------------------	-----

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร	101
-------------------------------------	-----

4.2 แผนผังการวางอุปกรณ์	98
-------------------------	----

4.3 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล	104
---------------------------	-----

4.3.1 การวางอุปกรณ์ 2S-01 (A1-211) ห้องเรียนเวิร์คอินเทค	108
--	-----

4.3.2 การวางอุปกรณ์ 2S-02 (A1-212) ห้องงานตำแหน่ง	109
---	-----

วิชาการและหลักสูตร

4.3.3 การวางอุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ	110
--	-----

4.3.4 การวางอุปกรณ์ 2S-04 (A1-210) ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ	111
--	-----

4.3.5 การวางอุปกรณ์ 3S-01 (A1-306) ห้องพักอาจารย์พิเศษ	115
--	-----

4.3.6 การวางอุปกรณ์ 3S-02 (A1-308) ห้อง Unit Cost	116
---	-----

4.3.7 การวางอุปกรณ์ 3S-03 (A1-306) ห้องพักอาจารย์พิเศษ	117
--	-----

4.3.8 การวางอุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) ห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย	118
--	-----

4.3.9 การวางอุปกรณ์ 4S-01 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะ	122
---	-----

นักพัฒนาซอฟต์แวร์

4.3.10 การวางอุปกรณ์ 4S-02 (A1-405) ห้องปฏิบัติการ	123
--	-----

สร้างสรรค์สื่อดิจิทัล

4.3.11 การวางอุปกรณ์ 4S-03 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะ	124
--	-----

นักพัฒนาซอฟต์แวร์

4.3.12 การวางอุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะ	125
--	-----

นักพัฒนาซอฟต์แวร์

4.4 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร	126
--	-----

4.5 การตรวจสอบสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิความร้อนด้วยวิธีการถ่ายภาพ	128
--	-----

ด้วยเครื่องมือ Thermal Camera (FLIR)

4.6 ผลจากการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ Netatmo	130
---	-----

4.7 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร	133
--	-----

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 (ต่อ)

4.7.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร	133
4.7.2 ระบบปรับอากาศ	134
4.7.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	139
4.7.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร	159
4.8 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร	160
4.8.1 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน	161
4.8.2 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 1	163
4.8.3 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 2	165
4.8.4 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 3	167
4.8.5 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 4	169
4.8.6 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 5	171
4.9 การประเมินอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพด้านพลังงาน	173
4.9.1 ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร	173
4.9.2 ผลลัพธ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) จากโปรแกรม BEC	175
4.10 การปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนที่เป็นผนังกระจก	178
4.10.1 ด้านการลดพลังงาน	178
4.10.2 ด้านการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้า	180
4.11 การคำนวณค่าไฟฟ้าอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	181
4.11.1 การคำนวณค่าไฟฟ้าก่อนทำการปรับปรุง	181
4.11.2 การคำนวณค่าไฟฟ้าหลังทำการปรับปรุง	182
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	184
5.1 กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของ กรอบอาคารผ่านเกณฑ์	185
5.2 กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงที่นำมาทดลอง มีความเหมาะสม ทางด้านเศรษฐศาสตร์	187

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 (ต่อ)

5.2.1 ด้านการคำนวณค่าไฟฟ้าอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	187
5.2.2 ด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	187
5.3 ห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุด จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ Netatmo	191
5.4 แนวทางการปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ในแต่ละกรณี	192
5.5 ข้อเสนอแนะ	196
5.5.1 ด้านแนวทางการปรับปรุง	196
5.5.2 ด้านการศึกษาวิจัยต่อไป	197
บรรณานุกรม	198
ภาคผนวก	201
ภาคผนวก ก การประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวม และค่าการถ่ายเท ความร้อนรวมของอาคารผ่านโปรแกรม BEC v.1.0.6	202
ภาคผนวก ข รายละเอียดด้านราคาของกระจกที่นำมาทำการทดลองกับอาคาร กรณีศึกษา	207
ประวัติเจ้าของผลงาน	210

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1: ค่า U-Value และ ค่า R-Value ของกระจกชนิดต่าง ๆ	10
ตารางที่ 2.2: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร	35
ตารางที่ 2.3: แสดงค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)	36
ตารางที่ 2.4: แสดงค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ และจำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท	37
ตารางที่ 2.5: แสดงคะแนนของเกณฑ์การประเมิน TREES เมื่อใช้กฎหมายอนุรักษ์พลังงานและมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007	42
ตารางที่ 2.6: แสดงชั่วโมงใช้งานอาคารประเภทต่าง ๆ (โครงการปรับปรุงข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารควบคุม, 2547)	45
ตารางที่ 3.1: แสดงลักษณะทางกายภาพของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	61
ตารางที่ 3.2: รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 1	67
ตารางที่ 3.3: รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 2	68
ตารางที่ 3.4: รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 3	69
ตารางที่ 3.5: รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 4	71
ตารางที่ 3.6: แสดงคุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารกรณีศึกษา	72
ตารางที่ 3.7: แสดงรายละเอียดวัสดุของอาคารกรณีศึกษา	74
ตารางที่ 3.8: รายละเอียดลักษณะและเวลาการใช้งานของอาคาร	75
ตารางที่ 3.9: รายละเอียดคุณสมบัติและราคาของกระจกที่นำมาทดลอง	88
ตารางที่ 3.10: รายละเอียดผลิตภัณฑ์กระจก Solar TAG Plus (โซลาร์แทค พลัส)	90
ตารางที่ 3.11: รายละเอียดผลิตภัณฑ์กระจก Stopray (สต็อป เรย์)	93
ตารางที่ 3.12: แสดงข้อมูลราคาวัสดุกระจก และราคาค่าแรงของการติดตั้ง-รีดถอนกระจก	94
ตารางที่ 4.1: อุปกรณ์ Netatmo ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	101
ตารางที่ 4.2: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 2 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64	105
ตารางที่ 4.3: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 3 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.4: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 4 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64	119
ตารางที่ 4.5: แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละชั้น (ชั้นที่ 2 - 4) ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64	126
ตารางที่ 4.6: แสดงรายละเอียดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ที่ใช้ภายในอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	135
ตารางที่ 4.7: แสดงรายละเอียดระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง (Central Air-Conditioning System) ที่ใช้ภายในอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	135
ตารางที่ 4.8: แสดงรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศแต่ละพื้นที่ ภายในอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	137
ตารางที่ 4.9: แสดงรายละเอียดและจำนวนของหลอดไฟในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี	139
ตารางที่ 4.10: แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 1 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	141
ตารางที่ 4.11: แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	144
ตารางที่ 4.12: แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	148
ตารางที่ 4.13: แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	154
ตารางที่ 4.14: แสดงขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	159
ตารางที่ 4.15: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ ก่อนทำการปรับปรุง	161
ตารางที่ 4.16: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 1	164

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.17: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 2	166
ตารางที่ 4.18: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 3	168
ตารางที่ 4.19: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 4	170
ตารางที่ 4.20: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 5	172
ตารางที่ 4.21: แสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงกับอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	174
ตารางที่ 4.22: แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารตามเกณฑ์ในกฎกระทรวงฯ	176
ตารางที่ 4.23: การสรุปผลการประเมินอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ด้านพลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงผนังกระจก	178
ตารางที่ 4.24: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) หลังมีการปรับปรุงผนังโปร่งแสงด้วยกระจกที่นำมาทดลอง	179
ตารางที่ 4.25: ข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่ลดลงของกระจกชนิดต่าง ๆ	180
ตารางที่ 4.26: แสดงรายการค่าไฟฟ้าอาคารสถานศึกษา A1 ก่อนทำการปรับปรุง	181
ตารางที่ 4.27: แสดงรายการค่าไฟฟ้าอาคารสถานศึกษา A1 หลังทำการปรับปรุง	182
ตารางที่ 4.28: แสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าเมื่อเทียบจากการใช้งานจริง	183
ตารางที่ 5.1: สรุปผลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารผ่านโปรแกรม BEC v.1.0.6	186
ตารางที่ 5.2: สรุปค่าไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี หลังทำการปรับปรุงอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	187

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5.3: แสดงการคำนวณราคาการปรับปรุงผนังโปรงแสง	188
ตารางที่ 5.4: แสดงความคุ้มทุนในการปรับปรุงผนังกระจกอาคารแต่ละชนิด	188
ตารางที่ 5.5: ความคุ้มทุนในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด กรณีที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2% ต่อปี	189
ตารางที่ 5.6: ความคุ้มทุนในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด กรณีที่เป็นการลงทุนเพิ่มเติมเมื่อเทียบจากการใช้กระจกธรรมดา	190
ตารางที่ 5.7: ความคุ้มทุนในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด กรณีราคาวัสดุกระจกเดิมมากกว่า 1,800 บาท/ตร.ม. และมีการประหยัดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 ทุกปี	190
ตารางที่ 5.8: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ กรณีใช้กระจกชนิดที่ 1	192
ตารางที่ 5.9: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ กรณีใช้กระจกชนิดที่ 2	192
ตารางที่ 5.10: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ กรณีใช้กระจกชนิดที่ 3	193
ตารางที่ 5.11: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ กรณีใช้กระจกชนิดที่ 4	194
ตารางที่ 5.12: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ กรณีใช้กระจกชนิดที่ 5	195
ตารางที่ 5.13: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของวัสดุปัจจุบัน	201
ตารางที่ 5.14: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของกระจกชนิดที่ 1	201
ตารางที่ 5.15: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของกระจกชนิดที่ 2	202
ตารางที่ 5.16: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของกระจกชนิดที่ 3	202
ตารางที่ 5.17: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของกระจกชนิดที่ 4	203

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5.18: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV)	203
ชั้นที่ 2 – 4 ของกระจกชนิดที่ 5	
ตารางที่ 5.19: รายละเอียดด้านราคาของกระจกที่นำมาทำการทดลองกับอาคารกรณีศึกษา	207
ตารางที่ 5.20: แสดงข้อมูลราคาวัสดุกระจก และราคาค่าแรงของการเปลี่ยนกระจก	207

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1: ส่วนประกอบของผนังกระจกสองชั้น	9
ภาพที่ 2.2: กระบวนการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก	11
ภาพที่ 2.3: ตัวอย่างของแสงธรรมชาติที่ส่งผ่านกระจก	12
ภาพที่ 2.4: คุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ	13
ภาพที่ 2.5: ส่วนประกอบของกระจกมิเรอร์ ที่สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี	17
ภาพที่ 2.6: ส่วนประกอบของกระจกฮีตสตอป ที่สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี	18
ภาพที่ 2.7: ลักษณะกระจกนิรภัยหลายชั้น	19
ภาพที่ 2.8: สเปกตรัมรังสีอาทิตย์	20
ภาพที่ 2.9: อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	24
ภาพที่ 2.10: การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก	26
ภาพที่ 2.11: การถ่ายเทความร้อนในระนาบหนึ่งมิติ	28
ภาพที่ 2.12: รูปภาพแสดงการถ่ายเทความร้อนในผนังกระจกสองชั้น	31
ภาพที่ 2.13: แสดงการถ่ายเทความร้อนภายในระบบผนังกระจกสองชั้น	32
ภาพที่ 2.14: การประกาศใช้กฎกระทรวงปี 2563	39
ภาพที่ 3.1: แผนภาพแสดงแนวทางการดำเนินการวิจัย	49
ภาพที่ 3.2: อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของกระจก FLIR ONE	52
ภาพที่ 3.3: ภาพอุปกรณ์ Netatmo ซึ่งใช้เก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ ภายในพื้นที่อาคาร	53
ภาพที่ 3.4: โปรแกรม BEC (Building Energy Code) v.1.0.6	54
ภาพที่ 3.5: แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม BEC v.1.0.6	55
ภาพที่ 3.6: แสดงรายละเอียดของวัสดุต่าง ๆ ของโปรแกรม BEC v.1.0.6	56
ภาพที่ 3.7: แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของผนังทึบ (Opaque Component)	57
ภาพที่ 3.8: แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง (Transparent Component)	57
ภาพที่ 3.9: แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบของผนังที่ประกอบกันเป็น section	๕๘
ภาพที่ 3.10: หน้าต่างแสดงรายละเอียดของ section ที่ประกอบกันเป็นผนังทิศต่าง ๆ	๕
ภาพที่ 3.11: หน้าต่างแสดงรายละเอียดของ Shading Coefficient Calculation	59
ภาพที่ 3.12: แสดงการรายงานค่า OTTV/RTTV ของทั้งอาคาร	60
ภาพที่ 3.13: ผังอาคาร BU Landmark (A1, A2, A3) แบบสามมิติ	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.14: ผังอาคาร BU Landmark (A1, A2, A3)	64
ภาพที่ 3.15: รูปตัดด้านข้างของอาคาร BU Landmark	64
ภาพที่ 3.16: แสดงผังบริเวณรูปด้านของอาคารสถานศึกษา A1, A2, A3 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตหลัก จังหวัดปทุมธานี	65
ภาพที่ 3.17: แสดงรายละเอียดชั้นที่ 1	66
ภาพที่ 3.18: แสดงรายละเอียดชั้นที่ 2	67
ภาพที่ 3.19: แสดงรายละเอียดชั้นที่ 3	69
ภาพที่ 3.20: แสดงรายละเอียดชั้นที่ 4	71
ภาพที่ 3.21: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทางทิศใต้ (A)	76
ภาพที่ 3.22: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (B)	76
ภาพที่ 3.23: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (C)	77
ภาพที่ 3.24: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (D)	77
ภาพที่ 3.25: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E)	78
ภาพที่ 3.26: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (F)	78
ภาพที่ 3.27: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (G)	79
ภาพที่ 3.28: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันตก (H)	79
ภาพที่ 3.29: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (I)	80
ภาพที่ 3.30: ภาพส่วนประกอบของหลังคา อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันออก	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.31: ภาพส่วนประกอบของหลังคา อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันตกเฉียงใต้	81
ภาพที่ 3.32: ภาพส่วนประกอบของหลังคา อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	81
ภาพที่ 3.33: ภาพส่วนประกอบของหลังคา อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันออกเฉียงใต้	82
ภาพที่ 3.34: ภาพแบบแปลนชั้นที่ 1 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	82
ภาพที่ 3.35: ภาพแบบแปลนชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	83
ภาพที่ 3.36: ภาพแบบแปลนชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	83
ภาพที่ 3.37: ภาพแบบแปลนชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	84
ภาพที่ 3.38: แสดงการวัดมุมลาดเอียงของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (R1)	84
ภาพที่ 3.39: แสดงการวัดมุมลาดเอียงของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (R2)	85
ภาพที่ 3.40: แสดงการวัดมุมลาดเอียงของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (R3)	85
ภาพที่ 3.41: แสดงการวัดมุมลาดเอียงของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (R4)	86
ภาพที่ 3.42 ตัวอย่างกระจก Solar TAG Plus (โซลาร์แทค พลัส) จากบริษัท เอจีซี แฟลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	91
ภาพที่ 3.43 ตัวอย่างกระจก Stopray (สต็อป เรย์) จากบริษัท เอจีซี แฟลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	93
ภาพที่ 3.44: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Material : Opaque Materials	95
ภาพที่ 3.45: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Material : Transparent Materials	96
ภาพที่ 3.46: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Component of Section : Opaque	96
ภาพที่ 3.47: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Component of Section : Transparent	97
ภาพที่ 3.48: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Section of Wall	97
ภาพที่ 3.49: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Wall	98
ภาพที่ 3.50: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Light Equipment	98
ภาพที่ 3.51: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Split Type & Window Type	99
ภาพที่ 3.52: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Building Zone	99

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.1: แสดงจุดวางอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิ Netatmo ตามห้องต่าง ๆ ของชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	103
ภาพที่ 4.2: แสดงจุดวางอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิ Netatmo ตามห้องต่าง ๆ ของชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	103
ภาพที่ 4.3: แสดงจุดวางอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิ Netatmo ตามห้องต่าง ๆ ของชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	104
ภาพที่ 4.4: แผนภูมิแสดงข้อมูลค่าความกว้างของอุณหภูมิตามช่วงเวลานับที่ค่าการทดลอง ของแต่ละห้องในชั้นที่ 2 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่ วันที่ 12 มี.ค.64 – 12 เม.ย.64	107
ภาพที่ 4.5: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 2S-01 (A1-211) ณ ห้องเรียนเวิร์คอินเทค อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	108
ภาพที่ 4.6: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 2S-02 (A1-212) ณ ห้องงานตำแหน่งวิชาการและหลักสูตร อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	109
ภาพที่ 4.7: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ณ ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	110
ภาพที่ 4.8: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 2S-04 (A1-210) ณ ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	111
ภาพที่ 4.9: แผนภูมิแสดงข้อมูลค่าความกว้างของอุณหภูมิตามช่วงเวลานับที่ค่าการทดลอง ของแต่ละห้องในชั้นที่ 3 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่ วันที่ 12 มี.ค.64 – 12 เม.ย.64	114
ภาพที่ 4.10: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 3S-01 (A1-306) ณ ห้องพักอาจารย์พิเศษ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	115
ภาพที่ 4.11: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 3S-02 (A1-308) ณ ห้อง Unit Cost อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	116
ภาพที่ 4.12: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 3S-03 (A1-306) ณ ห้อง Unit Cost อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.13: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 3S-04 (A1-305)	118
ณ ห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	
ภาพที่ 4.14: แผนภูมิแสดงข้อมูลค่าความกว้างของอุณหภูมิตามช่วงเวลาบันทึกค่าการทดลอง	121
ของแต่ละห้องในชั้นที่ 4 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	
ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 – 12 เม.ย.64	
ภาพที่ 4.15: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 4S-01 (A1-403)	122
ณ ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	
ภาพที่ 4.16: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 4S-02 (A1-405)	123
ณ ห้องปฏิบัติการสร้างสรรค์สื่อดิจิทัล อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	
ภาพที่ 4.17: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 4S-03 (A1-403)	124
ณ ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	
ภาพที่ 4.18: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 4S-04 (A1-403)	125
ณ ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	
ภาพที่ 4.19: แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลค่าความกว้างของอุณหภูมิตามช่วงเวลา	128
บันทึกค่าการทดลอง ในห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละชั้น (ชั้นที่ 2 – 4) ของอาคาร	
สถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64	
ภาพที่ 4.20: แสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ภายในห้องศูนย์บ่มเพาะ	129
นักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation ชั้นที่ 4 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัย	
กรุงเทพ ซึ่งเป็นห้องที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดของอาคาร A1 (เก็บข้อมูล ณ วันที่ 13 เม.ย.64)	
ภาพที่ 4.21: แสดงเครื่องมือ Netatmo ซึ่งใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ ภายใน	131
พื้นที่อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	
ภาพที่ 4.22: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของอุปกรณ์ 2S-03 (A1-210)	131
ภาพที่ 4.23: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของอุปกรณ์ 3S-04 (A1-305)	132
ภาพที่ 4.24: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของอุปกรณ์ 4S-04 (A1-403)	133
ภาพที่ 4.25: แผนภูมิแสดงชนิดและส่วนประกอบหลักของระบบปรับอากาศ	134
ภาพที่ 4.26: แสดงรายละเอียดข้อมูลในส่วนของกระจกที่นำมาทดลอง โดยกรอกข้อมูลลงใน	161
โปรแกรม BEC v.1.0.6	

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.27: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของ อาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน มากรอกลงในโปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน	163
ภาพที่ 4.28: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของ อาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 1 มากรอกลงใน โปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน	165
ภาพที่ 4.29: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของ อาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 2 มากรอกลงใน โปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน	167
ภาพที่ 4.30: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของ อาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 3 มากรอกลงใน โปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน	169
ภาพที่ 4.31: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของ อาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 4 มากรอกลงใน โปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน	171
ภาพที่ 4.32: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของ อาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 5 มากรอกลงใน โปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน	173

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และมีจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น รวมไปถึงในส่วนของอาคารต่างๆ เช่น อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า อาคารชุด สถานศึกษา เป็นต้น อีกทั้งประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และมีอุณหภูมิที่สูงเกือบตลอดทั้งปี ส่งผลให้ประเทศมีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทั้งในระบบทำความเย็นปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง โดยสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของการทำความเย็นนั้นเกิดจากความร้อนทั้งจากภายนอกและภายในอาคาร อีกทั้งความร้อนสามารถผ่านกรอบอาคารในส่วนที่เป็นช่องหน้าต่างกระจกได้มากกว่าส่วนอื่นของอาคารเมื่อคิดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เท่ากัน ดังนั้น การลดความร้อนที่ผ่านผนังกระจกจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ เพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และนำไปสู่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ซึ่งเป็นอาคารขนาดใหญ่มีพื้นที่มากกว่า 2,000 ตารางเมตร และกรอบอาคารมีผนังโปร่งแสงเป็นส่วนประกอบของอาคาร อีกทั้งตัวอาคารดังกล่าวมีลักษณะรูปทรงที่คล้ายกับเพชร ถือเป็นอาคารที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว และเป็นจุดโดดเด่นของมหาวิทยาลัยกรุงเทพ ซึ่งผนังของอาคารส่วนใหญ่ไม่ตั้งฉากกับพื้นดินเช่นอาคารลักษณะทั่วไป ทำให้มีความท้าทายในด้านการวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะกรอบอาคารเพิ่มมากขึ้น และเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารที่มีลักษณะเดียวกันในอนาคต โดยในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารจะใช้โปรแกรมของกระทรวงพลังงาน เพื่อเทียบเกณฑ์มาตรฐานตามกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 โดยเลือกกระจกที่นำมาทำการทดลองเป็นกระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะในการใช้กับอาคารขนาดใหญ่ จำนวน 5 ชนิด และหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) ในส่วนที่เป็นผนังโปร่งแสง เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของกรอบอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนให้เป็นไปตามกฎหมายที่กำลังจะมีผลบังคับใช้ และศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระจกแต่ละชนิด โดยคำนึงถึงค่าไฟฟ้าที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารตามกฎหมาย สามารถตอบสนองสังคมที่รณรงค์เรื่องการประหยัดพลังงาน และตระหนักถึงการใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องกับกระจกสองชั้น และสำรวจศึกษาปัญหาความร้อนจากผนังกระจก และบริเวณที่มีสภาวะไม่สบายเพื่อออกแบบปรับปรุง

1.2.2 หาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงผนังโปร่งแสง เพื่อให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

1.2.3 หาแนวทางการปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เลือกศึกษาอาคารสถานศึกษา ที่มีผนังเป็นกระจกเป็นส่วนประกอบของกรอบอาคารเป็นส่วนใหญ่ โดยในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต จังหวัดปทุมธานี เป็นอาคารกรณีศึกษา

1.3.2 กระจกที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นกระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะกับการใช้ในอาคารขนาดใหญ่ โดยขออนุเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติ, ราคาค่าแรงต่าง ๆ ของกระจกจากบริษัทผู้ผลิตกระจก หรือบริษัทที่มีประสบการณ์ด้านกระจกโดยตรง

1.3.3 นำโปรแกรมของกระทรวงพลังงานที่ใช้ในการตรวจประเมินประสิทธิภาพพลังงานจริงในปัจจุบัน มาใช้กับการทดลองในงานวิจัย

1.3.4 อาคารที่เลือกเป็นอาคารกรณีศึกษามีความแตกต่างจากอาคารทั่วไป เนื่องจากตัวอาคารไม่ได้ตั้งฉากกับพื้นดิน โดยมีความลาดเอียงของผนังและหลังคา

1.3.5 เป็นการศึกษาในเขตสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในประเทศไทย

1.3.6 งานวิจัยมุ่งเน้นที่การพิจารณาชนิดของกระจกที่ช่วยให้อาคารประหยัดพลังงานได้มากขึ้น โดยไม่มีการลดสัดส่วนของพื้นที่กระจก หรือติดตั้งอุปกรณ์บังแดดใด ๆ

1.3.7 ในการคิดคำนวณด้านการใช้ไฟฟ้า หรือระยะคืนทุนในแต่ละกรณี จะใช้เป็นค่ารายปี

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

กระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ สามารถช่วยลดการแผ่รังสีความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

1.5 คำถามงานวิจัย

1.5.1 กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงชนิดใด ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

1.5.2 กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงที่นำมาทดลองชนิดใด มีความเหมาะสมทางด้าน เศรษฐศาสตร์มากที่สุด

1.5.3 บริเวณใดของอาคารกรณีศึกษาที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด ซึ่งถือเป็นปัญหาของอาคาร ทำให้ มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่สูงขึ้น

1.5.4 แนวทางการปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ในแต่ละกรณีเป็นอย่างไร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 งานวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยกรุงเทพ ในด้านแนวทางการปรับปรุงผนัง กระจกอาคาร ลดการใช้พลังงานและสามารถประหยัดค่าใช้จ่าย เพื่อให้ทางมหาวิทยาลัยกรุงเทพ สามารถพิจารณาเป็นแนวทางการปรับปรุงผนังกระจกในกรณีที่จะมีการปรับปรุงต่อไป

1.6.2 เป็นข้อมูลในการเลือกใช้กระจกกับอาคารที่มีลักษณะเดียวกันกับอาคารกรณีศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงอาคาร ให้มีการอนุรักษ์พลังงานและประหยัดค่าใช้จ่ายต่อไป

1.6.3 เป็นแหล่งข้อมูลเอกสารทางวิชาการแก่ผู้ที่มีความสนใจทั่วไป สำหรับแนวทางการ ปรับปรุงอาคารสถานศึกษาให้ประหยัดพลังงาน

1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.7.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ แบ่งเป็น การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ แบบแปลนอาคารจากฝ่ายอาคาร มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, แบบแปลน อาคารจาก บริษัท สถาปนิก49 จำกัด และข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ในส่วนของการศึกษาข้อมูล ปฐมภูมิ ได้แก่ การสำรวจพื้นที่ภายในและภายนอกอาคาร การเก็บข้อมูลอุณหภูมิ เป็นต้น

1.7.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมากำหนดแนวทางปรับปรุงอาคาร ได้แก่ คุณสมบัติ วัสดุกระจก ราคาค่าแรงในการติดตั้งและรีดถอนกระจก และการคำนวณค่าไฟฟ้าของอาคาร รวมไปถึง การประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน

1.7.3 ออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1.7.4 เก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร

1.7.5 ประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนปรับปรุง เปรียบเทียบเกณฑ์ตาม กฎกระทรวงฯ โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 ในส่วนของการใช้พลังงานรวมของอาคาร และการ ถ่ายทอดความร้อนรวมของกรอบอาคาร

1.7.6 เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร หลังปรับปรุงผนังกระจกในแต่ละแนวทาง

1.7.7 นำแนวทางการปรับปรุงผนังกระจก มาศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุน เพื่อให้ได้ แนวทางที่เหมาะสม

1.7.8 วิเคราะห์ สรุปผล และนำเสนอแนวทางจากการศึกษา

1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 การปรับปรุงอาคาร หมายถึง การปรับปรุงหรือปฏิสังขรณ์ ทำการบูรณะซ่อมแซม ให้กลับมามีสภาพดีเหมือนเดิม หรือเป็นการทำให้มีสภาพใหม่ เช่น การปรับปรุงอาคารทำให้อาคาร ที่ปรับปรุงแล้ว สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม

1.8.2 Visible Light Transmission เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ สามารถ ส่งผ่านกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

1.8.3 Solar-Energy Transmission or Direct Energy Transmission เป็นอัตราส่วนของ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกโดยตรง โดยที่ความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแสงที่ ตกกระทบกระจกทั้งหมด

1.8.4 Solar-Energy Reflection เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนออกจาก กระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

1.8.5 Solar-Energy Absorption เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้โดย กระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

1.8.6 Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) หรือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจาก รังสีอาทิตย์ คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนที่โปร่งแสง หรือโปร่งใส ของช่องแสง ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคารและก่อให้เกิดการ ถ่ายทอดความร้อนเข้าภายในอาคาร

1.8.7 ค่า U-Value หรือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ไหล ผ่านเข้ามาในส่วนหนึ่งของอาคารคงที่ โดยที่อุณหภูมิอากาศของทั้งสองด้านแตกต่างกัน (ส่วนกลับของ ค่าความต้านทานความร้อน หรือค่า R-Value) ขึ้นกับความหนาและค่า k ของวัสดุนั้นๆ ซึ่งกระจกที่ดี ควรมีค่า U-Value น้อย

1.8.8 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (overall thermal transfer value, OTTV) หมายถึง ดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของกรอบอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน

1.8.9 WWR (Window-to-Wall-Ratio) คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนัง



บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของขั้นตอนการศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิจัยนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากเอกสารงานวิจัยตามสื่อสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ รวมถึงแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยส่วนใหญ่ก็นำมาเพื่อเป็นแนวทางในกระบวนการศึกษาวิจัย และนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยในครั้งนี้ โดยในการทบทวนวรรณกรรม จะแบ่งออกเป็น 6 ส่วน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 2.1 ความรู้ทั่วไปและส่วนประกอบของผนังกระจกสองชั้น
 - 2.1.1 ประวัติของผนังกระจกสองชั้น
 - 2.1.2 ส่วนประกอบของผนังกระจกสองชั้น
- 2.2 คุณสมบัติของกระจกอาคาร
 - 2.2.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Thermal Conductivity)
 - 2.2.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนัง (Solar Heat Gain Coefficient)
 - 2.2.3 ค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ (Visible light transmittance)
 - 2.2.4 ประเภทของกระจกที่ช่วยประหยัดพลังงาน
- 2.3 พฤติกรรมและคุณสมบัติของรังสีอาทิตย์
 - 2.3.1 การสะท้อนแสง (Light Reflection)
 - 2.3.2 การดูดกลืนของแสง (Light Absorption)
 - 2.3.3 การส่องผ่านของแสง (Light Transmission)
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจก
 - 2.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและกรอบอาคาร
 - 2.4.2 การศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร
 - 2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก
 - 2.4.4 การถ่ายเทความร้อนในระบบผนังกระจกสองชั้น
- 2.5 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง
 - 2.5.1 กฎกระทรวงฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
 - 2.5.2 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

- 2.5.3 พระราชบัญญัติกำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538
- 2.5.4 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550
- 2.5.5 กฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552
- 2.5.6 กฎกระทรวงกำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552
- 2.5.7 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร และ การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552
- 2.5.8 กฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563
- 2.5.9 การนำหลักการ Green Building มาปรับใช้กับกฎหมายไทย เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร
- 2.6 การหาค่าพลังงานอาคาร และการคำนวณเงินค่าไฟฟ้า
 - 2.6.1 พลังงานไฟฟ้า
 - 2.6.2 กำลังไฟฟ้า
 - 2.6.3 การคิดเงินจากปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้า
 - 2.6.4 การพิจารณาค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน
 - 2.6.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

2.1 ความรู้ทั่วไปและส่วนประกอบของผนังกระจกสองชั้น

2.1.1 ประวัติของผนังกระจกสองชั้น

เมื่อปี ค.ศ. 1903 กระจกสองชั้นได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรก ณ เมือง Steiff ประเทศเยอรมนี โดยมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันสภาพอากาศหนาวและลมที่แรงในภูมิภาคนั้น อีกทั้งยังสามารถรับแสงจากธรรมชาติจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้อีกด้วย ซึ่งกระจกสองชั้นสามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้เป็นอย่างดี จึงทำให้เกิดแนวคิดในการสร้างอาคารในรูปแบบเดียวกันนี้ในปี ค.ศ. 1904 และ ค.ศ. 1908 ต่อมา ในงานประกวดแห่งหนึ่ง ณ กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย Otto Wagner ได้นำเสนออาคารที่ใช้ระบบกระจกผนังสองชั้นเป็น Skylight และได้รางวัลชนะเลิศนำมาสู่การสร้างขึ้นจริง จากนั้นกระจกสองชั้นก็ได้เป็นที่รู้จักในวงการสถาปัตยกรรมและมีอาคารที่นำระบบดังกล่าวมาใช้กับ

อาคารทั่วไปอีกด้วย ซึ่งในประเทศไทยได้นำกระจกสองชั้นมาใช้ในอาคารสำนักงานบางแห่ง (Heimrath, 2007 อ้างใน ชยพล เพียรชอบธรรม, 2559)

การพัฒนาเทคโนโลยีของกระจกยังมีอยู่อย่างต่อเนื่อง แต่ทว่าระบบผนังกระจกหลายชั้นยังไม่ประสบความสำเร็จมากนัก เนื่องด้วยราคาค่าก่อสร้างที่สูง ประกอบกับบางอาคารมีความไม่เหมาะสมที่จะนำกระจกสองชั้นไปใช้ สิ่งที่น่าสนใจและควรให้ความสำคัญก็คือการพัฒนาประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานควบคู่ไปกับความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

2.1.2 ส่วนประกอบของผนังกระจกสองชั้น

ในปัจจุบัน การนำวัสดุกระจกมาใช้เป็นเป็นวัสดุกรอบอาคารได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก กระจกมีด้วยกันหลายชนิดหลายประเภท ในแต่ละประเภทยังมีความหนาและค่าสมบัติทางความร้อนที่ต่างกันไป กระจกมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อภาระความร้อนของอาคาร ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังกระจกอาจมีค่าสูงถึง 5-10 เท่า เมื่อเทียบกับผนังโปร่งแสง ดังนั้น การเลือกใช้กระจกที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดี จะสามารถลดภาระความร้อนของอาคารลงได้อย่างมาก (คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร), 2553)

ในส่วนของกระจกสองชั้นนั้น ส่วนที่เป็นผนังกระจกสองชั้นจะประกอบไปด้วยผนังกระจกสองแผ่น มีช่องว่างให้อากาศไหลผ่านได้ตรงกลาง ระยะห่างของผนังกระจกสองแผ่นจะอยู่ระหว่าง 20 เซนติเมตร ถึง 2 เมตร โดยส่วนมากจะใช้สำหรับการป้องกันการแพร่กระจายความร้อนในช่วงเวลาที่ทำความเย็น อาจบรรจุก๊าซเฉื่อยเช่น อาร์กอน เป็นต้น ใส่แทนอากาศแห้งลงในช่องว่างระหว่างกระจก หรืออุปกรณ์บังแดดก็สามารถติดตั้งภายในช่องอากาศนี้ได้เช่นกัน (Poirasiz, 2004 อ้างใน เชษฐพรรณ สีนเจิมสิริ, 2552)

ระบบผนังกระจกสองชั้นโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบหลักๆ ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 2.1: ส่วนประกอบของผนังกระจกสองชั้น



ที่มา: Energy Efficient Glass. (2022). *Double Glazing*. Retrieved from <https://kjwindows.com/phoenix-windows-doors/>.

2.2 คุณสมบัติของกระจกอาคาร

ปัญหาสำหรับอาคารที่มีกระจกเป็นองค์ประกอบหนึ่งของผนังภายนอกอาคารนั้นที่อาจเกิดขึ้นได้ คือ ความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ซึ่งได้แก่ การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารโดยตรงผ่านพื้นที่ผิวโปร่งแสง เช่น หน้าต่าง (Windows) หรือหลังคาโปร่งแสง (Sky Lights) ในกรณีนี้จะกล่าวถึงความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาสู่ภายในอาคาร โดยความร้อนจะถูกเปลี่ยนจากรังสีคลื่นสั้นเป็นรังสีคลื่นยาว และสามารถส่งผ่านออกไปสู่ภายนอกได้บางส่วน (เรียกว่า Solar Reflectance) และบางส่วนก็ถูกดูดซับไว้ในเนื้อกระจก (เรียกว่า Solar Absorptance) ทำให้เกิดเป็นความร้อนสะสมภายในอาคารเนื่องจากความร้อนถูกสะสมไว้ที่ตัวกระจก ซึ่งตัวกระจกแต่ละชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (Shading Coefficient) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นกระจกที่มีประสิทธิภาพต้องมีคุณสมบัติการส่งผ่านความร้อนต่ำ (Solar Transmittance) และมีค่าการส่องผ่านของแสงสูง (Light Transmittance) เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนสะสมที่ตัวกระจกและกลายเป็นความร้อนเกิดขึ้นภายในอาคาร (พุทธิพันธ์ สวัสดิ์รัตนาร, 2550 อ้างใน กุลวิทย์ น้อยเพชร, 2558)

คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่ทำให้หน้าต่าง หรือวัสดุโปร่งแสง ที่ยอมให้ปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Solar Heat Gain) ประกอบด้วย 3 อย่างดังต่อไปนี้

2.2.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Thermal Conductivity) หรือค่า U-Value จะเป็นตัวที่บ่งบอกว่ากระจกสามารถกันความร้อนได้ดีมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะวัดค่า

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างด้านที่ร้อนกว่าและด้านที่เย็นกว่าหรือ $W/m^2 \cdot K$ และค่า U-Value คือส่วนกลับของค่าการต้านทานความร้อน (R-Value) ซึ่งสิ่งที่มีผลต่อค่า U-Value ได้แก่ ช่องว่างระหว่างกระจก วัสดุเคลือบกระจก ก๊าซที่เติมในช่องว่างของกระจก และกรอบบานของกระจก ล้วนแล้วแต่มีผลทั้งสิ้น U-Value ที่ต่ำเป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับการเลือกกระจกในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาว แต่ในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนัง (SHGC) มีความสำคัญมากกว่าค่า U-Value เนื่องจากความร้อนจะมาจากการแผ่รังสีความร้อนภายนอกอาคารมากกว่าการนำความร้อนผ่านผนังกระจก

โดยค่า U-Value นิยมวัดแบบทั้งผืนกระจก ซึ่งในการวัดแต่ละจุดไม่ว่าจะเป็นตรงกึ่งกลางกระจก ขอบกระจก หรือทั้งบานกระจก จะไม่เท่ากัน ทั้งนี้ ค่า U-Value ยังสามารถวัดที่กึ่งกลางของกระจก (Center of glass) หรือทั้งบานกระจกซึ่งรวมวงกบและบานกรอบได้อีกด้วย

ตารางที่ 2.1: ค่า U-Value และ ค่า R-Value ของกระจกชนิดต่าง ๆ

Construction type	U-value		R-value	
	$W/m^2 \cdot K$	BTU/(h $^{\circ}F ft^2$)	$m^2 \cdot K/W$	h $^{\circ}F ft^2/BTU$
Single pane	4.8	0.85	0.21	1.2
Double pane, air filled	2.8	0.49	0.36	2.0
Double pane, low-E	2.1	0.37	0.48	2.7
Double pane, low-E, Argon filled	1.9	0.33	0.53	3.0
Triple pane	2.1	0.37	0.48	2.7
Triple pane, low-E, Argon filled	1.4	0.25	0.71	4.1
Quadruple pane, very low-E, Krypton filled	0.74	0.13	1.35	7.7
Quintuple pane, very low-E, Xenon filled	0.51	0.09	1.96	11.1

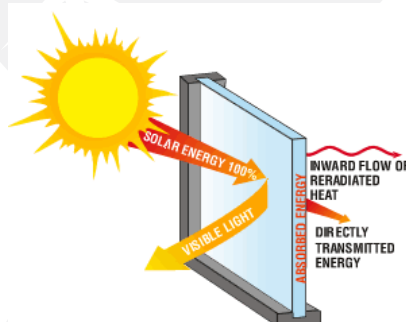
ที่มา: Typical Window U-values. (2022). *Windows*. Retrieved from www.sustainabilityworkshop.autodesk.com.

2.2.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนัง (Solar Heat Gain Coefficient) หรือค่า SHGC เป็นตัวที่บ่งบอกว่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในลักษณะคลื่นจะสามารถถ่ายเทผ่านกระจกได้มากน้อยเพียงใด และจะสะท้อนออกมาได้มากน้อยเพียงใด คุณสมบัตินี้หมายถึงความสามารถของทั้งผืนกระจก การเคลือบสารสะท้อนแสง ชนิดของกระจก และ

การบังเงาของม่านหรือครีบบังแดด SHGC เป็นอัตราส่วนไม่มีหน่วย มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว SHGC จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9-0.2 โดย 1 หมายถึงไม่มีการป้องกันรังสีความร้อนเลย รังสีความร้อนจากภายนอกสามารถผ่านเข้าไปได้ทั้งหมด และ 0 หมายถึงรังสีความร้อนจากภายนอกไม่สามารถผ่านเข้าไปได้เลย โดยค่า SHGC ตามมาตรฐานของกระจกอนุรักษ์พลังงาน ระบุในกฎกระทรวงกำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.55 (หรือ 55%)

การเลือกกระจกที่มีค่า SHGC ที่เหมาะสม ควรพิจารณาถึงขนาดและตำแหน่งของช่องเปิด และที่สำคัญคือสภาพภูมิอากาศ ในเขตภูมิอากาศหนาว SHGC ที่สูงเป็นเรื่องที่ดีเพราะจะทำให้อาคารได้รับความร้อนผ่านทางกระจกเข้ามาสู่ภายในอาคารได้ ในทางกลับกันในเขตภูมิอากาศร้อน SHGC เป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากช่วยในเรื่องของการกันรังสีความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้าสู่ตัวอาคารได้

ภาพที่ 2.2: กระบวนการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก



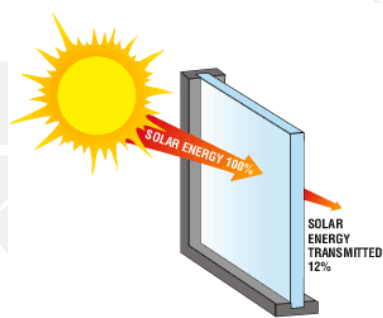
ที่มา : Apex Window Films. (2022). *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)*. Retrieved from <https://www.apexfilms.ca/glossary-of-window-film-terminology/>.

2.2.3 ค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ (Visible light transmittance) หรือค่า VLT มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณที่แสงธรรมชาติจะสามารถผ่านกระจกเข้ามาได้ โดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์หรือร้อยละ ซึ่งในการเลือกใช้กระจกควรพิจารณาค่าการส่องผ่านของแสงให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน โดยผนังที่บ่งหมายถึง 0 เปอร์เซ็นต์และช่องเปิดที่โล่งหมายถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานของกระจกอนุรักษ์พลังงาน ระบุในกฎกระทรวงกำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์

พลังงาน พ.ศ.2552 ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.20 เพื่อสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในอาคารได้

ค่า VLT จะวัดเฉพาะแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นเท่านั้น จึงควรมีค่าสูงเพื่อความรู้สึกสบายตาและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างภายในอาคารได้อีกหนทางหนึ่งด้วย แต่ทั้งนี้การที่มีแสงมาก ไม่ได้หมายความว่าดีเสมอไปเพราะอาจทำให้เกิดความไม่สบายตาของผู้ใช้ และเกิดความร้อนที่มากเกินไป ดังนั้นการเลือกใช้กระจกจะขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ที่เหมาะสมต่อการใช้งานด้วย ซึ่งกระบวนการที่เป็นการเคลือบสารบนผิวกระจกจะช่วยกำหนดค่า VLT ที่เหมาะสมได้ (ชยพล เพียรชอบธรรม, 2559)

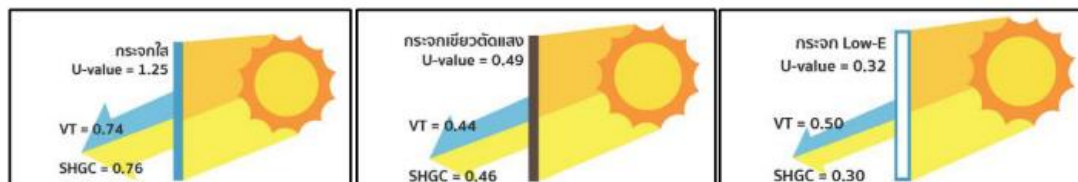
ภาพที่ 2.3: ตัวอย่างของแสงธรรมชาติที่ส่งผ่านกระจก



ที่มา: Apex Window Films. (2022). *Solar Transmittance (T)*. Retrieved from <https://www.apexfilms.ca/glossary-of-window-film-terminology/>

กล่าวโดยสรุปก็คือ กระจกที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งาน ควรมีค่า U-value หรือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม น้อยเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร , ค่า Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) หรือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ส่งผ่านกระจก ควรมีค่าน้อยเพื่อป้องกันรังสีอาทิตย์และเพื่อความสบายตาของผู้ใช้อาคาร และค่า Visible light Transmittance (VLT) หรือค่าการส่งผ่านของแสงต้องมีความมากกว่าหรือเท่ากับ 1.20 เพื่อสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในอาคารได้ (สิรพรรณ ภัสส์ประเสริฐ, 2559)

ภาพที่ 2.4: คุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ



ที่มา: กระทรวงพลังงาน. (2560). คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.

2.2.4 ประเภทของกระจกที่ช่วยประหยัดพลังงาน

ประเภทของกระจกสามารถแบ่งได้ตามกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีต่างๆ เพื่อตอบสนองต่อการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงประเภทของกระจกที่ช่วยประหยัดพลังงานและมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับอาคาร ได้แก่ กระจกอบความร้อน, กระจกเคลือบผิว และกระจกตัดแสง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.4.1 กระจกอบความร้อน (Heat Treated Glass) เป็นกระจกใสหรือกระจกสีที่ผ่านการปรับแต่งคุณภาพกระจก เพื่อให้มีความแข็งแรงหรือสามารถรับแรงกระทำจากภายนอกได้มากขึ้น แบ่งออกเป็น กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered Glass) และกระจกฮีตสเตรงเทน (Heat Strengthened Glass)

1) กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered Glass) คุณสมบัติของกระจกประเภทนี้คือ ความปลอดภัย ลดอันตรายที่จะเกิดจากการโดนกระจกบาด เพราะการแตกของกระจกนิรภัยเทมเปอร์ จะแตกออกเป็นเม็ดเล็กๆ และมีคมน้อย สามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่ากระจกธรรมดาประมาณ 4 เท่า และในเรื่องของการต้านทานความร้อน (Heat Resistance) ความทนทานของกระจกต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กระจกนิรภัยเทมเปอร์สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 170 องศาเซลเซียส หากสูงกว่านี้กระจกนิรภัยเทมเปอร์ก็จะเริ่มแตก

กระบวนการผลิตกระจกสามารถกระทำได้โดยนำกระจกไปผ่านกระบวนการเทมเปอร์ริง (Tempering) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยสร้างให้เกิดชั้นของแรงอัด (Compressive Stress) ที่ผิวแก้วเพื่อต้านแรงจากภายนอก กระทำได้โดยการให้ความร้อนกับกระจกที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) ของแก้วเล็กน้อยที่อุณหภูมิประมาณ 650-700 องศาเซลเซียส และใช้ลมเย็นเป่า (Air Quenching) เพื่อทำให้ผิวกระจกเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ผลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างผิวนอกกับส่วนกลางของแผ่นกระจกจะทำให้เกิดเป็นชั้นของแรงอัดชั้นที่ผิวนอก

ของแผ่นกระจกทั้ง 2 ด้าน โดยจะประกบชั้นส่วนกลางเหมือนลักษณะแซนวิช (Sandwich) และชั้นที่ผิวนี้จะช่วยต้านแรงจากภายนอกทำให้กระจกที่ผ่านกระบวนการเทมเปอร์ริงแล้วมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นกว่าเดิมประมาณ 4 เท่า

2) กระจกฮีตสเตรงเทน (Heat Strengthen Glass) คุณสมบัติของกระจกประเภทนี้คือ เป็นกระจกกึ่งนิรภัย ที่มีความแข็งแรงกว่ากระจกธรรมดาประมาณ 2 เท่า สามารถรับแรงอัดของลมได้ดีกว่ากระจกธรรมดาที่มีความหนาเท่ากัน จึงสามารถนำไปใช้ในการติดตั้งกับโครงสร้างอาคารสูงได้ โดยลดความหนาของกระจกลง และสามารถใช้กับสถานที่ที่ต้องเผชิญกับภาวะที่มีความร้อนสูงกว่าปกติ ลักษณะการแตกของกระจกชนิดนี้ จะแตกเป็นแผ่นเหมือนกับกระจกธรรมดา

กระบวนการผลิตกระจกประเภทนี้คล้ายกับกระจกนิรภัยเทมเปอร์ คือ ให้ความร้อนกับกระจก แล้วปล่อยให้กระจกเย็นตัวลงอย่างช้าๆ ซึ่งจะแตกต่างจากกระจกนิรภัยเทมเปอร์ตรงส่วนนี้ จึงทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่ากระจกนิรภัยเทมเปอร์ ในการใช้งานจึงต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดในเรื่องความแข็งแรงของกระจกด้วย

2.2.4.2 กระจกเคลือบผิว (Surface Coated Glass) เป็นกระจกที่ผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจกเพื่อให้เกิดการสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์และสะท้อนแสง เหมาะสำหรับนำไปใช้งานในด้านการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกระจกเคลือบผิวแบ่งตามรูปแบบของการเคลือบผิวได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

การแบ่งตามชื่อบริษัทผู้ผลิตเครื่องเคลือบผิวกระจกที่ใช้ในประเทศไทยได้ 2 แบบ คือ

1) แบบแอร์โค (AIRCO) เป็นวิธีการเคลือบโดยใช้โลหะหลักในการเคลือบ คือ ไทเทเนียมบริสุทธิ์ (Ti) ซึ่งสามารถเคลือบให้ได้ภาพลักษณ์ สี และคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานที่แตกต่างกันตามชื่อรหัสการเคลือบต่างๆ ดังต่อไปนี้ TE - Titanium Earth, TS - Steel Blue, SS - Silver และ TBU- Blue

2) แบบเลย์โบลด์ (LEYBOLD) เป็นวิธีการเคลือบโดยใช้โลหะหลักในการเคลือบคือ ดีบุกบริสุทธิ์ (Sn) โดยมีคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกับแบบแอร์โค แต่ให้สีสัมผัสที่แตกต่างไปจากแบบแอร์โค ตามชื่อรหัสการเคลือบต่างๆ ดังต่อไปนี้ SL - Silver, AS - Antique Silver, BR - Bronze และ SB - Sapphire Blue

การแบ่งตามเทคนิคในการเคลือบผิวกระจกได้ 2 แบบ คือ

1) การเคลือบแบบสุญญากาศ (Vacuum Deposition or Soft Coating) มีกระบวนการผลิตคือ ฟันโลหะออกไซด์บางชนิดบนผิวด้านใดด้านหนึ่งของแผ่นกระจก ซึ่งตัวกระแสไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยาทำให้โลหะเกาะบนผิวกระจก สารที่เคลือบกระจกสามารถเคลือบไปทุกอนุของผิวกระจก แต่การเคลือบด้วยวิธีการนี้สารที่เคลือบจะถูกดูดซับออกได้ง่าย อีกทั้งกระจกที่ผ่าน

การเคลือบโลหะออกไซด์แล้วจะนำมาผ่านกระบวนการเทมเปอร์หรือฮีตสเตรนเทนไม่ได้ เนื่องจากความร้อนจากกระบวนการดังกล่าวจะทำลายโลหะออกไซด์ที่เคลือบบนผิวกระจก และในการติดตั้งกระจกชนิดนี้ควรนำด้านที่เคลือบไว้ภายในอาคาร อายุการจัดเก็บกระจกสั้นกว่าการเคลือบแบบไพโรลิติก

2) การเคลือบแบบไพโรลิติก (Pyrolytic Deposition or Hard Coating) กรรมวิธีนี้กระจกจะถูกเคลือบในขณะที่กระจกยังอยู่ในลักษณะที่เป็นของเหลว โลหะออกไซด์จะกระจายแทรกซึมลงในเนื้อกระจกด้วย แม้วิธีนี้โลหะออกไซด์ไม่สามารถกระจายไปทุกพื้นผิวของกระจกอย่างสม่ำเสมอ แต่ก็สามารถทำให้กระจกที่เคลือบแบบไพโรลิติกมีความแข็งแรงทนทานกว่ากระจกที่เคลือบแบบสุญญากาศ อีกทั้งกระจกที่ผ่านการเคลือบโลหะออกไซด์แล้วสามารถนำไปผ่านกระบวนการเทมเปอร์หรือฮีตสเตรนเทนได้ มีความคงทนต่อรอยขีดข่วนมากกว่าการเคลือบแบบสุญญากาศ ในการติดตั้งกระจกสามารถนำด้านที่เคลือบออกสู่ภายนอก หรือหันเข้าด้านในอาคารก็ได้ แต่ทั้งนี้ผู้ผลิตแนะนำให้ติดตั้งด้านที่เคลือบไว้ภายในอาคาร

ในการเลือกใช้กระจกเคลือบผิวเพื่อการประหยัดพลังงานนั้น หากกระจกมีค่าการสะท้อนแสงมาก ความร้อนที่ผ่านเข้าไปภายในก็จะน้อย กระจกเคลือบผิวที่มีปริมาณการสะท้อนแสงสูงกว่าจะสามารถประหยัดพลังงานได้ดีกว่ากระจกที่มีปริมาณการสะท้อนแสงต่ำกว่า และกระจกที่เลือกใช้ควรมีความร้อนที่ได้รับจากการสะท้อนแสง (Reflective Heat Gain) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ที่น้อยที่สุดที่สามารถยอมรับได้

กระจกเคลือบผิว สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ และกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ มีรายละเอียดดังนี้

1) กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ (Solar Reflective Glass) มีคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสงทำให้สามารถสะท้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีได้บางส่วน ทำให้แสงจากดวงอาทิตย์และความร้อนผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อย ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ ตัวกระจกมีการเคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ซึ่งมีค่าความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย การสะท้อนแสงค่อนข้างสูง มีสีสันทันที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและรูปแบบการเคลือบกระจก ในการนำกระจกชนิดนี้มาใช้งาน มีสิ่งที่จะต้องพิจารณาในการใช้งานคือ ควรให้ด้านที่เคลือบวัสดุอยู่ด้านในของอาคารเสมอ เพื่อให้ได้เห็นสีของกระจกและเพื่อไม่ให้วัสดุเคลือบสัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอก

2) กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-E Glass) เป็นกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำมีการเคลือบสารโลหะ โดยมีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นองค์ประกอบสำคัญเพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่มีค่าการแผ่รังสี (Emissivity) ต่ำมาก ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณสมบัติในการประหยัดพลังงาน

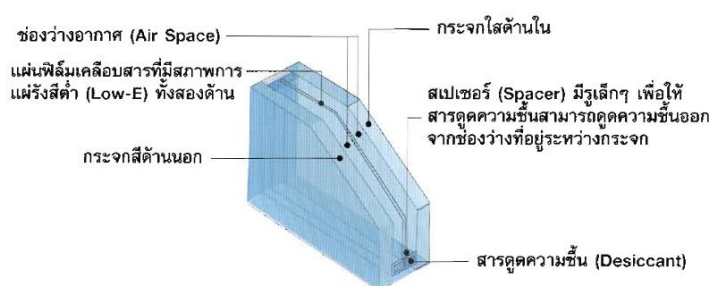
ได้สูง โดยที่กระจกยังคงมีลักษณะใส มีค่าการสะท้อนแสงน้อย และให้ค่าแสงส่งผ่านมาก โดยกระจกจะยอมให้รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) จากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาในตัวอาคาร ในขณะที่เดียวกันก็สะท้อนรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) หรือรังสีความร้อนออกนอกอาคารพอสมควร ทำให้กระจกชนิดดังกล่าวถูกนำไปใช้ทำเป็นกระจกฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี แต่กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำมีข้อที่ควรพิจารณา คือ สารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำเป็นสารที่ไวต่อการเสียหาย ดังนั้นจึงไม่ควรหันผิวกระจกด้านที่ฉาบสารนี้ไว้ด้านนอก ซึ่งในปัจจุบันจะให้ด้านที่เคลือบสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำอยู่ในช่องว่างระหว่างกระจกเท่านั้น อีกทั้งการบรรจุก๊าซเฉื่อยในช่องว่างระหว่างกระจกของกระจกรุ่นใหม่ ๆ แทนการใช้อากาศแห้ง (Dry Air) จะช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนให้กับกระจกได้ดี ดังนั้นกระจกชนิดนี้จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในประเทศที่มีอากาศร้อนอย่างประเทศไทย

2.2.4.3 กระจกดัดแปลง (Processed Glass) เป็นกระจกที่นำมาดัดแปลงด้วยกระบวนการ (Process) ต่างๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานตามจุดประสงค์ได้ดีขึ้น และตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งกระจกดัดแปลง สามารถแบ่งออกเป็น กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated Glass) สามารถแบ่งได้เป็น กระจกฮีตมิเรอร์ (Heat Mirror) และกระจกฮีตสโตป (Heat Stop) และกระจกนิรภัยหลายชั้น (Laminated Glass) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated glass) เป็นกระจกที่นำมาดัดแปลงด้วยกระบวนการต่างๆ เพื่อให้นำไปใช้งานได้ดีขึ้น และมีประสิทธิภาพในการใช้งาน มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนต่ำ สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “กระจกสองชั้น” (Doubled Glazing) ซึ่งช่องว่างระหว่างกระจกสามารถใช้อากาศแห้งเป็นฉนวน หรือใช้ก๊าซเป็นฉนวนก็ได้ โดยอากาศแห้งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี และช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้มากกว่ากระจกธรรมดา ในขณะที่ก๊าซเฉื่อยมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบใช้อากาศแห้ง ถ้าหากนำกระจกนิรภัยมาประกอบเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน (Airless Laminated Insulating Glass) ก็จะมีความปลอดภัยมากขึ้นและราคาก็สูงขึ้นตามไปด้วย การใช้กระจกฉนวนกันความร้อนจะสามารถป้องกันความร้อนจากภายนอก และเก็บความเย็นไว้ภายในได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างของกระจกฉนวนกันความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในประเทศไทยในปัจจุบัน โดยชื่อกระจกทั้งสองชนิดเป็นชื่อทางการค้าของบริษัทผู้ผลิตเช่น กระจกฮีตมิเรอร์ และกระจกฮีตสโตป ซึ่งมีข้อมูลโดยสังเขปดังต่อไปนี้

2) กระจกฮีตมิเรอร์ (Heat Mirror) ลักษณะเป็นระบบของกระจกสองชั้น (Double Glazing) ที่เคลือบสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำทั้งสองด้านของฟิล์มที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างกระจก โดยที่ช่องว่างทั้งสองข้างจะกลายเป็นช่องว่างอากาศสะท้อนรังสี (Reflective Air Space) ซึ่งจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกชนิดนี้ (U-Value) อาจมีค่าต่ำถึง 14 วัตต์/ตารางเมตร-เคลวิน (0.25 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง-องศาฟาเรนไฮต์) คุณสมบัติของกระจกชนิดนี้คือ สามารถสะท้อนความร้อน (Reflect) ออกไปจากกระจกได้ถึงประมาณ 80% หรือยอมให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาเพียงประมาณ 10% ที่เหลืออีกประมาณ 10% จะถูกดูดกลืนเข้าไปในกระจก ทำให้ความร้อนที่เข้ามาในอาคารมีน้อยมาก และผิวกระจกก็จะไม่ร้อน และสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ประมาณ 98%

ภาพที่ 2.5: ส่วนประกอบของกระจกฮีตมิเรอร์ ที่สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ดี



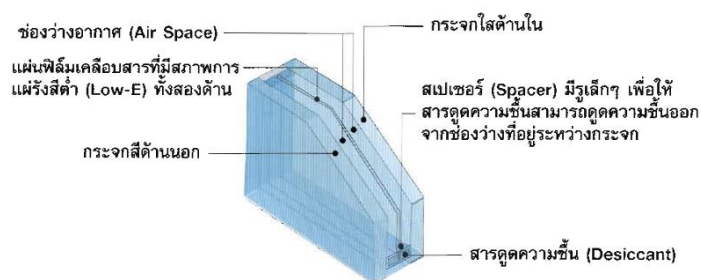
ที่มา: ประเภทของกระจก. (2565). สืบค้นจาก

<https://stalucon.igetweb.com/index.php?mo=3&art=42034221>.

3) กระจกฮีตสต็อป (Heat Stop) มีลักษณะเป็นกระจกสองชั้นประกอบขึ้นจากกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบด้วยสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำเป็นกระจกด้านนอก และกระจกใสใช้ด้านใน สารที่เคลือบนั้นสามารถป้องกันความร้อนอินฟราเรด ให้ผ่านเข้ามาเพียง 5% ช่องว่างตรงกลางบรรจุก๊าซอาร์กอน ซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ ทำให้กระจกชนิดนี้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมต่ำ โดยแสงสามารถผ่านกระจกชนิดนี้เข้ามาได้ประมาณ 60% ยกตัวอย่างเช่น กระจกฮีตสต็อป รุ่น CLEAR 66/34 สามารถสะท้อนความร้อนออกไปจากกระจกได้มาก สามารถสะท้อนความร้อนได้ประมาณ 31% ยอมให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาประมาณ 33% ที่เหลืออีกประมาณ 36% จะถูกดูดกลืนเข้าไปในกระจก อีกประมาณ 60% ยอมให้แสงสว่างผ่านเข้ามาใน

อาคารได้ ช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟ อีกทั้งยังช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ถึงประมาณ 95%

ภาพที่ 2.6: ส่วนประกอบของกระจกฮีตสติกอป ที่สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ดี

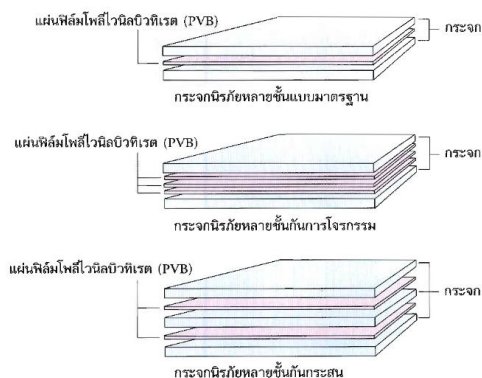


ที่มา: ประเภทของกระจก. (2565). สืบค้นจาก

<https://stalucon.igetweb.com/index.php?mo=3&art=42034221>.

4) กระจกนิรภัยหลายชั้น (Laminated Glass) เป็นกระจกให้ความปลอดภัยสูง นิยมใช้เป็นหน้าต่างอาคารสูง กระจกกันกระสุน หรือกระจกบังลมของรถยนต์ เป็นต้น วัตถุประสงค์ของกระจกก็เพื่อให้ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ และช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ โดยลดความร้อนจากแสงแดดที่ผ่านเข้ามาในอาคาร กระจกชนิดดังกล่าวมีกระบวนการผลิตคือ การนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาผนึกเข้าด้วยกัน โดยมีแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลบิวทีเรต (Polyvinyl Butyrate: PVB) ที่เหนียวและแข็งแรงซ้อนอยู่ระหว่างกลางทำหน้าที่ยึดกระจกให้ติดกัน โดยแผ่นฟิล์มในกระจกนิรภัยหลายชั้นช่วยในการลดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นตัวการในการทำให้เครื่องเรือน หรือวัตถุภายในอาคารมีสีซีดจางและเสื่อมสภาพลง อีกทั้งเมื่อกระจกชนิดนี้ถูกกระแทกจนแตก แผ่นฟิล์มโพลีไวนิลบิวทีเรตจะช่วยยึดไม่ให้เศษกระจกหลุดกระจาย รอยแตกหรือร้าวจะมีลักษณะคล้ายกับใยแมงมุม แต่กระจกชนิดนี้ก็มีข้อจำกัดในการใช้งานคือเมื่ออุณหภูมิของกระจกนิรภัยหลายชั้นเพิ่มสูงขึ้นไปถึงระดับหนึ่งคือ 170 องศาฟาเรนไฮต์ (หรือประมาณ 77 องศาเซลเซียส) การสะสมความร้อนภายในกระจกจะสูงขึ้น ความสามารถของฟิล์มในการยึดเกาะกระจกจะลดลง ผลก็คือความสามารถในการรับแรงกระแทกและการรับน้ำหนักจะลดลงตามไปด้วย

ภาพที่ 2.7: ลักษณะกระจกนิรภัยหลายชั้น



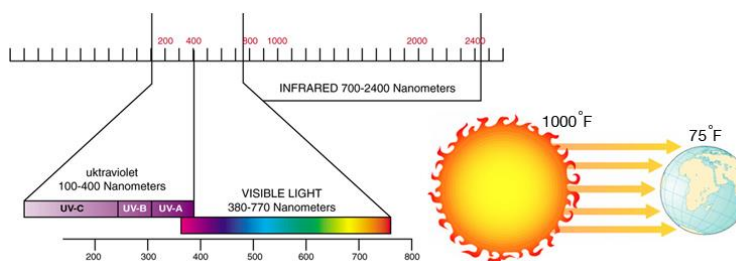
ที่มา: ประเภทของกระจก. (2565). สืบค้นจาก

<https://stalucon.igetweb.com/index.php?mo=3&art=42034221>.

2.3 พฤติกรรมและคุณสมบัติของรังสีอาทิตย์

คลื่นแสงจากดวงอาทิตย์ที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกมายังพื้นผิวโลก เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวได้ว่าแสงธรรมชาติและรังสีอินฟราเรดเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของพลังงานจากรังสีอาทิตย์ โดยคลื่นแสงนั้นมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ประการ คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet : UV) หรือรังสีเหนือม่วง มีความถี่ระหว่าง 280-380 นาโนเมตร มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.29-0.4 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นรังสีที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวหนังมนุษย์ และทำให้สีของเครื่องใช้ตลอดจนเฟอร์นิเจอร์ต่างๆเปลี่ยนแปลงไป มีสัดส่วนเป็น 9% ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ประการที่สองคือ แสงที่มองเห็นได้ มีความถี่ระหว่าง 380-780 นาโนเมตร มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.4-0.7 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของแสง ได้แก่ สีแดง สีส้ม เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม และม่วง มีสัดส่วนเป็น 38% ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด และประการที่สามคือ รังสีอินฟราเรด มีความถี่ 780-2,500 นาโนเมตร มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.7-3.5 ไมโครเมตร เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของความร้อน และเป็นพลังงานส่วนใหญ่ของพลังงานจากแสงอาทิตย์ มีสัดส่วนถึง 53% ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ดังนั้น เมื่อเราสัมผัสกับแสงอาทิตย์จึงรู้สึกว่าร้อน (สวิซญา ดาวประกายมงคล, 2552)

ภาพที่ 2.8: สเปกตรัมรังสีอาทิตย์



ที่มา: สเปกตรัมรังสีอาทิตย์. (2565). สืบค้นจาก <http://www.ozonefilm.com/filminfo.php>.

โดยทั่วไปแล้วที่ความยาวคลื่นประมาณ 555 นาโนเมตร ตาของมนุษย์สามารถตอบสนองต่อแสงได้ดีที่สุด โดยปกติแสงจะเป็นแสงสีขาว (White Light) ที่ประกอบด้วยสีต่างๆ คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง ที่รวมกันอยู่ ซึ่งคุณสมบัติของแสงสามารถปรากฏได้หลายลักษณะได้แก่

1. คลื่นแสงรบกวน (Interference) สีที่เกิดขึ้นเมื่อแสงส่องผ่านชั้นที่โปร่งใสบางๆ เช่น ฟองสบู่ จะเกิดสีรุ้งขึ้นเนื่องจากแสงจะผ่านวัตถุนั้นไปไม่ได้ทั้งหมด ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามความหนาบางของวัตถุ เช่น รั้วสีบนเปลือกหอยมุก หรือแสงสีรุ้งบนฟองสบู่ เป็นต้น

2. การหักเหของแสง (Refraction) เกิดจากการที่แสงส่องผ่านตัวกลางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าไปยังความหนาแน่นมากกว่า หรือความยาวคลื่นของแสงจะหักเหแตกต่างกันไป ทำให้แสงขาวแตกเป็นสีต่างๆ

3. การเบี่ยงเบนของแสง (Diffraction) หมายถึง แสงจะแยกออกเป็นสีต่างๆ เมื่อมีวัตถุมากีดขวางทางเดินของแสงแล้วปล่อยให้แสงลอดออกจากช่องที่เล็กมากๆ เช่น ให้แสงลอดผ่านเข้าทางช่องกระจก เป็นต้น

4. การดูดกลืนและการสะท้อนกลับ (Absorption and Reflection) เมื่อแสงตกกระทบผิวหน้าของวัตถุ คลื่นแสงบางตัวจะถูกดูดกลืนที่ผิวหน้าของวัตถุ ขณะที่คลื่นแสงส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดสะท้อนออกจากผิวหน้าของวัตถุนั้น เช่น การเห็นสีเขียวเกิดจากวัตถุดูดกลืนคลื่นทั้งหมด ยกเว้นคลื่นแสงสีเขียว ซึ่งจะสะท้อนให้ตาเห็นเป็นสีดังกล่าว

การดูดกลืนและการสะท้อนกลับจะส่งผลให้พฤติกรรมของแสงหรือแนวทางการเดินทางของแสงเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเราสามารถแบ่งพฤติกรรมของแสงออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.3.1 การสะท้อนแสง (Light Reflection) หมายถึง การที่แสงตกกระทบผิววัตถุแล้วสะท้อนออกมาโดยที่พลังงาน และความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นแสงไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเมื่อ

แสงตกกระทบกระจก จะส่งผลให้แนวทางการเดินทางของแสงเปลี่ยนแปลงไป ในทางกฎหมายได้กำหนดค่าสะท้อนแสงภายในไม่ให้เกินร้อยละ 30

2.3.2 การดูดกลืนของแสง (Light Absorption) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนเข้าไปในกระจกที่แสงตกกระทบ โดยความสามารถในการดูดกลืนของตัวกลางจะมีผลต่อปริมาณการดูดกลืนของแสง ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสีและประเภทของกระจก เช่น กระจกสีเข้มจะมีการดูดกลืนแสงมากจนส่องผ่านเข้าอาคารได้น้อย จึงทำให้ภายในอาคารไม่สว่าง นอกจากนั้นแสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไป จะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในอาคารเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น

2.3.3 การส่องผ่านของแสง (Light Transmission) หมายถึง การที่แสงตกกระทบกระจก แล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของกระจก ซึ่งบางส่วนจะถูกดูดซับในตัวกระจก ในขณะที่แสงอีกส่วนจะส่องทะลุผ่านออกมา โดยการส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ กรณีตัวกลางโปร่งใส (Transparent Medium) เช่น กระจกใสและกระจกสีต่าง ๆ เมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และการเปลี่ยนทิศทางของแสง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสีและคุณสมบัติของกระจกนั้นๆ และแสงจะทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน และกรณีตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium) เช่น กระจกฝ้า กระจกพันทราย กระจกเคลือบสีเซรามิกโปร่งแสง เป็นต้น การส่องผ่านของแสงที่ผ่านตัวกลางประเภทนี้จะมีลักษณะกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแสงแหล่งกำเนิดที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ จะพบว่ามีความส่องผ่าน (Visible Light Transmission) ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการควบคุมแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานอาคาร ทั้งนี้ นอกจากจะคำนึงถึงพฤติกรรมของแสงแล้ว แนวคิดในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้นก็มีความสำคัญเช่นกัน เช่น ห้องสมุดต้องการใช้แสงสว่างธรรมชาติมากๆ จะเลือกใช้กระจกที่มีค่าแสงส่องผ่านสูง ในขณะที่อาคารสำนักงานต้องการความเป็นส่วนตัวโดยมิให้บุคคลภายนอกเข้ามาในอาคารได้ชัด เลือกใช้กระจกสะท้อนแสงที่มีค่าแสงส่องผ่านต่ำกว่า ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบช่องแสงเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงไฟจากการประดิษฐ์ลง เมื่อกล่าวถึงแสงสว่างจากธรรมชาติจะหมายถึงแสงสว่างในเวลากลางวัน ซึ่งมีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติจึงขึ้นอยู่กับการโคจรของดวงอาทิตย์ และการโคจรนี้ก็มีผลกระทบกับการเห็นสีต่างๆ ซึ่งแสงขาวนี้เป็นแสงที่จะเห็นสีได้ชัดเจนที่สุดในตอนเที่ยงวัน จึงมักยึดเป็นค่ากลางในการเปรียบเทียบสี ในการวางมาตรฐานสีที่จะใช้สีที่ปรากฏขณะเที่ยงวัน สาเหตุที่ยึดสีภายใต้แสงนี้เป็นมาตรฐานก็เพราะถือเป็นสภาพแสงที่แจ่มชัด เนื่องจากสภาพที่เปลี่ยนแปลงของอากาศจะเป็นตัวแปร

ทำให้สีของแสงธรรมชาติเปลี่ยนไปได้ เช่น ปริมาณเมฆบนท้องฟ้าจะกรองคลื่นแสงสีแดง แสด และ เหลือง ทำให้สีต่าง ๆ หม่นลง การพิจารณาความถูกต้องของสี (Color Rendering) วัตถุต่าง ๆ ด้วย วิธีง่าย ๆ เทียบได้จากแสงเทียนวัน แม้ว่าการเทียบสีกระจกที่จะต้องมองสีกระจกที่ผ่านแสงธรรมชาติ จึงจะเห็นสีกระจกอันใกล้เคียงกับกระจกผนังที่จะใช้งานจริงมากที่สุด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจก

2.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและกรอบอาคาร ในประเทศเขต ภูมิอากาศ อาคารระบบผนังกระจกสองชั้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบผนังกระจกชั้นเดียว สามารถลด การใช้พลังงานลงได้ถึง 65% และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ ถึง 50% (Wigginton & McCarthy, 2000 อ้างใน เชษฐพรพรณ สีนเจิมสิริ, 2552) และจากการศึกษาในงานวิจัยในส่วนของงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องในประเด็นที่เกี่ยวกับกระจกของ สถาพร สกุลวัฒน์ (2550) ได้สรุปไว้ดังนี้

คอร์โบดา จูเลีย และเอสเปียนซา เจ. แมเนล (Corboda Julia & Espionsa J. Maneul, 1998 อ้างใน สถาพร สกุลวัฒน์, 2550) ได้ศึกษาศักยภาพการประหยัดพลังงานโดยใช้กระจก เคลือบผิวอาคารสำนักงานในเมืองเมดริด (Madrid) ประเทศสเปน โดยเน้นการประหยัดพลังงาน ไฟฟ้า จากการใช้น้ำกระจกสองชั้นโดยใช้โปรแกรมในการทำการทดลอง โดยนำกระจกตัวอย่างคือ กระจก สองชั้นมาศึกษาด้วยกัน 4 แบบ ผลการศึกษาพบว่าการใช้กระจกฉนวนสองชั้น ที่ประกอบด้วย กระจก ควบคุมแสงช่องว่างอากาศและกระจกใสเคลือบสารเปล่งรังสีต่ำ (Low - E) ส่งผลให้ความสามารถใน การทำความเย็นต่ำสุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SHGC) ต่ำ และสามารถประหยัด พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าการใช้กระจกเคลือบถึง 12 % และจากการศึกษาผลของพื้นที่ กระจกโดยใช้ กระจก ฉนวนสองชั้น ที่ประกอบด้วยกระจกควบคุมแสงช่องว่างอากาศและกระจกใส เคลือบสารเปล่ง รังสีต่ำ Low - E ซึ่งมีลักษณะการประหยัดพลังงานมากที่สุดพบว่าการเพิ่มพื้นที่จาก 20% เป็น 60% จะเพิ่ม การใช้พลังงานประมาณถึง 10% ดังนั้นสัดส่วนพื้นที่ของหน้าต่างกระจก จึงมี ผลต่อปริมาณการ ใช้พลังงานภายในอาคารด้วย

เอส. ซี. สคราร์ และเคนเนธลิม ลิม เซอร์ (S.C. Sckhar & Kennethlim Lim Cher, 1998 อ้างใน สถาพร สกุลวัฒน์, 2550) ได้ทำการในการศึกษาอาคารสมมติในประเทศสิงคโปร์ซึ่งสูง 20 ชั้น ที่มีการใช้ระบบหน้าต่างแบบกระจกสองชั้น Smart Window โดยได้กล่าวถึงโดยเปรียบเทียบ การทำความเย็นกับการใช้พลังงานที่ประหยัดได้จากการใช้หน้าต่างกระจกชนิดดังกล่าว กับ กระจก ชนิดอื่นโดยใช้โปรแกรมในการศึกษา ผลที่ได้จากโปรแกรมพบว่า หน้าต่าง Smart Window สามารถ ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้ถึงร้อยละ 70-80 เทียบกับหน้าต่างแบบอื่นที่ประหยัด

ได้ถึง 50-70% และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับอัตราผลตอบแทน ระยะเวลาในการคืนทุน และมีความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้น การที่จะนำกระจกมาใช้กับอาคาร ควรคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วยว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้หรือลงทุนหรือไม่

เอส. เจ แฮร์ริสัน และเอฟ. เอ็ม. ดูบรูส (S.J. Harrison & F.M. Dubrous, 1990) ได้วิเคราะห์หาค่า U-Value ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ของกระจก (SHGC) และคุณลักษณะทางความร้อน (Thermal Characteristics) โดยใช้เรื่องทดสอบแสงอาทิตย์เทียมทดสอบในที่ที่ไม่มีแสงแดด กับตัวอย่างกระจก กระจกชั้นเดียว กระจกสองชั้น และกระจกสมรรถนะสูง ผลการทดสอบพบว่าถ้ากระจกมีค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ของกระจก (SHGC) ยิ่งน้อยจะทำให้ปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกน้อยตามไปด้วย ดังนั้น การที่จะนำกระจกมาใช้ควรพิจารณาถึงค่า SHGC ประกอบด้วย เพื่อลดปริมาณความร้อนของแสงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคาร

ดลยา ศิริบุ (2548) ได้ทำการศึกษาพบว่าวัสดุเปลือกอาคารอันได้แก่ หลังคา และกระจก มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายในอาคารมากกว่าองค์ประกอบประเภทอื่น จึงได้กำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร เพื่อทำการเปรียบเทียบให้เหมาะสมและประหยัดพลังงาน โดยทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้านปริมาณการใช้พลังงานของเปลือกอาคารในแต่ละแนวทางโดยมุ่งเน้นที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน ตามกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ได้กล่าวถึงประเด็นที่ต้องพิจารณาก่อนปรับปรุงอาคาร ซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตัวอาคารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารเป็นอย่างมาก ได้แก่ การปรับปรุงกรอบอาคาร การปรับปรุงที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร และความคุ้มค่าด้านการลงทุน (โสพิศ ชัยชนะ, 2558)

สุวัฒน์ ผาบจินดา (2551 อ้างใน โสพิศ ชัยชนะ, 2558) ศึกษาเรื่องการลดความร้อนผ่านช่องเปิดของอาคาร โดยพิจารณาให้มีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด (WWR) ให้น้อยที่สุด โดยในการเลือกชนิดกระจกหน้าต่าง ควรพิจารณาเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ต่ำ และมีค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน (LSG) สูง ตัวอย่างกระจกชนิดต่างๆที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ กระจกตัดแสง (Tinted Glass) กระจกดูดกลืนความร้อน (Heat-Absorbing Glass) กระจกเคลือบผิวสะท้อนแสง (Reflective Metallic Coating) กระจกแผ่นรังสีต่ำ (Low-E) ซึ่งเป็นกระจกที่มีค่า SHGC ต่ำ ช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้มาก มีราคาค่อนข้างสูง และกระจกสองชั้น (Double Glazing) ประกอบจากกระจกสองแผ่นที่มีช่องว่างระหว่างกลางเป็นก๊าซเฉื่อย หรือสุญญากาศ มีคุณสมบัติป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยอัตรา

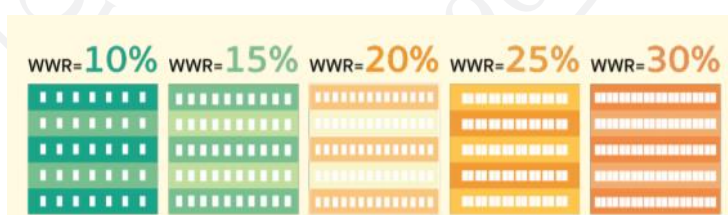
ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกระจกชนิดอื่นๆ ในขณะเดียวกันก็ยอมให้แสงผ่านเข้าสู่ตัวอาคารได้มากด้วย (สุรพล ดชพล, 2552 อ้างใน โสพิศ ชัยชนะ, 2558)

การศึกษาเกี่ยวกับช่องว่างระหว่างกระจกที่ส่งผลให้เกิดภาระในการทำความเย็นน้อยที่สุด และเกิดการประหยัดพลังงาน โดยได้มีการทดสอบความกว้างของช่องอากาศภายในระบบผนังกระจก สองชั้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ด้วยความกว้างของช่องอากาศมีขนาดต่างๆ ดังนี้ 0.6 , 0.9 , 12 และ 15 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ความกว้างของช่องอากาศขนาด 1.2 เมตร ของอาคารที่มีความสูง 3 ชั้นมีภาระในการทำความเย็นน้อยที่สุด (เทพพิทักษ์ วะสุรีย์, 2552 อ้างใน เชษฐพรณ สินเจิมสิริ, 2552) ดังนั้น ความกว้างของช่องว่างระหว่างกระจกมีผลเกี่ยวเนื่องกับการใช้พลังงานในอาคารด้วย

2.4.2 การศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร

สัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร (Window to Wall Ratio: WWR) หมายถึง อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่จะนำมาพิจารณา โดยในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานนอกจากการเลือกใช้วัสดุแล้ว ต้องคำนึงถึงอัตราสัดส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดด้วย เพราะความร้อนที่ผ่านผนังโปร่งแสงจะมากกว่าผนังทึบ 5 เท่า ทั้งนี้การกำหนดค่า WWR ควรคำนึงถึงการใช้ประโยชน์ที่ได้จากแสงธรรมชาติ และรวมถึงปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่เหมาะสม หากอาคารมีอัตราส่วนพื้นที่ผนังโปร่งแสงน้อย ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารก็จะน้อยลงตามไปด้วย (กุลวิชญ์ นุ้ยเพชร, 2558)

ภาพที่ 2.9: อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ



ที่มา : กระทรวงพลังงาน ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (2560).

คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2564

จาก <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/guidelinrBEC2017.pdf>

จากคู่มือการออกแบบอาคารภาครัฐที่จะก่อสร้างใหม่ให้เป็นอาคารเขียวภาครัฐ พ.ศ. 2562 ออกโดยกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย กล่าวว่า ในระบบกรอบอาคารควรออกแบบให้อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสง และผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

(window to wall ratio, WWR) มีค่าไม่เกินร้อยละ 40 และในส่วนของผนังโปร่งแสงหรือหน้าต่าง ควรเลือกใช้กระจกที่มีค่า solar heat gain coefficient (SHGC) ต่ำ และมีค่า light to solar gain ratio (LSG) มากกว่า 1 เนื่องจากอาคารที่มีค่า OTTV สูงมักเกิดจากการที่มีช่องหน้าต่างหรือผนัง โปร่งแสงขนาดใหญ่มาก ส่วนผนังที่ควรใช้วัสดุผนังที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง

ในส่วนช่องว่างระหว่างกระจก ได้มีการทดสอบความกว้างของช่องอากาศภายในระบบ ผนังกระจกสองชั้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TA โดยความกว้างของช่องอากาศมีขนาด 0.6, 0.9, 12 และ 15 เมตร ผลปรากฏว่า ความกว้างของช่องอากาศขนาด 1.2 เมตร ของอาคารที่มีความสูง 3 ชั้น มีการะในการทำความเย็นน้อยที่สุด (เทพพิทักษ์ วะสุรีย์, 2552 อ้างใน เชษฐพรรณ สินเจิมสิริ, 2552)

2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

ในปี พ.ศ. 2525 มีการศึกษาวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจก ด้วยวิธีการ สมดุลพลังงานความร้อนในแต่ละชั้นของกระจก โดยคำนึงถึงปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น ค่า ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศภายนอก ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และอุณหภูมิอากาศภายในให้มี ค่าคงที่ในช่วง เวลาหนึ่ง พบว่าวิธีดังกล่าวสามารถคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจก และยัง สามารถหาคุณสมบัติทางความร้อนของกระจก อันได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน รวม (ค่า U-Value), ค่า Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) และ ค่าสัมประสิทธิ์บังเงา (Shading Coefficient, SC) (Rubin M., 1982 อ้างใน นพรัตน์ คำพร, 2544)

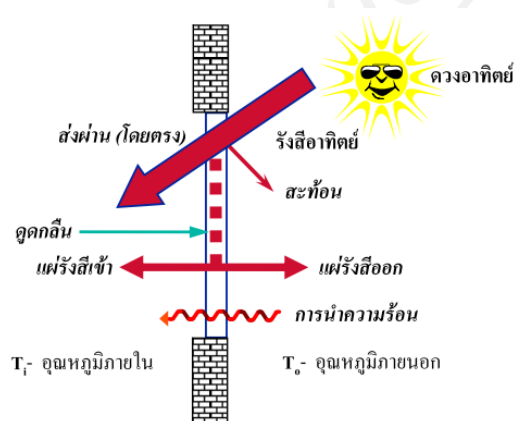
ต่อมาในปี พ.ศ. 2529 มีการวิจัยเพื่อปรับปรุงและเพิ่มเติมของRubin ในเรื่องเกี่ยวกับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจก ได้เพิ่ม เติมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านส่วนขอบและกรอบของหน้าต่างกระจก และสามารถ คำนวณหาการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกที่ถูกจัดวางในลักษณะเอียงตัวในมุม ต่างๆ นำมา ใช้ในโปรแกรมเพื่อประมวลผลต่อไป (Arasteh, D. & Rubin M., 1989 อ้างใน นพรัตน์ คำพร, 2544)

ในปี พ.ศ. 2534 มีการนำเสนอวิธีการคำนวณค่าคุณสมบัติทาง optical ของหน้าต่าง กระจกชนิดไม่เคลือบสารบนผิวกระจก (Uncoated glass) เช่น ค่าการสะท้อน (Reflectance) ค่าการ ดูดกลืน (Absorbance) และค่าการส่งผ่าน (Transmittance) เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อน ผ่าน หน้าต่างกระจก ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นกับมุมตกกระทบ และความยาวคลื่น การคำนวณนั้น จะใช้ค่าคุณสมบัติทาง optical ที่ตำแหน่งตั้งฉากซึ่งได้จากการตรวจวัด และความหนา ของกระจกเป็น ข้อมูลในการคำนวณ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณ และการตรวจวัด คุณสมบัติทาง optical ที่มุมตกกระทบต่างๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้น

วิธีการดังกล่าวสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่าคุณสมบัติทาง optical ของหน้าต่างกระจกชนิดไม่เคลือบสารบนผิวกระจกได้โดยไม่ต้องทำการตรวจวัด (Fuller, R & Angular, 1991 อ้างใน นพรัตน์ คำพร, 2544)

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนผิวด้านนอกของกระจก หรือเมื่อผนังกระจกได้รับความร้อน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนและส่งผ่านแสงอาทิตย์ของกระจก ซึ่งความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจก จึงมีทั้งส่วนที่เกิดจาก การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ซึ่งเรียกว่ากลไกการถ่ายเทความร้อน (Thermal Heat Transfer) ดังนั้น รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะผ่านกระจกเข้าไปในอาคารได้ บางส่วนถูกสะท้อนกลับ และส่วนที่เหลือ จะถูกดูดซับไว้ในตัวของกระจก ซึ่งทำให้กระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือเกิดความร้อนสะสมในตัวกระจก และทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อน โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งสองเท่ากัน ซึ่งความร้อนที่สะสมนี้ส่วนหนึ่งจะถ่ายเท กลับสู่ภายนอก ขณะที่ส่วนที่เหลือจะถูกถ่ายเทเข้าสู่ภายในตัวอาคารและกลายเป็นความร้อนที่เข้าสู่ ตัวอาคารส่งผลต่อภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ อีกทั้งอุณหภูมิอากาศภายนอกและ ภายในอาคารก็มีความแตกต่างกัน ซึ่งก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความร้อนถ่ายเทผ่านกระจกเข้าสู่ อาคาร ทั้งนี้รูปแบบของการถ่ายเทความร้อนจะแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติเฉพาะของ กระจกแต่ละประเภท (ธนัชชัย ถาวรวัฒน์สกุล, 2555)

ภาพที่ 2.10: การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก



ที่มา : กระทรวงพลังงาน ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (2560).

คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2564
จาก <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/guidelinrBEC2017.pdf>

การถ่ายเทความร้อน คือการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากจุด ๆ หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ 3 วิธี ได้แก่ การนำ การพาและการแผ่รังสีความร้อน การเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้จะเกิดขึ้น ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.3.1 การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลของวัตถุ ไปสู่อีกโมเลกุลที่อยู่ติดกัน และยังจะมีการถ่ายเทต่อไปเรื่อย ๆ จนเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานซึ่งกันและกัน และจะหยุดเมื่อพลังงานเท่ากัน ซึ่งเหมือนกับการนำความร้อนที่โมเลกุลที่มีความร้อนมากกว่าสั่นสะท้อนและถ่ายเทพลังงานไปยังโมเลกุลที่มีพลังงานน้อยกว่า โดยที่ตัวกลางหรือวัตถุไม่มีการเคลื่อนไหวหรือกล่าวง่าย ๆ คือเป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งความสามารถในการนำความร้อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น

1) ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ เช่น เหล็กและน้ำ มีความสามารถในการนำความร้อนได้ดีกว่าอากาศ เป็นต้น ในเรื่องของอาคารสำนักงานหรือที่อยู่อาศัย การเลือกใช้วัสดุมีผลต่อระดับอุณหภูมิภายในอาคาร เช่นถ้าเราเลือกใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง (Value) หรือ วัสดุที่มีค่าการส่งผ่านความร้อนต่ำ (U-Value) ก็จะสามารถทำให้การนำความร้อนเข้าสู่ภายในตัวอาคารลดลงได้

2) ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิที่ทำการสังเกต ถ้าอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารมีความแตกต่างกันมากก็จะนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้มาก หากอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารแตกต่างกันน้อย ก็จะสามารถนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อยเช่นกัน ซึ่งหลักเกณฑ์ในการคำนวณการนำความร้อนของผนังกระจกจะต้องพิจารณาที่ค่าของการส่งผ่านความร้อน หรือ ค่า U ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมจำลอง (Simulation Software) ซึ่งจะต้องพิจารณาควบคู่กับพื้นที่ของตัวกระจกด้วย (ธนัชชัย ถาวรวัฒน์สกุล, 2555)

3) ความหนาแน่นของวัตถุ วัตถุที่มีความหนาแน่นมาก ย่อมถ่ายเทพลังงานได้ดีกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อย

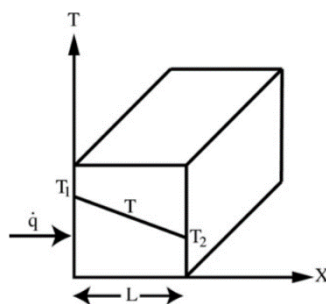
4) ระยะเวลาที่ทำการสัมผัสกับความร้อน วัตถุที่สัมผัสกับความร้อนเป็นระยะเวลานาน จะมีความร้อนเกิดขึ้นที่ตัววัตถุมากกว่าวัตถุที่สัมผัสกับความร้อนเป็นระยะเวลาน้อยกว่า

5) พื้นที่เปิด มีผลต่อการถ่ายเทพลังงานความร้อน หากมีพื้นที่เปิดมาก ความร้อนจะเข้าสู่ภายในอาคารได้มาก ทำให้เกิดความร้อนภายในอาคารและส่งผลต่อการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ทั้งนี้ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีในวัสดุที่เป็นของแข็ง ส่วนวัสดุที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส จะมีการนำความร้อนหรือที่เรียกว่าการพาความร้อน (เชษฐพรพรณ สีนเจิมสิริ, 2552) โดยกฎที่ใช้

อธิบายถึงวิธีการนำความร้อนคือ กฎของ Fourier (Fourier's Law) ได้อธิบายเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนในระนาบหนึ่งมิติตามภาพ

ภาพที่ 2.11: การถ่ายเทความร้อนในระนาบหนึ่งมิติ



ที่มา : The Handbook of Heating. (2022). *Load Estimating Fundamentals*. Retrieved from <https://www.globalspec.com/reference/64952/203279/chapter-5-load-%20estimating-fundamentals>.

สมการการนำความร้อน (Conductivity) ในแง่ของการคำนวณผนังอาคารที่มีพื้นที่ A , m^2 และมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง U , $W/m^2 \cdot K$ สามารถเขียนได้ดังนี้

$Q = UA\Delta T$ เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (W)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง ($W/m^2 \cdot K$)

A คือ พื้นที่ผนังที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อน (m^2)

ΔT คือ ความต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}K$)

2.4.3.2 การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสสารตัวกลางที่มีสถานะเป็นก๊าซหรือของเหลว การพาความร้อนแบ่งออกได้สองประเภท ดังนี้

1) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) หรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) อาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของเหลวจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใดที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งอาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของไหลเอง

2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) โดยใช้แรงภายนอกมาบังคับการเคลื่อนที่ของของไหล เช่น ใช้ลมในการพาความร้อน จะถือว่าเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ

(อรรถจัน เศรษฐบุตร, 2552) โดยกฎเบื้องต้นที่สามารถอธิบายการพาความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุนั้น ได้แก่ กฎการเย็นตัวของ Newton ซึ่งมีองค์ประกอบในการอธิบายอยู่หลายตัวดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient) คุณสมบัติคล้ายค่าการนำความร้อน (k) ของของแข็ง แต่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน จะไม่คงที่เหมือนค่าการนำความร้อน จากการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวยังขึ้นกับความเร็วลม และทิศทางการส่งผ่านความร้อนด้วย (เชษฐพรธรณ สันเจิมสิริ, 2552)

การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหลโดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอกวัตถุซึ่งมีผิวเรียบอยู่ในของไหลซึ่งอยู่นิ่ง ถ้าอุณหภูมิของผิวสูงกว่าอุณหภูมิของของไหล ความร้อนจะเริ่มเคลื่อนที่มายังของไหลที่ติดกับผนัง ทำให้ความหนาแน่นของของไหลที่อยู่ติดผนังต่ำลง ซึ่งทำให้เกิดแรงผลักดันให้ของไหลลอยตัวขึ้น ของไหลที่อยู่ต่ำกว่าก็จะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ และทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหล เช่น พัดลมหรือเครื่องสูบน้ำ เมื่อพิจารณาจะเห็นว่าอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนในกรณีนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณต่าง ๆ หลายปริมาณ เช่น คุณสมบัติต่างๆของของไหล ขนาดและลักษณะของของแข็งอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างของไหลและพื้นผิว นอกจากนี้ สัมประสิทธิ์ในการขยายตัวของสารซึ่งมีผลต่อแรงลอยตัวของสารก็ยังมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้วย (ธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล, 2555)

จาก Newton's law of cooling สมการกระบวนการพาความร้อนเกิดจากการแปรผันกันระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิว (T_s) และอุณหภูมิของไหล (T_∞) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat transfer coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ ลักษณะพื้นผิวลักษณะการไหล และคุณสมบัติการสะสมความร้อนของของไหล สมการสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = h \cdot A(T_\infty - T_s) \quad \text{เมื่อ } Q \text{ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพา (W)}$$

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

A คือ พื้นที่ผิวที่ถูกพาความร้อน (m^2)

T_∞ คือ อุณหภูมิของไหล ($^\circ\text{K}$)

T_s คือ อุณหภูมิผิว ($^\circ\text{K}$)

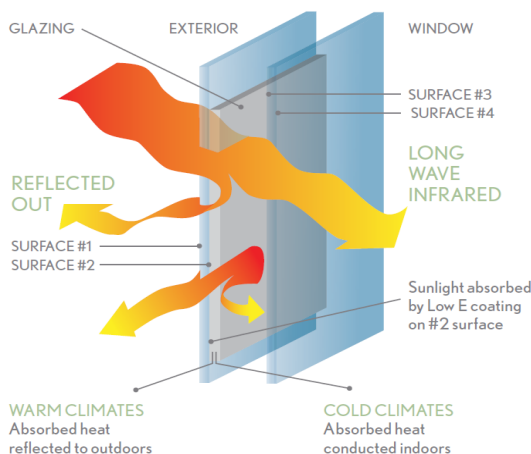
2.4.3.3 การแผ่รังสีความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทางโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน เท่ากับว่าเป็นการเดินทางของพลังงานรังสีด้วยความเร็วที่เท่ากับความเร็วแสงและเดินทางจากแหล่งกำเนิดที่ร้อนกว่าในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electronic Wave) ไปสู่ด้านที่เย็นกว่า เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการ

ถ่ายโอนความร้อน โดยการแผ่รังสีมายังโลก โดยคิดเป็นร้อยละ 68.2 ส่วนปริมาณความร้อนของรังสีที่เหลืออีก ร้อยละ 31.8 จะถูกสะท้อนกลับไปเป็นสู่ชั้นบรรยากาศของโลก (อรุณจัน เศรษฐบุตร, 2552) ในลักษณะคลื่นโดยที่วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน (Absorptivity), ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity), ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) และความสามารถในการส่งผ่านรังสีความร้อน (Transmissivity) นอกจากนี้ อาจยังขึ้นอยู่กับ สีของวัตถุหรือ ผิวของวัตถุอีกด้วย เช่น วัตถุสีดำหรือสีเข้มดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุสีขาวหรือ สีอ่อนหรือ วัตถุผิวขรุขระดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุผิวเรียบและขัดมันซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับสภาพอากาศในบริเวณที่ตั้งอาคารเพราะแม้กระทั่งสีของอาคารก็มีส่วนช่วยทำให้อาคารเย็นและร้อนได้ด้วย

จากความสามารถในกระบวนการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่กล่าวมา ถือได้ว่าเป็นลักษณะ และหลักการเช่นเดียวกันกับกระบวนการแผ่รังสีของกระจก โดยเมื่อเกิดแสงอาทิตย์มาตกกระทบที่ผิวกระจกและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) จะถูกสะท้อนออกมาภายนอกอาคาร (Solar Reflection) และมีบางส่วนที่ถูกดูดกลืนเข้าสู่ตัวเนื้อกระจก (Solar Absorption) ก่อนที่จะค่อยๆแผ่รังสีความร้อนออกมาสู่ทั้งภายนอกและภายในอาคาร (Solar Emissivity) และส่วนสุดท้ายที่เหลือคือ พลังงานของแสงอาทิตย์ที่สามารถทะลุผ่านกระจกเข้ามาในตัวอาคาร (Solar Transmittance) (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552)

การปล่อยพลังงานนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในของไหลแต่ในที่นี้ จะขอกกล่าวถึงการปล่อยพลังงานที่เกิดขึ้นจากพื้นผิววัตถุ วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จะปล่อยพลังงานออกมาเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ พลังงานที่ปล่อยออกมานี้เรียกว่ารังสีความร้อน (Thermal Radiation) พลังงานที่ปล่อยออกจากผิววัตถุไปสู่ภายนอกแท้ที่จริงเกิดจากอุณหภูมิภายในวัตถุ และพลังงานที่ตกลงบนผิววัตถุจะถูกดูดซับเข้าไปในวัตถุ โดยวัตถุทึบแสง (Opaque) เมื่อได้รับรังสีอาทิตย์จะดูดซับรังสีเข้าสู่วัตถุและสะท้อนรังสีบางส่วนออกไป ในขณะที่วัตถุโปร่งแสง (Transparence) จะมีการดูดซับรังสีเข้าสู่วัตถุ สะท้อนรังสีบางส่วน และส่งผ่านรังสีบางส่วนทะลุออกไป รังสีความร้อนที่ผ่านไปยังตัวกลางจะมีค่าลดลง เนื่องจากถูกดูดซับรังสีไว้บางส่วน แต่รังสีที่ผ่านไปยังสุญญากาศจะไม่ถูกดูดซับ เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติจึงถือว่ารังสีที่ผ่านชั้นบรรยากาศจะไม่ถูกดูดซับรังสี เนื่องจากค่าการดูดซับรังสีมีค่าน้อยมาก รังสีความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากวัตถุ กลไกของการแผ่รังสีจึงแตกต่างจากการนำความร้อนและการพาความร้อน เนื่องจากไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน (เชษฐพรรณ สินเจิมศิริ, 2552)

ภาพที่ 2.12: รูปภาพแสดงการถ่ายเทความร้อนในผนังกระจกสองชั้น



ที่มา : What is Low-E Glass. (2022). *Low-E Glass*. Retrieved from <https://www.lighthousecontracting.us/blog/low-e-glass/>.

2.4.4 การถ่ายเทความร้อนในระบบผนังกระจกสองชั้น

ในการเลือกกระจกเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบส่วนผนังอาคาร ต้องคำนึงด้วยว่าเมื่อตัวกระจกได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ จะเกิดการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นตัวผลักดัน และความร้อนนั้นจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งสองเท่ากันจึงหยุดการถ่ายเทความร้อน ทั้งนี้ ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังกระจกสองชั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้ (เชษฐพรพรณ สินเจิมสิริ, 2553)

1) การถ่ายเทความร้อนที่กระจกชั้นนอก

การถ่ายเทความร้อนในระบบผนังกระจกสองชั้นเริ่มต้นจากรังสีอาทิตย์ตกกระทบผิวกระจกชั้นนอก รังสีบางส่วนถูกสะท้อนกลับออกไป บางส่วนสามารถทะลุเข้าสู่ช่องอากาศได้ และบางส่วนถูกดูดซับเข้าไปในกระจกแล้วเปลี่ยนรูปของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นในกระจกชั้นนอกนี้บางส่วนถ่ายเทสู่ภายนอกจากการพาความร้อนที่ผิวกระจก ในขณะที่เดียวกันมีการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการแผ่รังสีคลื่นยาวระหว่างสภาพแวดล้อมกับกระจกชั้นนอกนี้ (เชษฐพรพรณ สินเจิมสิริ, 2552)

2) การถ่ายเทความร้อนในช่องอากาศ

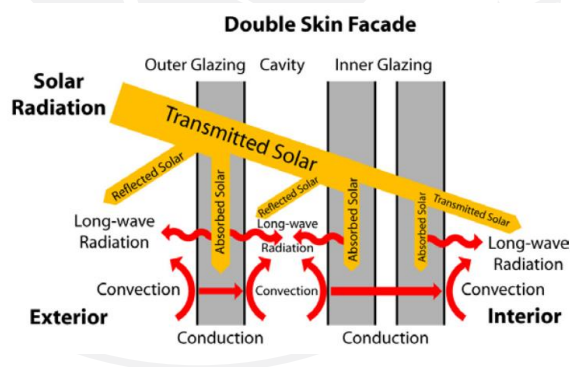
จากรังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกชั้นนอกเข้าสู่ช่องอากาศ รังสีส่วนนี้จะตกกระทบกระจก

ชั้นใน ในลักษณะเดียวกับกระจกชั้นนอกเพียงแต่มีปริมาณที่ลดลง รังสีบางส่วนถูกสะท้อนอยู่ภายในช่องอากาศ บางส่วนทะลุผ่านเข้าสู่ภายในห้อง บางส่วนถูกดูดซับไว้ในกระจกเปลี่ยนเป็นความร้อน แล้วแผ่รังสีออกไปยังช่องอากาศและภายในห้อง ความร้อนที่อยู่นี้ในช่องอากาศนี้จะทำให้อากาศภายในช่องอากาศขยายตัว ความหนาแน่นของอากาศจะน้อยกว่าอากาศภายนอก ทำให้เกิดแรงลอยตัวตามธรรมชาติไหลออกสู่ภายนอกผ่านทางช่องลมออกด้านบน ในขณะที่อากาศภายนอกที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่อากาศในช่องอากาศ ทำให้เกิดการระบายความร้อนภายในช่องอากาศ ในขณะที่กระจกภายในและกระจกภายนอกจะมีการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนซึ่งกันและกัน

3) การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร

หลังจากรังสีความร้อนทะลุผ่านกระจกชั้นนอกและกระจกชั้นในแล้วเข้าสู่ภายในอาคาร รังสีอาทิตย์ที่เหลืออยู่นี้ จะถูกดูดซับโดยวัตถุภายในอาคาร เช่น พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ แล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนและแลกเปลี่ยนความร้อนกับกระจกสองชั้นในด้วยการแผ่รังสีคลื่นยาว ในขณะที่เดียวกันก็มีการพาความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวกระจกชั้นใน

ภาพที่ 2.13: แสดงการถ่ายเทความร้อนภายในระบบผนังกระจกสองชั้น



ที่มา: เชษฐพรรณ สีนเจิมศิริ. (2552). *ประสิทธิภาพของระบบผนังกระจกสองชั้นแบบใช้ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

2.5 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร มีดังนี้

2.5.1 กฎกระทรวงฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

กฎกระทรวงฉบับนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระจกในประเด็นที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. การป้องกันอันตรายจากกระจกแตกร้าวหรือราน ที่ระบุว่ากระจกที่ใช้ทำผนังภายนอกอาคารที่เป็นอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารขนาดใหญ่ต้องเป็นกระจกตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไปประกบกัน โดยมีวัสดุคั่นกลางระหว่างชั้นและยึดกระจกแต่ละชั้นให้ติดแน่นเป็นแผ่นเดียวกัน และกระจกแต่ละชั้นต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันหรือลดอันตรายจากการบาดของเศษกระจกเมื่อกระจกแตกและวัสดุคั่นกลางต้องยึดเศษหรือชิ้นกระจกไม่ให้หลุดออกมาเมื่อกระจกแตกร้าวหรือราน นอกจากนี้ กระจกที่ติดกับราวกันตกและกระจกที่ใช้เป็นฝาของห้องโถงหรือทางเดินร่วมภายในอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารขนาดใหญ่ ต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันหรือลดอันตรายจากการบาดของกระจกเมื่อกระจกแตก

2. การป้องกันมิให้แสงสะท้อนของกระจกไปรบกวนบุคคลอื่น ซึ่งมีการกำหนดว่าวัสดุที่เป็นผิวของผนังภายนอกอาคาร หรือที่ใช้ตกแต่งผิวภายนอกอาคาร จะต้องมีการสะท้อนแสงได้ไม่เกินร้อยละสามสิบ

2.5.2 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

พระราชบัญญัติฉบับนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระจกและการอนุรักษ์พลังงานในหมวด 2 และหมวด 3 คือ โดยในหมวด 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร มาตรา 17 จะระบุถึงแนวทางในการดำเนินการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีแนวทางที่เกี่ยวข้องกับการใช้กระจกอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ (1) การลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาภายในอาคาร (2) คุณภาพของวัสดุก่อสร้างและการใช้วัสดุก่อสร้างที่จะช่วยอนุรักษ์พลังงาน (3) การใช้แสงสว่างภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ และ (4) การใช้และการติดตั้งเครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

ในส่วนของหมวด 3 การอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ และส่งเสริมการใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มาตรา 17 จะระบุถึงอำนาจหน้าที่ของรัฐมนตรีในการออกกฎกระทรวงเรื่องต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ (1) การกำหนดมาตรฐานด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ (2) การกำหนดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ตามประเภท ขนาด ปริมาณการใช้พลังงานอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (3) การกำหนดวัสดุตามประเภท คุณภาพ และมาตรฐาน และ (4) การกำหนดให้ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงหรือวัสดุเพื่อใช้ในการอนุรักษ์พลังงานสามารถขอรับการส่งเสริมและช่วยเหลือสนับสนุนได้

2.5.3 พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538

พระราชกฤษฎีกาฉบับนี้ได้กำหนดอาคารบางประเภทให้เป็นอาคารควบคุมเพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งตามกฎหมายเดิมฉบับนี้จะควบคุมได้เฉพาะอาคารที่สร้างเสร็จแล้วเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงหรือปรับให้เป็นไปตามแผนการอนุรักษ์พลังงานจึงทำได้ยาก อีกทั้งเทคโนโลยี

ได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้รายละเอียดการกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (ค่า OTTV และ ค่า RTTV) ค่ากำลังส่องสว่าง และมาตรฐานการปรับอากาศของอาคารควบคุมในกฎหมายเดิม ฉบับนี้ล้าสมัย เช่น ไม่มีการแยกประเภทอาคารตามช่วงเวลาการใช้งาน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการแก้ไขพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ในปี พ.ศ. 2550

2.5.4 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

เนื่องจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มีบทบัญญัติบางประการที่ควรแก้ไขดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมฉบับใหม่ เพื่อให้สามารถกำกับและส่งเสริมการใช้พลังงานการอนุรักษ์พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และทันต่อเทคโนโลยี โดยการกำหนดมาตรฐานด้านประสิทธิภาพของการผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ การมอบหมายให้บุคคลหรือนิติบุคคลตรวจสอบและรับรองการจัดการด้านพลังงาน การเก็บรักษาเงิน และทรัพย์สินของกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน การใช้พลังงานในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ และคุณภาพวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานแทนพนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมและเทคโนโลยี

2.5.5 กฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

กฎกระทรวงฉบับใหม่นี้ มีรายละเอียดและสาระสำคัญที่สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 อันได้แก่ การกำหนดประเภทและขนาดของอาคารควบคุมใหม่ 9 ประเภท ซึ่งใช้เกณฑ์พิจารณาจากช่วงเวลาการใช้งานอาคารและขนาดของพื้นที่อาคารเป็นหลัก โดยแบ่งอาคารออกเป็น 3 กลุ่มตามช่วงเวลาการใช้ เนื่องจากระยะเวลาการใช้งานที่แตกต่างกันจะมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังจากภายนอกของอาคารที่แตกต่างกัน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2559) มีดังนี้

- 1) กลุ่มที่ 1 ใช้งานวันละ 9 ชั่วโมง (เวลา 08.00-17.00 น.) ได้แก่ สถานศึกษา และสำนักงาน
- 2) กลุ่มที่ 2 ใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง (เวลา 10.00-22.00 น.) ได้แก่ โรงแรมหรู ศูนย์การค้า สถานบริการ และอาคารชุมนุมคน
- 3) กลุ่มที่ 3 ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ได้แก่ สถานพยาบาล อาคารชุด โรงแรม

อาคารควบคุมแต่ละประเภทจะต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และมีการกำหนดมาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร 4 ส่วน ได้แก่ ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้า แสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน โดยจะต้องมีค่าการใช้พลังงานตามที่กฎกระทรวงกำหนด หากอาคารมีคุณสมบัติหลักค่าใดค่าหนึ่งไม่เป็นไปตามที่กำหนดกฎกระทรวง ฉบับใหม่นี้เปิดโอกาสให้ผู้ออกแบบใช้เกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และเกณฑ์การใช้

พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคารทดแทนได้ สังเกตได้ว่ากฎกระทรวงฉบับใหม่นี้ได้พยายามควบคุมการใช้พลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ก่อนที่จะมีการก่อสร้าง ซึ่งต่างจากกฎหมายเดิมที่จะควบคุมได้เฉพาะอาคารที่สร้างเสร็จแล้วเท่านั้น ดังนั้นกฎกระทรวงฉบับใหม่นี้จึงส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับผู้ออกแบบและเจ้าของอาคาร

กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ได้มีการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยเฉพาะการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนรวม และค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดภายในอาคารไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.2: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกของอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

ประเภทอาคาร	OTTV (Watt/m ²)	RTTV (Watt/m ²)
1. สถานศึกษา สำนักงาน	50	15
2. โรงแรมที่พัก ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40	12
3. โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30	10

ที่มา: กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2550). พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2. สืบค้นจาก www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/704-act2550.

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร หรือ OTTV คือค่าเฉลี่ยต่อตารางเมตรของปริมาณความร้อนจากภายนอกถ่ายเทผ่านผนัง และช่องเปิดหรือหน้าต่างเข้าสู่ภายในตัวอาคาร โดยรวมปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทุกด้าน แล้วนำมาหารด้วยพื้นที่ผนังทั้งหมด เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของกรอบอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารภายนอกซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร ในการคำนวณค่า OTTV (Overall thermal temperature) จะเริ่มจากการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน จากนั้น นำค่าที่ได้ในแต่ละด้านมาคำนวณหาเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ตามขนาดพื้นที่ของผนังด้านนอกแต่ละด้านนำมารวมกันเพื่อให้ได้ค่า OTTV ตามที่กำหนด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่าน

เปลือกอาคาร ได้แก่ ผนังอาคารซึ่งมีทั้งแบบผนังทึบและผนังโปร่งแสง การบังแดดหรือแผงบังแดด ทิศทางอาคาร และสัดส่วนหน้าต่างต่อผนังอาคาร หรือ Window to Wall Ratio (WWR) คือสัดส่วนระหว่างผนังและหน้าต่างของอาคารสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$WWR = \frac{\text{overall window area}}{\text{overall wall area}}$$

ในกรณีที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หรือระบบใดระบบหนึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพตามที่ได้มีการกำหนดไว้ โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวกับอาคารอ้างอิงในรอบ 1 ปี โดยอาคารที่ใช้อ้างอิงจะต้องมีระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศตามข้อกำหนดของแต่ละระบบ ทั้งนี้เพื่อนำมาเปรียบเทียบพิจารณาประเมินตามเกณฑ์ อาคารจะผ่านเกณฑ์ได้ก็ต่อเมื่อมีค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารนั้นทั้งปีต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานโดยรวมทั้งปีของอาคารอ้างอิงที่มีลักษณะอาคารเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้าง

มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารในระบบแสงสว่าง มีรายละเอียดดังนี้

การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร จะต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างอย่างเพียงพอ และเป็นไปตามมาตรฐานที่ยอมรับได้ทางวิศวกรรม ตัวอย่างเช่น อาคารสำนักงาน อุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถ จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 14 วัตต์/ตารางเมตร

ตารางที่ 2.3: แสดงค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังส่องสว่างสูงสุด (Watt/m ²)
1. สถานศึกษา สำนักงาน	14
2. โรงแรมสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	18
3. โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	12

ที่มา: กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2550). พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2. สืบค้นจาก www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/704-act2550.

มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารในระบบปรับอากาศ มีรายละเอียดดังนี้

ระบบปรับอากาศ ประเภทและขนาดต่างๆ ของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งภายในอาคาร ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะต่ำ และมีค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตัน ความเย็น เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด

ตารางที่ 2.4: ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ และจำนวนชั่วโมง ใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	Cl	Ce	Co	Cv	nh
1. สถานศึกษา สำนักงาน	0.84	0.85	0.90	0.90	2340
2. โรงแรม หอพัก ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	0.84	0.85	0.90	0.90	4380
3. โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	1.0	1.0	1.0	1.0	8760

ที่มา: กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2550). พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2. สืบค้นจาก www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/704-act2550.

กรณีที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หรือระบบใดระบบหนึ่งของอาคารที่พิจารณา ไม่ผ่านเกณฑ์ ประสิทธิภาพพลังงานที่กำหนด สามารถประเมินตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งอาคาร โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวในรอบ 1 ปี จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานโดยรวมในรอบ 1 ปี ของอาคารอ้างอิง อาคารจะผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมได้ก็ต่อเมื่อ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารนั้นทั้งปีต่ำกว่าการใช้พลังงานโดยรวมทั้งปีของอาคารอ้างอิง ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และอาคารที่ใช้อ้างอิงต้องมีค่าระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานของแต่ละระบบ

2.5.6 กฎกระทรวงกำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

กฎกระทรวงฉบับนี้ออกตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2520 ซึ่งมีรายละเอียด 4 ส่วนที่สำคัญ ดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นการให้คำนิยามของคำสำคัญต่าง ๆ เช่น นิยามของคำว่ากระจก ค่ามาตรฐานพลังงาน ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากโรงสีอาทิตย์

และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ส่วนที่ 2 เป็นการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ซึ่งจะต้องมีค่า 0.55-0.30 และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ซึ่งจะต้องมีค่า 1.20-1.60 ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงสภาพเศรษฐกิจ นโยบายด้านพลังงานของรัฐบาล ความพร้อมของการผลิตและจำหน่ายกระจก ตลอดจนการช่วยเหลือด้วย ส่วนที่ 3 จะเกี่ยวกับการทดสอบเพื่อหามาตรฐานพลังงานของกระจก จะต้องดำเนินการโดยหน่วยงานที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดเท่านั้น และในส่วนที่ 4 ซึ่งเป็นสุดท้ายนั้น ได้ระบุว่าการคำนวณ มาตรฐาน และวิธีการทดสอบค่ามาตรฐาน พลังงานของกระจก ให้ใช้ตาม มาตรฐาน ISO 9050 และ ISO 10292

2.5.7 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร แต่ละระบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

ประกาศกระทรวงพลังงานฯ ได้ให้คำนิยามของคำสำคัญต่างๆ เช่น อาคาร อาคารอ้างอิง และในส่วนแรกได้กล่าวถึงการคำนวณค่าต่างๆ พร้อมกับสูตร สมการในการคิดคำนวณ ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ΔT) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation-ESR) เป็นต้น ในส่วนที่ 2 เกี่ยวกับการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ส่วนที่ 3 จะกล่าวถึงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศ

2.5.8 กฎกระทรวง เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

เมื่อปลายปี พ.ศ. 2563 เว็บไซต์ราชกิจจานุเบกษาได้เผยแพร่ กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 โดยมีสาระสำคัญคือ อาคารที่จะก่อสร้างใหม่ หรือดัดแปลงอาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นในอาคารหลังเดียวตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ใน 9 ประเภทอาคาร จะต้องมีการออกแบบอาคารให้เป็นไปตามกฎกระทรวงนี้ และในส่วนของมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ได้เพิ่มเติมเนื้อหา ได้แก่ การตรวจประเมิน ให้กระทำโดยผู้ได้รับใบประกอบวิชาชีพให้เป็นผู้ประกอบวิชาชีพ วิศวกรรมควบคุม หรือผู้ได้รับใบประกอบ

วิชาชีพให้เป็นผู้ประกอบการวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุม และได้รับการรับรองจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานว่าเป็นผู้สำเร็จการฝึกอบรม

โดยในระยะเริ่มแรกจะบังคับใช้กับอาคารที่มีขนาด 10,000 ตารางเมตร ในปีแรก (13 มีนาคม 2564), 5,000 ตารางเมตร ในปีที่ 2 (13 มีนาคม 2565) และ 2,000 ตารางเมตร ในปีที่ 3 (13 มีนาคม 2566)

ภาพที่ 2.14: การประกาศใช้กฎกระทรวงปี 2563



ที่มา: กระทรวงพลังงาน. (2565). การประกาศใช้กฎกระทรวงปี 2563. สืบค้นจาก <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/5297>.

2.5.9 การนำหลักการ Green Building มาปรับใช้กับกฎหมายไทย เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร

United Green Building Council หรือ USBGBC ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาเกณฑ์เพื่อใช้ในการประเมินอาคารว่าเป็นอาคารประหยัดพลังงานหรืออาคารเขียวหรือไม่ และสามารถเปรียบเทียบได้ว่าอาคารใดมีระดับความเขียวมากหรือน้อยกว่ากัน โดยเกณฑ์ประเมินนี้นิยมเรียกแบบย่อว่า “LEED” (Leadership in Energy and Environment Design) ซึ่ง LEED v 4.1 BD+C ของสหรัฐอเมริกา มีการประเมินประสิทธิภาพพลังงานในวิธีการของ LEED แบ่งเป็น 2 ระดับคือ

1. ระดับเกณฑ์บังคับ กำหนดวิธีประเมินเป็น 3 ทางเลือก คือ

1) ทางเลือกที่ 1 ใช้การจำลองพลังงานตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2010 ภาคผนวก G ฉบับรวมการแก้ไขข้อผิดพลาดโดยใช้ค่าใช้จ่ายพลังงานเป็นตัวชี้วัด ดังนั้นคือ อาคารที่ออกแบบก่อสร้างใหม่ (new construction) ต้องทำได้ดีกว่าอาคารฐาน อย่างน้อยร้อยละ 5, อาคารเดิมที่ทำการปรับปรุงใหญ่ (major renovation) ดีกว่าร้อยละ 3 และอาคารที่สร้างเฉพาะเปลือกและแกนบริการ (core and shell) ดีกว่าร้อยละ 2

2) ทางเลือกที่ 2 ใช้วิธีทำตามรายการที่ระบุใน ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide (AEDG) ทางเลือกนี้ใช้ได้กับ อาคารสำนักงาน ห้างค้าปลีก โรงเรียน หรือสถานพยาบาล ที่มีขนาดไม่เกิน 9,290 ตารางเมตร (100,000 ตารางฟุต) โดยในระดับเกณฑ์บังคับจะครอบคลุม เรื่อง ระบบปรับอากาศ และระบบผลิตน้ำร้อน แต่ก็ต้องทำตามเงื่อนไขบังคับ (mandatory provisions) ใน ASHRAE 90.1-2010 ให้ผ่านด้วย ในเรื่องประสิทธิภาพของระบบต่างๆ

3) ทางเลือกที่ 3 ใช้วิธีทำตามรายการที่ระบุใน Advanced Buildings Core Performance Guide ทางเลือกนี้ใช้ได้กับอาคารที่มีขนาดไม่เกิน 9,290 ตารางเมตร และต้องไม่ใช่สถานพยาบาล คลังสินค้า และห้องปฏิบัติการ

2. ระดับเกณฑ์เลือกทำ แบ่งเป็น 2 ทางเลือก คือ

1) ทางเลือกที่ 1 ใช้การจำลองพลังงาน ตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2010 ภาคผนวก G ฉบับรวมการแก้ไขข้อผิดพลาด (with errata) ซึ่งอาคารที่ออกแบบต้อง ดีกว่าอาคารฐานอย่างน้อยร้อยละ 6-50 ซึ่งจะเทียบเป็นคะแนนที่ได้รับตั้งแต่ 1-18 คะแนน

2) ทางเลือกที่ 2 ใช้วิธีทำตามรายการที่ระบุใน ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide วิธีนี้คะแนนสูงสุดที่สามารถได้รับจะน้อยกว่าทางเลือกที่ 1 สำหรับอาคารสำนักงานจะได้ คะแนน 1-5 คะแนน ขึ้นกับรายการที่สามารถทำได้ร้อยละ 1 คะแนน เช่น การออกแบบเปลือก อาคารส่วนโปร่งแสงได้ 1 คะแนน การออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร 1 คะแนน การออกแบบแสงสว่างภายนอกอาคารได้ 1 คะแนน เป็นต้น ซึ่งเกณฑ์จะแตกต่างกันไปตามเขต ภูมิอากาศที่แบ่งเป็น 8 โซน สามารถใช้ได้กับสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ ทั่วโลก มีให้เลือกตั้งแต่ร้อน อบอวน จนหนาวจัด สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนชื้นจัดอยู่ในเขตภูมิอากาศ 1A อีกทั้งในการ ออกแบบเปลือกอาคาร จะมีข้อกำหนดมากกว่ากฎหมายอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย

ซึ่ง LEED v 4.1 BD+C จะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาอย่างยั่งยืน ตอบสนองความต้องการของ ผู้คนในปัจจุบันและคำนึงถึงคนรุ่นหลัง “อาคารเขียว” จึงหมายถึงอาคารที่มีความรับผิดชอบต่อ การรักษาสีเขียวและใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างมีประสิทธิภาพตลอดอายุอาคารโดย สามารถลดผลกระทบเชิงลบ และสร้างผลกระทบเชิงบวก ต่อสภาพอากาศ สภาพแวดล้อมทาง

ธรรมชาติ สงวนรักษาทรัพยากรอันมีค่า และปรับปรุงคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น โดยในหมวดพลังงาน และบรรยากาศ

สำหรับในประเทศไทย ได้มีการจัดตั้ง “สถาบันอาคารเขียวไทย” โดยความร่วมมือระหว่าง สมาคมสถาปนิกสยามและ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และมีการพัฒนาเกณฑ์การประเมิน อาคารเขียวของไทยขึ้น โดยใช้ชื่อว่า “TREES – NC Version 1.0 (Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability for New Construction and Major Renovation)” ซึ่งมีการ ประเมินประสิทธิภาพพลังงานในวิธีการของ TREES แบ่งเป็น 2 ระดับคือ

1. ระดับเกณฑ์บังคับ กำหนดเป็น 2 ทางเลือก คือ

1) ทางเลือกที่ 1 ใช้การจำลองค่าพลังงานรวม ตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 อาคารที่ออกแบบต้องมีค่าพลังงานต่ำกว่าอาคารอ้างอิง หรืออาคารฐาน

2) ทางเลือกที่ 2 ใช้การจำลองตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 Appendix G สำหรับ อาคารสร้างใหม่ต้องมีค่าใช้จ่ายประหยัดกว่าอาคารฐาน

2. ระดับที่มีคะแนน

1) ทางเลือกที่ 1 ใช้การจำลองค่าพลังงานรวม ตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยต้องมีค่าพลังงานต่ำกว่าอาคารอ้างอิง ตั้งแต่ร้อยละ 6-40 ซึ่งจะได้ 4-16 คะแนน

2) ทางเลือกที่ 2 ใช้การจำลองตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 Appendix G โดยต้องมี ค่าใช้จ่ายประหยัดกว่าอาคารฐาน ตั้งแต่ร้อยละ 6-40 ซึ่งจะได้คะแนน 4-16 คะแนน

ตารางที่ 2.5.: แสดงคะแนนของเกณฑ์การประเมิน TREES เมื่อใช้กฎหมายอนุรักษ์พลังงานและมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007

คะแนน TREES-NC	คะแนน TREES-CS	กฎกระทรวง พ.ศ. 2552 (ค่าพลังงาน)		ASHRAE 90.1-2007 Appendix G (ค่าใช้จ่ายพลังงาน)	
		อาคารปรับปรุง	อาคารใหม่	อาคารปรับปรุง	อาคารใหม่
4	6	0-5	6-10	0-5	6-10
6	8	6-10	11-15	6-10	11-15
8	10	11-15	16-20	11-15	16-20
10	12	16-20	21-25	16-20	21-25
12	14	21-25	26-30	21-25	26-30
14	16	26-30	31-35	26-30	31-35
16	18	31-35	36-40	31-35	36-40

ที่มา: กระทรวงมหาดไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562). *คู่มือการออกแบบอาคารภาครัฐที่จะก่อสร้างใหม่ให้เป็นอาคารเขียวภาครัฐ*. สืบค้นจาก [www.yotathai.com/yotanews /g-goods-rv](http://www.yotathai.com/yotanews/g-goods-rv).

TREES – NC Version 1.0 ดำเนินการแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2553 มีเค้าโครงคล้ายกับ LEED แต่มีการปรับให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทยมากขึ้น เพื่อศึกษาสภาพปัญหาของการใช้พลังงานในอาคารและผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ซึ่งการนำหลักการ Green Building ไปใช้นั้น ผลจากการศึกษา พบว่า ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายเฉพาะที่กำหนดให้การก่อสร้างและบริหารจัดการอาคารต้องดำเนินการตามหลักการของ Green Building โดยตรง แต่มีกฎหมายที่มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการตามหลักการ Green Building บางส่วน ได้แก่ วัตถุประสงค์ที่แท้จริงของกฎหมาย ประเด็นที่มุ่งให้ความสำคัญ สภาพบังคับ ความเข้มข้นของบทลงโทษ และคณะกรรมการหน่วยงานราชการผู้รับผิดชอบหลักที่แตกต่างกันไป กฎหมายที่กล่าวถึงนี้คือ พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 , พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 และพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (อาทิตย ธรรมานุรักษ์กิจ, 2556 อ้างใน สิริพรรณ ภัสสประเสริฐ, 2559)

2.6 การหาค่าพลังงานอาคาร และการคำนวณเงินค่าไฟฟ้า

ในการใช้งานอาคารย่อมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้น เพื่อใช้ในส่วนของการสร้างแสงสว่างภายในอาคาร หรือเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ภายในอาคาร โดยการใช้พลังงาน

เหล่านี้จะมีค่าใช้จ่ายตามมา ซึ่งจะมีวิธีการคิดคำนวณโดยการแปลงจากหน่วยปริมาณพลังงานที่ใช้เป็นจำนวนค่าเงินที่ต้องใช้จ่ายออกมา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาในเรื่องที่มาของการเกิดค่าพลังงานและกำลังไฟฟ้า จนกระทั่งการคิดค่าพลังไฟฟ้างกล่าว

2.6.1 พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า (electric energy) คือ งานหรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่หรือการถ่ายเทประจุไฟฟ้า Q (คูลอมบ์) จากอีกจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลคูณของปริมาณประจุไฟฟ้า Q กับความต่างศักย์ไฟฟ้าคือ V ระหว่างสองจุดนั้น คือ $W = QV$

เนื่องจาก $Q = It$, $V = IR$, $I = V/R$ ดังนั้นจะได้สมการ คือ $W = QV$

จาก $Q = It$; $W = VIt$

จาก $V = IR$; $W = I^2Rt$

จาก $I = V/R$; $W = V^2t/R$

เพราะฉะนั้น สามารถสรุปสูตรได้ว่า $W = QV = VIt = I^2Rt = V^2t/R$ (1)

ในหน่วยของพลังงานไฟฟ้า งานหรือพลังงานจะมีหน่วยเป็นจูล (J) สำหรับงานหรือพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุไฟฟ้า (Q) ดังกล่าวไป จะไม่ได้มีการสูญหายไป แต่จะไปเกิดขึ้นบนตัวความต้านทานหรือโหลด R (load) หรืออาจจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เป็นตัวความต้านทานโหลด หรือเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าได้รับพลังงาน (W) ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นพลังงานในรูปอื่นเพื่อประโยชน์ในการใช้งานต่อไป

2.6.2 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (Electric Power) คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในช่วงเวลาหนึ่งหน่วย และหน่วยของกำลังไฟฟ้า จะเป็น จูลต่อวินาที (J/S) หรือ (W)

สูตรในการคำนวณกำลังไฟฟ้าคือ $P = W/t$ (2)

เนื่องจาก $Q = It$, $V = IR$, $I = V/R$ ดังนั้นจะได้สมการ คือ $P = W/t$

จาก $W = QV$ และ $I = Q/t$; $P = QV/t = VI$

จาก $V = IR$; $P = I^2R$

เพราะฉะนั้น สามารถสรุปสูตรได้ว่า $P = W/t = VI = I^2R = V^2/R$

ดังนั้น จึงสามารถนิยามได้ว่า กำลังไฟฟ้า 1 วัตต์ เกิดจากกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์นั้นไหลผ่านตัวนำที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 โวลต์เช่นกัน

จากสมการข้างต้นทำให้ทราบถึงการหาค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในเบื้องต้น แล้วสามารถนำมาคิดหาค่าเงินต่อการใช้พลังงานต่อไป ซึ่งในการหาค่าพลังงานมีรายละเอียด ดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน และกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากันหากเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันหากแต่มีขนาดต่างกัน

2. เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด จะมีตัวเลขของการใช้ค่าไฟฟ้าระบุไว้ด้วย ตัวอย่างเช่น 220 V 600 W หมายความว่า การใช้กำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 600 วัตต์ หรือแสดงถึงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าไป 600 จูล ในเวลา 1 วินาที

3. เมื่อทราบศักย์ไฟฟ้าที่ใช้และกำลังไฟฟ้า จะสามารถคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ๆ ได้จากสูตร $P = IV$ หรือ $I = P/V$

ถ้าเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมาก แสดงว่าใช้กำลังมากถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อย แสดงว่าใช้กำลังไฟฟ้าน้อยโดยกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าจะแปรผันกันโดยตรง ($I \propto P$)

ค่าความต้านทานของเครื่องใช้ไฟฟ้าหนึ่ง ๆ จะมีค่าคงที่เสมอ ไม่ว่าจะใช้กับศักย์ไฟฟ้าขนาดเท่าไรก็ตาม ค่าคงที่ประจำเครื่องใช้ไฟฟ้า นั้นสามารถหาได้จากสูตร $R = V^2/P$ หรือ $R = V/I$

2.6.3 การคิดเงินจากปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้า

การคิดเงินจากปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้า คือ งานหรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในช่วงเวลาหนึ่ง หน่วยของพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น จำนวนหน่วย = กิโลวัตต์ × ชั่วโมง

หรือ จำนวนหน่วย = วัตต์/1000 × ชั่วโมง (1 กิโลวัตต์ = 1,000 วัตต์)

ค่าเงินของพลังงานไฟฟ้า = จำนวนหน่วย × ราคาหน่วย

พลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย = 1 กิโลวัตต์ × ชั่วโมง

พลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย = 1,000 วัตต์ × 3,600 วินาที

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย = 3.6×10^6 จูล

2.6.4 การพิจารณาค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน สามารถได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ค่าไฟฟ้าฐาน สามารถคำนวณได้ ดังนี้

(จำนวนพลังงานไฟฟ้า × อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า) + ค่าบริการ = ค่าไฟฟ้าฐาน

2. ค่าไฟฟ้าผันแปร (F_t)

จำนวนพลังงานไฟฟ้า × ค่า F_t = ค่าไฟฟ้าผันแปร

3. ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

(ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร) × 7/100 = ภาษีมูลค่าเพิ่ม

ดังนั้น ค่าไฟฟ้ารวม ได้จาก ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร + ภาษีมูลค่าเพิ่ม

ในกรณีการใช้พลังงานเชิงอนุรักษ์ นอกจากการหาค่าเงินที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน ในกระบวนการหลังจากปรับปรุงอาคารที่สนใจก็มีความสำคัญ อีกประการหนึ่งด้วย

ตารางที่ 2.6: แสดงชั่วโมงใช้งานอาคารประเภทต่าง ๆ

ประเภทอาคาร	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมงใช้งาน ต่อปี
1. สถานศึกษา สำนักงาน	8.00 - 17.00	2,340
2. โรงแรมสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	10.00 – 22.00	4,380
3. โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	24 ชั่วโมง	8,760

ที่มา: กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2550). พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2. สืบค้นจาก www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/704-act2550.

2.6.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ถือว่ามีความสำคัญ เนื่องจากในการปรับปรุงอาคารต้องมีการลงทุนโดยใช้งบประมาณในการลงทุนจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน ดังนี้

1. วิธีคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period : PB)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือ ระยะเวลาอาจเป็นจำนวนปี เดือน หรือวัน ตามที่กำหนดไว้ โดยที่จะได้รับผลตอบแทนในรูปของกระแสเงินสดรายรับเท่ากับกระแสเงินสดรายจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มแรกของโครงการ โดยไม่คำนึงถึงเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลา กล่าวคือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มค่างบกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน การคำนวณหาค่า PB สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (บาท)}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)}}$$

2. วิธีคำนวณค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุนพลังงานจากมาตรการในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไป กล่าวคือค่าเงินจริงตามระยะเวลาอธิบายได้ว่า จำนวนเงิน 1 บาท หรือ 1 หน่วยในวันนี้ จะมีค่าเท่าใดในอนาคต หรือจำนวนหนึ่งในอนาคต ถ้าคิดย้อนกลับมาในวันนี้จะมีเท่าใด ซึ่งการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้ ค่าเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิการเริ่มปรับปรุงอาคาร ค่าเงินสดของพลังงานที่ประหยัดได้ตลอดอายุโครงการ ระยะเวลาของรอบอายุอาคารที่ได้รับการปรับปรุง อัตราลดค่าทุนของธุรกิจ อัตราดอกเบี้ย

การคำนวณหา NPV สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$NPV \text{ (บาท)} = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

โดย NPV คือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิจากโครงการ (บาท)

B_t คือ ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่ t (บาท)

C_t คือ ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t (บาท)

t คือ ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n คือ อายุโครงการ (ปี)

r คือ อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน (ร้อยละ)

หลักในการตัดสินใจ NPV เพื่อการลงทุน มีดังนี้

NPV มากกว่า 0 ไม่สมควรลงทุน

NPV = 0 เท่าทุน

NPV > 0 คู้มค่าแก่การลงทุน

3. วิธีคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return- IRR) หมายถึง อัตราลดค่า (Discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน เท่ากับ มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการตลอดอายุโครงการ โดยที่ การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนลดค่าจะต้องมีข้อมูลเหล่านี้ในการคำนวณ คือ ค่าเงินสดจ่าย

ลงทุนสุทธิการเริ่มปรับปรุงอาคาร ค่าเงินสดของพลังงานที่ประหยัดได้ตลอดอายุโครงการ และ
ระยะเวลาของรอบอายุอาคารที่ได้รับการปรับปรุง

การคำนวณหาค่า IRR สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$IRR \text{ คือ } r \text{ ที่ทำให้ } \sum_{t=1}^n \frac{Bt - Ct}{(1 + r)^t}$$

โดย IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (ร้อยละ)

B_t คือ ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่ t (บาท)

C_t คือ ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t (บาท)

t คือ ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n คือ อายุโครงการ (ปี)

r คือ อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน (ร้อยละ)

หลักการตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยนำค่า IRR ไปเปรียบเทียบกับอัตราเสียโอกาสของเงินทุน

มีดังนี้ ถ้า $IRR < r$ ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน

$IRR = r$ เท่าทุน

$IRR > r$ คุ้มค่าแก่การลงทุน

ในการประเมินความคุ้มค่าโครงการแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน โดยวิธีระยะเวลา
คืนทุน (Payback Period: PB) มีข้อดีคือคำนวณง่าย ไม่ซับซ้อน ทำให้ทราบสภาพคล่องของโครงการ
และเป็นตัววัดความเสี่ยงของโครงการได้ ส่วนข้อเสียคือการคิดระยะเวลาคืนทุนดังกล่าว ไม่ได้
พิจารณาเรื่องค่าเงินในเวลาที่ต่างกัน ความเสี่ยงของเงิน และผลที่จะได้รับในอนาคต ในส่วนของวิธี
คำนวณแบบมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) มีข้อดีคือ ทำให้ทราบมูลค่าของ
โครงการที่เพิ่มขึ้นจากการลงทุน สามารถพิจารณาค่าเงินในเวลาที่ต่างกัน และสามารถพิจารณากำไร
ที่ได้ตลอดทั้งโครงการ ส่วนข้อเสียคือต้องประมาณการผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการเพื่อใช้ในการ
คำนวณ และเป็นเพียงการสมมติให้เงินกำไรที่ได้รับแต่ละปีนำไปลงทุนต่อไป โดยได้รับผลตอบแทน
ขั้นต่ำคงที่ตลอดอายุของโครงการ และส่วนสุดท้ายคือวิธีคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal
Rate of Return : IRR) มีข้อดีคือทำให้ทราบมูลค่าของโครงการที่เพิ่มขึ้นจากการลงทุน พิจารณา

ค่าเงินในเวลาต่างกัน รวมไปถึงพิจารณาว่าใครที่ได้ตลอดทั้งโครงการ ส่วนข้อเสียคือต้องสมมติอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนที่มีค่าเท่ากับ IRR และมีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณ

โดยทั่วไปทั้งวิธีในการประเมินโครงการจากค่า IRR และ NPV จะให้ผลการตัดสินใจยอมรับโครงการหรือปฏิเสธในการลงทุนโครงการซึ่งจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ค่า IRR ในการคำนวณที่เกิดขึ้นทำการหาอัตราลดค่า ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าค่า IRR มากกว่าหรือเท่ากับค่าของทุน อัตราลดค่าที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใจซึ่งถือได้ว่าเป็นโครงการที่น่าลงทุน

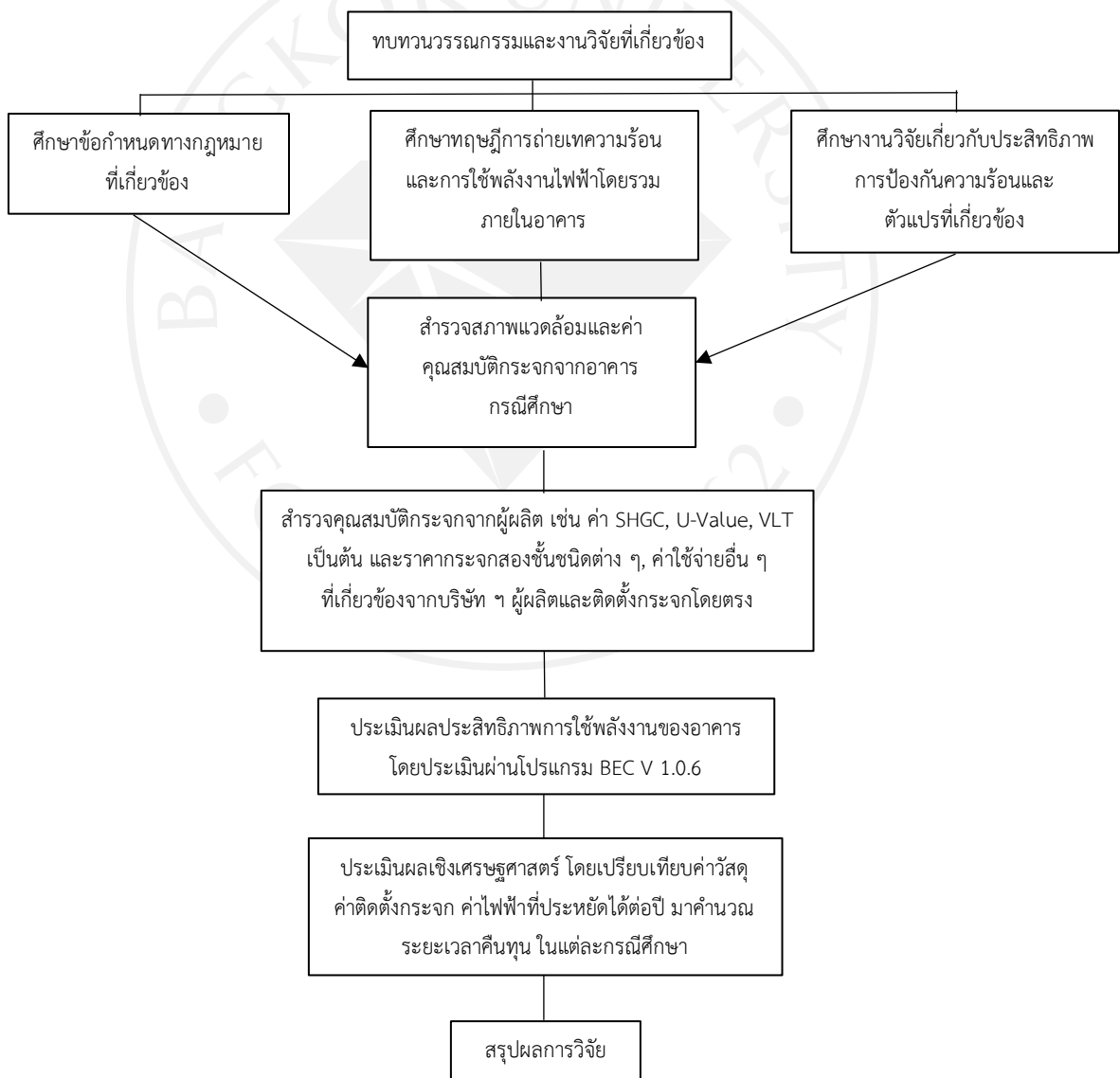
ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เลือกใช้การคำนวณวิธีระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period) เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน และยังเป็นวิธีที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน แนะนำให้สามารถนำมาใช้พิจารณาเพื่อประเมินโครงการของกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ได้ เนื่องจากลักษณะโครงการที่ขอการสนับสนุนจะให้ผลการประหยัดพลังงานที่เท่ากันตลอดอายุของโครงการ ดังนั้นการคำนวณวิธีระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย จึงเหมาะสมกับระยะเวลาในการศึกษา สำหรับแนวทางการปรับปรุงว่ามีความเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ และมากน้อยเพียงใด (โสพิศ ชัยชนะ, 2558)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงอาคารศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ เพื่อให้ได้อาคารที่มีการประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีแนวทางการดำเนินการวิจัยตามแผนภาพดังนี้

ภาพที่ 3.1: แผนภาพแสดงแนวทางการดำเนินการวิจัย



การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงอาคารศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ เพื่อให้อาคารมีการประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมุ่งเน้นศึกษาวิจัยในส่วนของกระจกซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของผนังอาคาร ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากวัสดุกระจกเมื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผนังของอาคาร จะมีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเข้าสู่ตัวอาคารได้มากกว่าผนังทึบ โดยในงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลของกระจกชนิดต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะกับการใช้ในอาคารขนาดใหญ่ มากรอกลงในโปรแกรมเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร และจากนั้นจะคำนวณหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางการเลือกใช้กระจกประหยัดพลังงานชนิดต่าง ๆ ที่สามารถกันความร้อนและสามารถรับแสงสว่างเข้ามาภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม และมีค่าผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานไฟฟ้าตามกฎหมายกำหนด โดยในบทนี้จะเป็นการนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับแนวทางการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล การกำหนดตัวแปรของงานวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล และขั้นตอนดำเนินการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 แนวทางในการดำเนินการวิจัย

รูปแบบของการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดการทดลองในรูปแบบที่มีการจำลองการใช้พลังงานของอาคารผ่านการใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร โดยหาชนิดกระจกที่ทำให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนด และคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนของกระจกแต่ละชนิด เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระจกต่อไป ทั้งนี้ เพื่อที่จะไม่ให้งานวิจัยดำเนินการเกินขอบเขตที่ได้ถูกกำหนดไว้ในบทที่ 1 ผู้วิจัยเลือกกำหนดตัวแปรควบคุมและตัวแปรแทรกซ้อนเพื่อกำหนดรูปแบบของการทำการทดลองและศึกษากระจกชนิดต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสม นอกเหนือไปจากตัวแปรต้นและตัวแปรอิสระที่เป็นตัวแปรหลักของงานวิจัย ซึ่งแนวทางในการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 กำหนดตัวแปรงานวิจัย

ตัวแปรต้น

1. ชนิดกระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะกับใช้ในอาคารขนาดใหญ่
2. ช่องว่างระหว่างกระจก (Air Gap)

ตัวแปรตาม

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (OTTV)
2. ค่าการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคาร (Total Energy Consumption)

3. งบประมาณที่ใช้ในการปรับปรุงผนังกระจกอาคาร และระยะเวลาคืนทุน
ตัวแปรแทรกซ้อน

1. สภาพภูมิอากาศ
2. ความสูงของอาคารโดยรอบ

ตัวแปรควบคุม

1. ที่ตั้ง ขนาดและรูปทรง ทิศทางของอาคาร
2. อัตราความหนาแน่นของประชากรที่ใช้งานอาคาร, ระบบอุปกรณ์ปรับอากาศ, อัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร, ระบบอุปกรณ์แสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ และรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ
3. ตำแหน่งและขนาดของช่องเปิดของผนังโปร่งแสง
4. ชนิดและสีในส่วนของการผนังทึบ และหลังคา
5. อัตราส่วนพื้นที่ผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังอาคาร

3.1.2 สำนวนบริเวณสภาพอากาศอุณหภูมิสูง

3.1.3 วิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงอาคาร

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

จากแนวทางในการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือและโปรแกรมที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงเพื่อให้การดำเนินการวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยผู้วิจัยได้เลือกอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถบันทึกข้อมูลอุณหภูมิได้ และโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ซึ่งมีรายละเอียดและรูปแบบการใช้งานดังนี้

3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือโน้ตบุ๊ก

3.2.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอุณหภูมิที่ผิวของกระจก Thermal Camera เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิความร้อนของสิ่งที่กล้องตรวจจับ สามารถบันทึกเป็นภาพนิ่งหรือวิดีโอได้ ทำให้ทราบค่าอุณหภูมิ มีความสะดวกต่อผู้ใช้งานโดยสามารถเสียบอุปกรณ์ดังกล่าวเข้ากับโทรศัพท์มือถือ ใช้งานผ่าน Application “FLIR” แล้วนำไปส่งกับสิ่งที่ต้องการตรวจวัด ที่หน้าจอก็จะแสดงผลปรากฏเป็นแถบสี โดยสีที่ร้อนที่สุดคือสีแดง เย็นที่สุดคือสีน้ำเงิน พร้อมบอกค่าอุณหภูมิขณะนั้นได้ โดยอุปกรณ์มีคุณสมบัติตามรายละเอียดดังนี้

1. Accuracy

$\pm 3^{\circ}\text{C}$ or $\pm 5\%$, typical Percent of the difference between ambient and scene temperature. Applicable 60 sec after start-up when the unit is within $15^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ and the scene is within $5^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$.

2. Operating System

$0^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ ($32^{\circ}\text{F} - 95^{\circ}\text{F}$) , battery charging $0^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ ($32^{\circ}\text{F} - 86^{\circ}\text{F}$)

ภาพที่ 3.2: อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของกระจก FLIR ONE



ที่มา : FLIR One Camera Test. (2022). *FLIR One*. Retrieved from <https://www.archireport.com/en/flir-one-camera-test-infrared-sensor-for-your-building-sites/>.

3.2.3 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอากาศในและนอกห้องทดลอง Netatmo เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บข้อมูลอุณหภูมิ, ความชื้น, คาร์บอนไดออกไซด์, เสียง, ปริมาณน้ำฝน, ความเร็วลม เป็นต้น โดยอุปกรณ์นี้สามารถวางตามสถานที่ต่าง ๆ ภายในอาคารได้ และมีการรายงานผลผ่านทางบัญชีผู้ใช้งานที่ผูกเชื่อมกับตัวอุปกรณ์ ไม่ว่าจะเป็นทาง Website หรือ Application “Netatmo Weather” โดยมีการรายงานผลเป็นกราฟตามช่วงวันและเวลาต่าง ๆ รวมถึงมีการแสดงตัวเลขในการวัดค่า ณ ขณะนั้นได้ โดยอุปกรณ์มีคุณสมบัติตามรายละเอียดดังนี้

1. Ranges from : 0°C to 50°C / 32°F to 112°F
2. Accuracy : $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ / $\pm 0.54^{\circ}\text{F}$ ($\pm 3\%$)
3. Units : US system : $^{\circ}\text{F}$ / Metric system : $^{\circ}\text{C}$

4. Power and Batteries : Additional indoor module powered by 4 AAA batteries.
5. Size : Additional Module : 45x45x105 mm / 1.8x1.8x4.1 inches
6. Wireless Specifications : Wireless connection between module and station
: Long range 100m.

ภาพที่ 3.3: ภาพอุปกรณ์ Netatmo ซึ่งใช้เก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ ภายในพื้นที่อาคาร



ที่มา : Netatmo Weather Station. (2022). Netatmo. Retrieved from <https://www.getdatgadget.com/netatmo-weather-station/>.

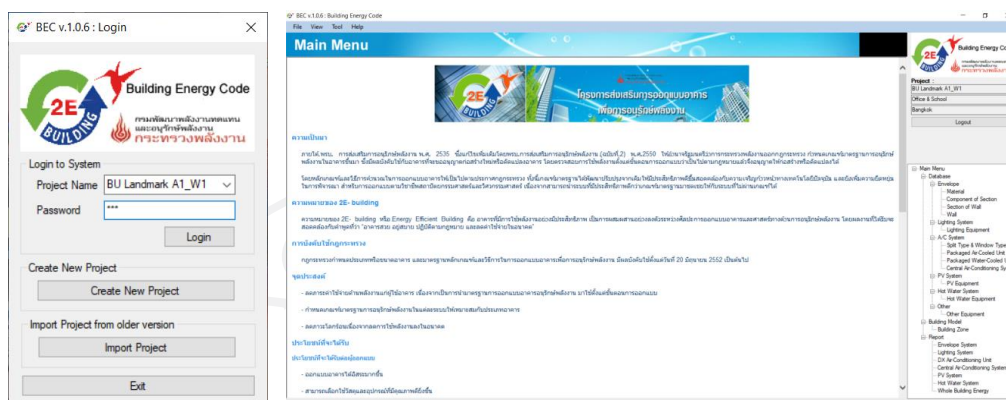
3.2.4 โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานอาคาร BEC (Building Energy Code)

โปรแกรม BEC v.1.0.6 เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (พพ.) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้โปรแกรมในการจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารได้ง่ายและสะดวก โดยการกรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบ้านหรืออาคารที่ต้องการศึกษา วัสดุ รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อคำนวณอัตราการใช้พลังงาน ซึ่งกฎกระทรวงได้มีการกำหนดประเภทขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (Roof thermal transfer value, RTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall thermal transfer value, OTTV) เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยใช้หลักการคำนวณจากสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV โดยผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดค่าและป้อนลงในโปรแกรม เพื่อทำการประมวลผล

วิธีการผ่านเกณฑ์การออกแบบตามแผนการอนุรักษ์พลังงานฯ มี 2 รูปแบบ รูปแบบแรกคือทุกระบบต้องผ่านตามเกณฑ์ อันได้แก่ ระบบกรอบอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และ

ระบบอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน รูปแบบที่สองคือการประเมินค่าพลังงานรวมของอาคารที่ออกแบบต้องน้อยกว่าพลังงานรวมของอาคารที่อ้างอิง

ภาพที่ 3.4: โปรแกรม BEC (Building Energy Code) v.1.0.6



1. หน้าหลักของโปรแกรม

รายละเอียดเกี่ยวกับหน้าหลักของการใช้งานโปรแกรม BEC v.1.0.6 สามารถแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ ได้ 4 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

1) ส่วนที่ 1 สถานะ แสดงรายละเอียดของอาคาร หรือโครงการปัจจุบันที่กำลังดำเนินการอยู่ได้แก่

(1) Current Project ประกอบด้วย ชื่ออาคารหรือโครงการ ประเภทของอาคาร หรือโครงการ และสถานที่ตั้งอาคารหรือโครงการ และใช้แสดงรายละเอียดขณะปัจจุบัน

(2) Log out ใช้เมื่อต้องการออกจากระบบ

2) ส่วนที่ 2 เมนูหลัก เมนูแสดงหัวข้อต่างๆที่ใช้ป้อนข้อมูลของอาคารหรือโครงการ มีรายละเอียดดังนี้

3) Database อธิบายการป้อนข้อมูลรายละเอียดของวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ Envelop อธิบายรายละเอียดของวัสดุ และส่วนประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคาร เช่น อธิบายรายละเอียดของชุดโคมไฟ (Lighting System), รายละเอียดของชุดอุปกรณ์ปรับอากาศต่าง ๆ (A/C System), รายละเอียดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV System), รายละเอียดของอุปกรณ์ทำน้ำร้อน (Hot Water System) และอุปกรณ์อื่น ๆ (Other)

4) Building Model อธิบายรายละเอียดของเขตพื้นที่ภายใน การกำหนด

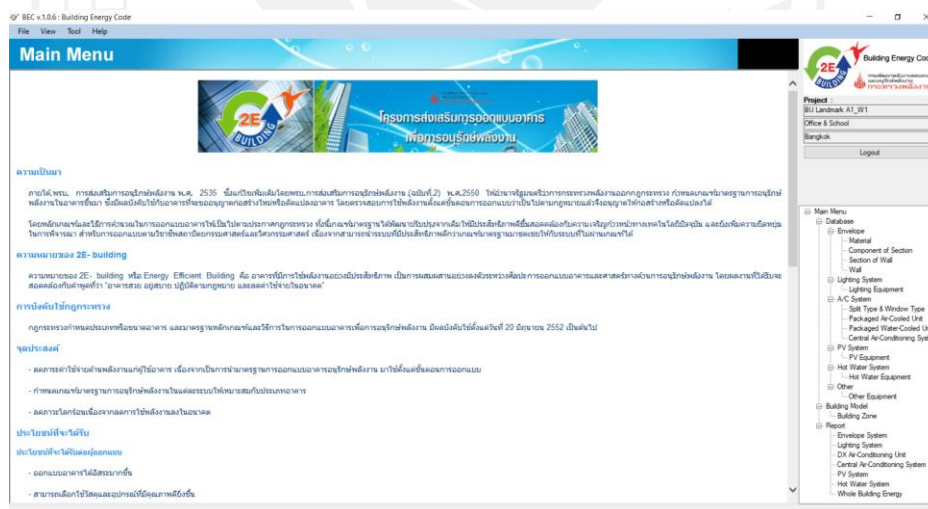
ส่วนประกอบของกรอบผนัง และการป้อนรายละเอียดของอุปกรณ์ อันได้แก่ รายละเอียดของเขตพื้นที่ภายในอาคาร (Building Zone)

(3) Report การแสดงผลการประเมินการใช้พลังงานของอาคาร แสดงผลการใช้งานของแต่ละระบบ หรือแสดงผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาของอาคาร อีกทั้งสามารถแสดงผลการประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารทั้งอาคาร เปรียบเทียบกับอาคารอ้างอิงได้อีกด้วย

5) ส่วนที่ 3 เมนูบาร์ แสดงหัวข้อต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดได้แก่ แสดงการจัดการโปรแกรม (File), แสดงตารางข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องภายในอาคาร (View) ซึ่งสามารถทำการพิมพ์ข้อมูลและส่งออกข้อมูลไปยังโปรแกรม Excel ได้, แสดงเครื่องมือช่วยเหลือต่าง ๆ (Tool) และแสดงข้อมูลอื่น ๆ (Help)

6) ส่วนที่ 4 การแสดงผล ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่แสดงผล หรือจากที่มีการเลือก หัวข้อจากเมนูหลัก เพื่อใช้ในการป้อนข้อมูลหรือการแสดงผลต่าง ๆ

ภาพที่ 3.5: แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม BEC v.1.0.6



2. รายละเอียดวัสดุ (Material)

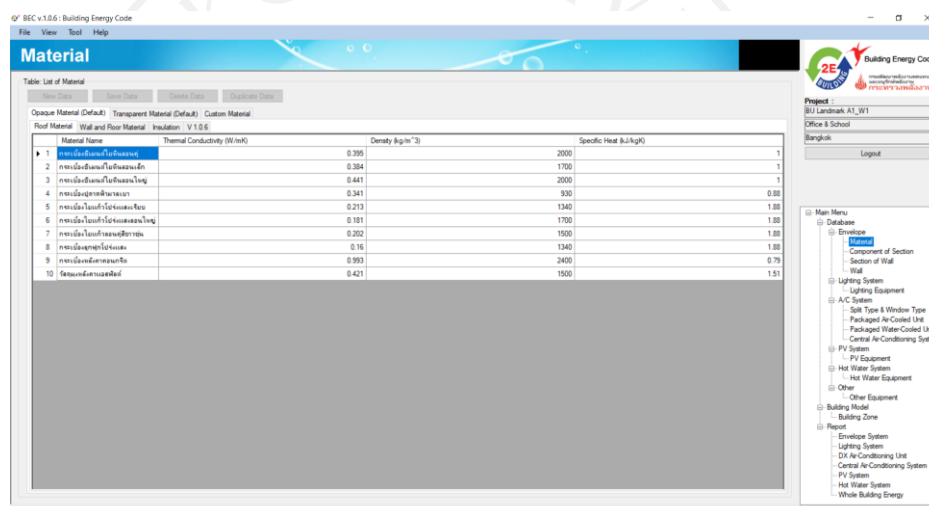
ในหน้า Material จะมีตารางแสดงข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุต่าง ๆ นอกจากนี้ ผู้ใช้งานยังสามารถเพิ่มข้อมูลคุณสมบัติวัสดุอื่น ๆ เข้าไปในโปรแกรมได้ และบันทึกหรือจัดเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้งานต่อไปในอนาคตได้อีกด้วย ซึ่ง Material สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) Opaque Material (Default) คือ ข้อมูลของวัสดุทึบแสงที่มีในโปรแกรม ได้แก่ Roof Material, Wall and Floor Material และ Insulation

2) Transparent Material (Default) คือ ข้อมูลของกระจกที่มีในโปรแกรม ได้แก่ Clear Float Glass and Tinted Float Glass, Reflective Glass, Insulating Glass และ Laminated Glass

3) Custom Material คือ ข้อมูลของวัสดุที่กรอกโดยผู้ใช้ ได้แก่ Opaque Material, Transparent Material และ Air Gap

ภาพที่ 3.6: แสดงรายละเอียดของวัสดุต่าง ๆ ของโปรแกรม BEC v.1.0.6

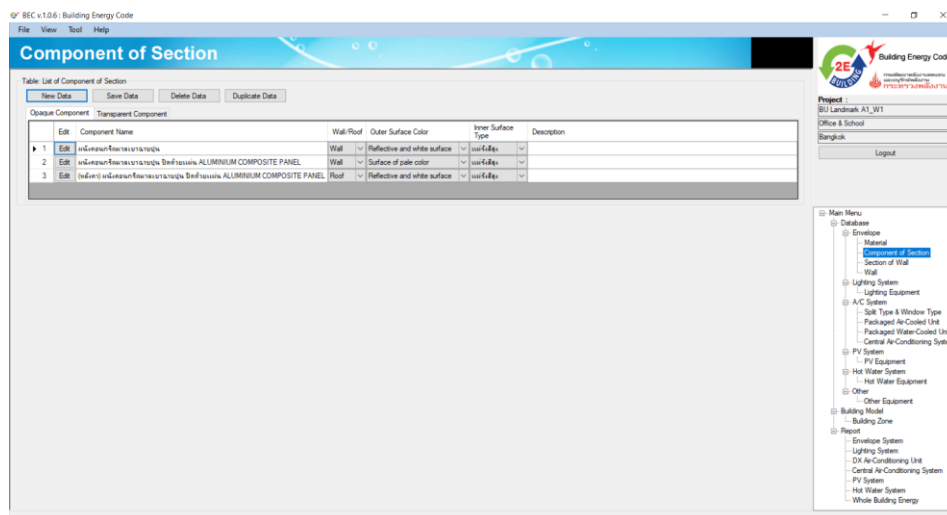


3. Component of Section ส่วนประกอบของผนังทึบและผนังโปร่งแสง

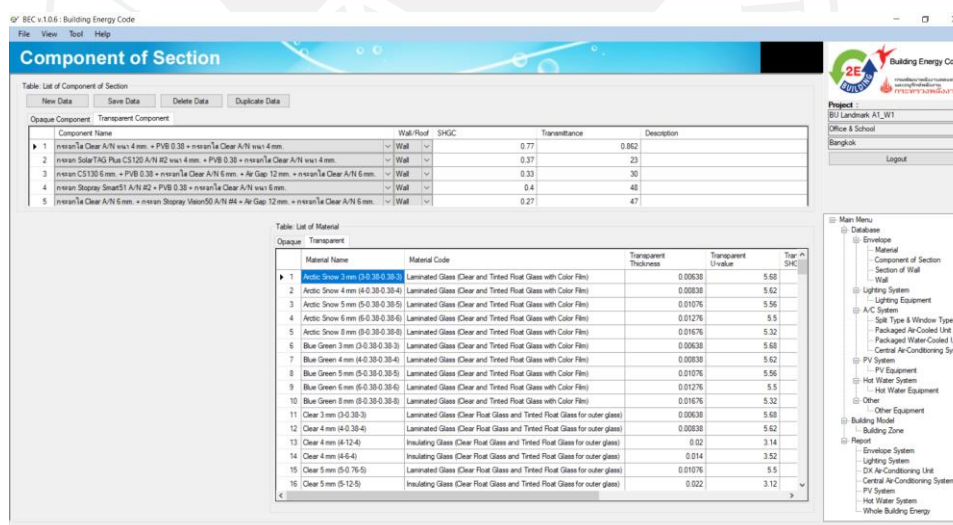
ในหน้าดังกล่าวจะมีตารางการแสดงผลข้อมูลของวัสดุอยู่ 2 ประเภท คือ

Opaque Component คือส่วนประกอบของผนังทึบ ผู้ใช้สามารถจัดการและกรอกข้อมูลรายละเอียด ได้แก่ ระบุชื่อ ระบุว่าเป็นผนังหรือหลังคา ระบุผิวหน้าของส่วนประกอบผนัง ระบุชื่อของวัสดุ ระบุความหนาของวัสดุ(เมตร) และระบุรายละเอียดอื่น ๆ ของส่วนประกอบผนัง และ Transparent Component คือส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง ผู้ใช้สามารถจัดการและกรอกข้อมูลรายละเอียด ได้แก่ ระบุชื่อของส่วนประกอบผนัง ระบุว่าเป็นส่วนของผนังหรือหลังคา ซึ่งค่า SHGC และค่า Transmittance จะปรากฏขึ้นเองจากฐานข้อมูลในโปรแกรม และยังสามารถระบุรายละเอียดอื่น ๆ ของ ส่วนประกอบผนังได้

ภาพที่ 3.7: แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของผนังทึบ (Opaque Component)



ภาพที่ 3.8: แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง (Transparent Component)

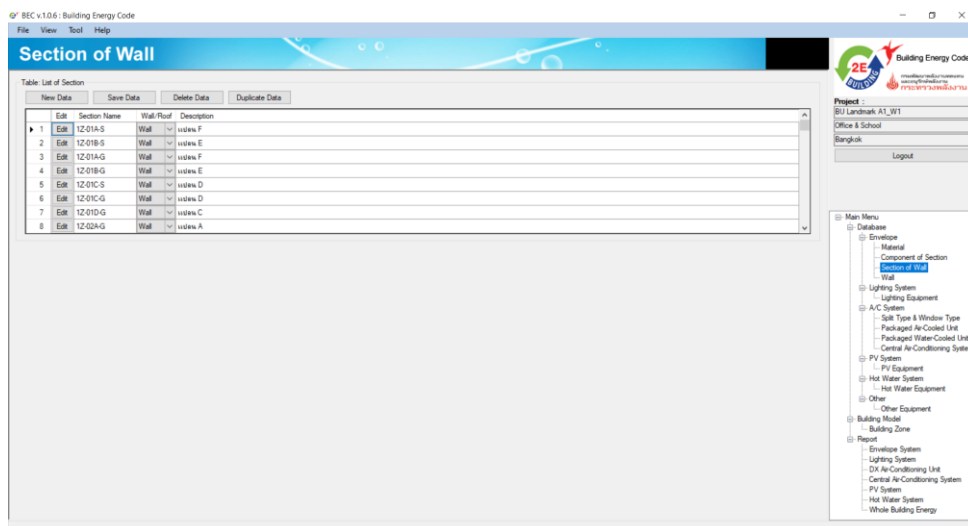


4. Section of Wall กลุ่มของผนัง

ในหน้าดังกล่าวจะมีตารางการแสดงผลข้อมูลของส่วนประกอบผนังอยู่ 2 ส่วน คือ

List of Section ซึ่งแสดงรายละเอียดของแต่ละ Section โดยผู้ใช้งานสามารถจัดการและกรอกข้อมูลของ Section ได้แก่ ระบุชื่อ, ระบุว่าเป็นส่วนของผนังหรือหลังคา, ระบุชื่อของส่วนประกอบผนัง, ระบุพื้นที่ของส่วนประกอบผนัง(ตารางเมตร) และระบุรายละเอียดอื่น ๆ ของ Section และ Section Details ซึ่งแสดงรายละเอียดส่วนประกอบของผนังที่ประกอบกันเป็น Section ต่าง ๆ

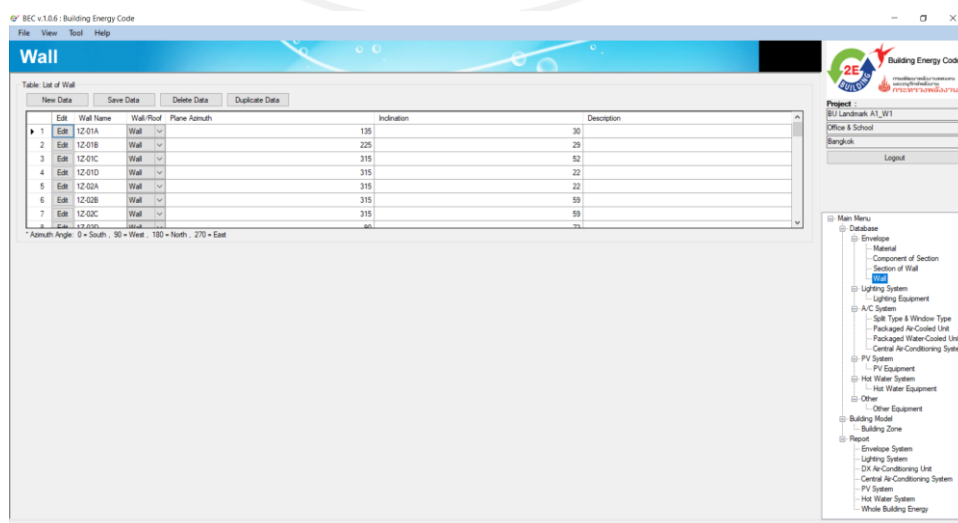
ภาพที่ 3.9: แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบของผนังที่ประกอบกันเป็น section



5. Wall ด้านของผนัง

ในหน้า Wall จะมีตารางการแสดงผลข้อมูลของผนังอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ List of Wall ซึ่งแสดงรายละเอียดของผนังต่าง ๆ ผู้ใช้สามารถกรอกข้อมูลของผนัง ได้แก่ ระบุชื่อผนัง, ระบุว่าเป็นส่วนของผนังหรือหลังคา, ระบุมุม, ระบุชื่อของเซคชั่น, ระบุค่า Shading Coefficient และระบุรายละเอียดอื่น ๆ ของผนัง และ Wall Details ซึ่งแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับเซคชั่นต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นผนัง

ภาพที่ 3.10: หน้าต่างแสดงรายละเอียดของ section ที่ประกอบกันเป็นผนังทิศต่าง ๆ



6. การหาค่า Shading Coefficient ในหน้า Shading Coefficient

ในโปรแกรม มีเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการหาค่า Shading Coefficient โดยผู้ใช้งานสามารถทำการคำนวณได้ โดยการกรอกค่ามุม Wall Azimuth และ Wall Inclination มีหน่วยเป็น Degrees, กดปุ่ม Add New Shading Device เพื่อทำการเพิ่มส่วนประกอบ การกดปุ่มนี้ ครั้งแรกจะเป็นการสร้างหน้าต่างขึ้นมา และครั้งต่อ ๆ ไปจะเป็นการเพิ่มส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ใช้เป็นส่วนกำแพงแดด, กดปุ่ม Calculate Shading Coefficient เพื่อทำการคำนวณ ซึ่งผลการคำนวณจะแสดงตรงกรอบ Result ด้านบน ค่าที่จะนำมาใช้กรอกข้อมูลได้ คือค่า Total และกดปุ่ม Use This Value เพื่อส่งค่า SC ที่คำนวณได้ไปยังผนังด้านที่เลือกไว้

ภาพที่ 3.11: หน้าต่างแสดงรายละเอียดของ Shading Coefficient Calculation

7. Envelop System รายงานค่า OTTV/RTTV

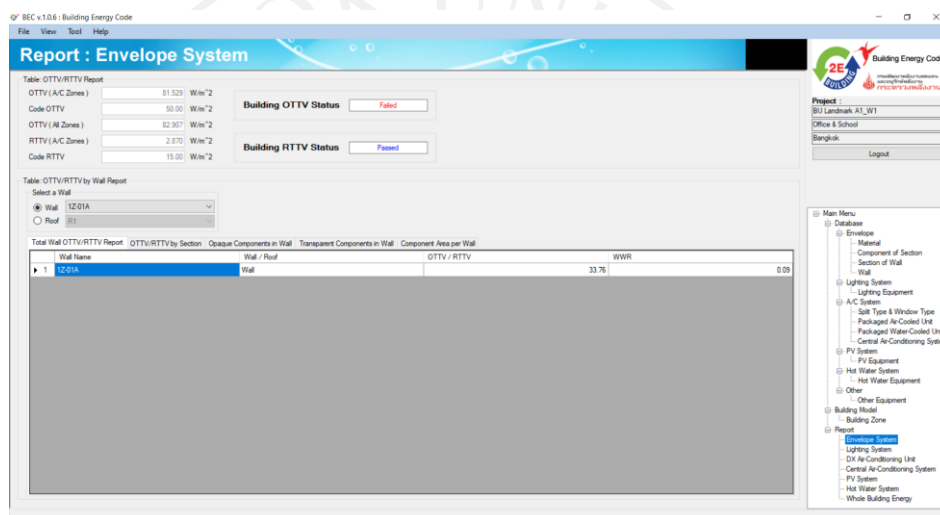
ในหน้าดังกล่าว จะมีตารางแสดงผลอยู่ 2 ส่วน คือ OTTV/RTTV report จะแสดงค่ารายงานค่า OTTV/RTTV รวมของทั้งอาคาร และ OTTV/RTTV by Wall Report แสดงรายงานค่าตามชนิดของผนัง ในหน้า OTTV/RTTV Report ผู้ใช้งานสามารถเลือกดูรายงานต่าง ๆ ได้ ซึ่งแบ่งรายงานเป็น 4 ประเภท ได้แก่

- (1) Total Wall OTTV/RTTV Report จะแสดงรายงานผลสรุปของค่า OTTV/RTTV
- (2) OTTV/RTTV by Section จะแสดงรายงานผลสรุปของค่า OTTV/RTTV แบ่งตามประเภทของ Section
- (3) Opaque Components in Wall จะแสดงรายงานของส่วนประกอบผนังที่บิผนัง

(4) Transparent Components in Wall จะแสดงรายการของส่วนประกอบผนังโปร่งแสง
ในผนัง

ใน BEC V.1.0.6 นี้ ได้มีการปรับการแสดงผลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยหากผลการ
ประเมินผ่านจะแสดงเป็นสีฟ้า ไม่ผ่านผลการประเมินจะแสดงเป็นสีแดง เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเห็นได้
ชัดเจนมากยิ่งขึ้นอีก และแสดงผลเป็นค่าทศนิยมที่มีความละเอียดจำนวน 3 ตำแหน่ง เพื่อให้เห็น
ข้อมูลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีผลกับหน้า Report

ภาพที่ 3.12: แสดงการรายงานค่า OTTV/RTTV ของทั้งอาคาร



จากการศึกษาวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร
(OTTV) โดยการใช้โปรแกรม BEC V.1.0.6 สามารถช่วยผู้ใช้งานในการคำนวณประสิทธิภาพพลังงาน
ของเปลือกอาคารได้ และยังช่วยลดระยะเวลาในการจัดการข้อมูลปริมาณมาก หากอาคารหรือ
โครงการที่ออกแบบมีผนังหรือหน้าต่างหลายประเภท อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเตรียมข้อมูล
ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณต่าง ๆ เพื่อใช้ในการกรอกข้อมูลในโปรแกรม BEC เช่น ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
กับรายละเอียดของวัสดุที่ใช้, ส่วนประกอบของผนังทึบและผนังโปร่งแสง, พื้นที่ผนังแต่ละส่วน,
กลุ่มของผนัง, องศาความเอียงของผนังและหลังคา เป็นต้น

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

เมื่อได้กำหนดแนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้ขอบเขตงานวิจัยดำเนินไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยแล้ว ลำดับถัดไปจะกล่าวถึงกระบวนการในการทำงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

3.3.1 สํารวจข้อมูลตำแหน่งอุณหภูมิสูงภายในห้องทำงานของอาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ซึ่งเป็นอาคารกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยรวบรวมข้อมูลในส่วนของคุณลักษณะทางกายภาพอาคารทั้งภายในและภายนอกอาคาร ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร และค่าไฟฟ้าของอาคาร ทั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ เนื่องจากอาคารดังกล่าวมีกระจกเป็นส่วนประกอบของผนังค่อนข้างมาก โดยลักษณะทางกายภาพและแบบโครงสร้างของอาคารมีรายละเอียดดังนี้

1. ที่ตั้งอาคาร

อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่ใช้สอยโดยรวมภายในอาคารประมาณ 2,974 ตารางเมตร อาคารวางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะอาคารเป็นรูปร่างคล้ายกับเพชร โดยในแต่ละทิศของอาคาร มีรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1: แสดงลักษณะทางกายภาพของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ภาพลักษณะอาคาร	ทิศ	หมายเหตุ
1.		ทิศตะวันออกเฉียงใต้	ทางเข้าอาคาร

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 3.1 (ต่อ): แสดงลักษณะทางกายภาพของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

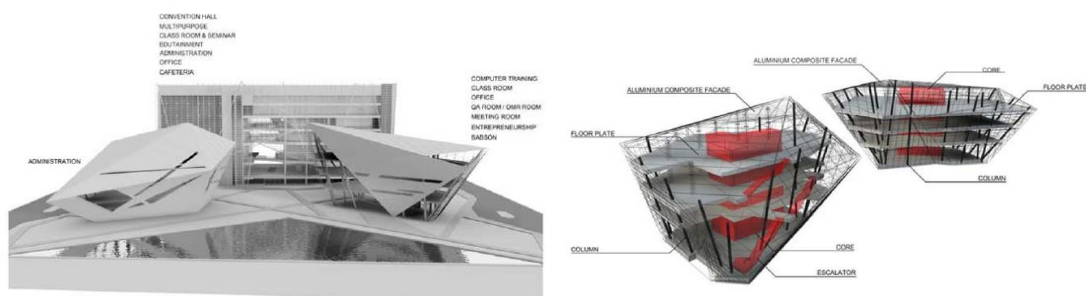
ลำดับ	ภาพลักษณะอาคาร	ทิศ	หมายเหตุ
2.		ทิศตะวันออก	ด้านข้างอาคาร
3.		ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	ด้านข้างอาคาร
4.		ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	ด้านข้างอาคาร
5.		ทิศตะวันตก	ด้านข้างอาคาร (มีประตูทางเข้า)

(ตารางมีต่อ)

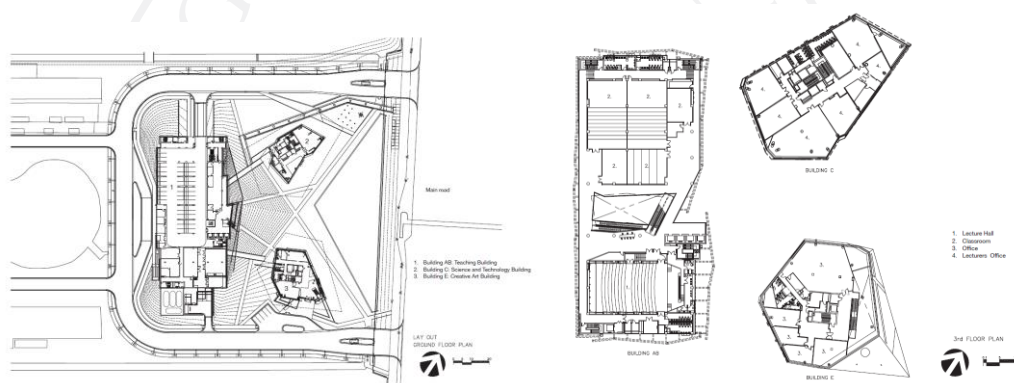
ตารางที่ 3.1 (ต่อ): แสดงลักษณะทางกายภาพของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ภาพลักษณะอาคาร	ทิศ	หมายเหตุ
6.		ทิศตะวันตกเฉียงใต้	ด้านข้างอาคาร
7.		ทิศใต้	ด้านข้างอาคาร
8.		ทิศตะวันตกเฉียงใต้	ด้านข้างอาคาร

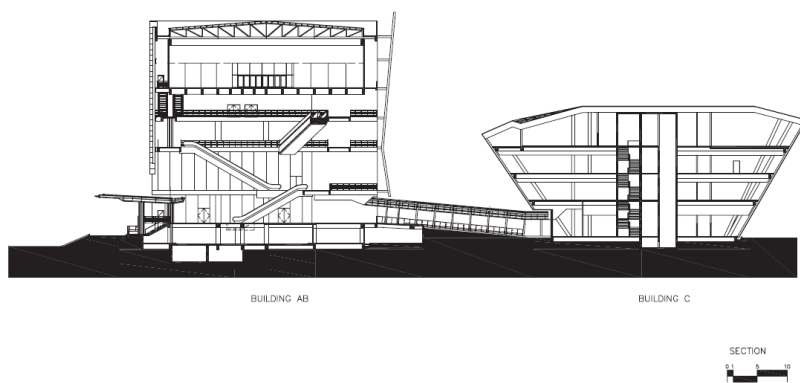
ภาพที่ 3.13: ฟังอาคาร BU Landmark (A1, A2, A3) แบบสามมิติ



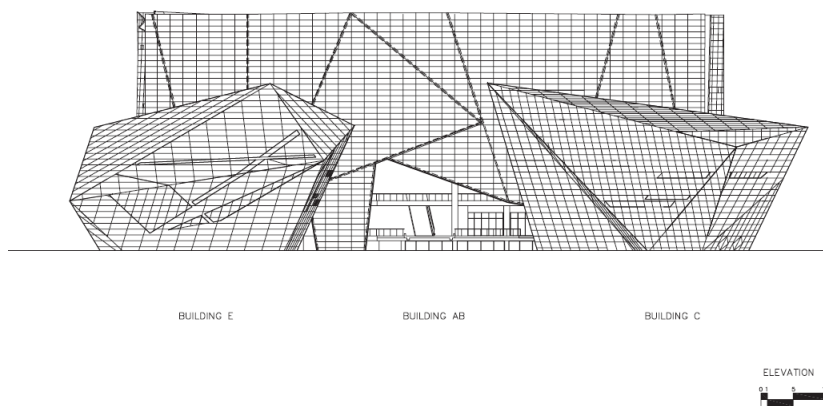
ภาพที่ 3.14: ฟังอาคาร BU Landmark (A1, A2, A3)



ภาพที่ 3.15: รูปตัดด้านข้างของอาคาร BU Landmark



ภาพที่ 3.16: แสดงผังบริเวณรูปด้านของอาคารสถานศึกษา A1, A2, A3 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
วิทยาเขตหลัก จังหวัดปทุมธานี (ข้อมูลจากบริษัท สถาปนิก 49 จำกัด)



2. พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

อาคารสถานศึกษาที่เลือกมาสำรวจ คืออาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ เนื่องจากเป็นสำนักงานที่มีเจ้าหน้าที่นั่งทำงานประจำตลอดเวลา มีจำนวน 4 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวมประมาณ 2,974 ตารางเมตร แบ่งเป็น พื้นที่ปรับอากาศ และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ภาพที่ 3.17: แสดงรายละเอียดชั้นที่ 1 ด้านหน้าอาคารติดกับถนนพหลโยธิน ภายในอาคาร มีพื้นที่ห้องเรียน และห้องเครื่องไฟฟ้า ตรงกลางเป็นพื้นที่โถงลิฟต์และโถงทางเดิน เป็นพื้นที่ปรับอากาศ

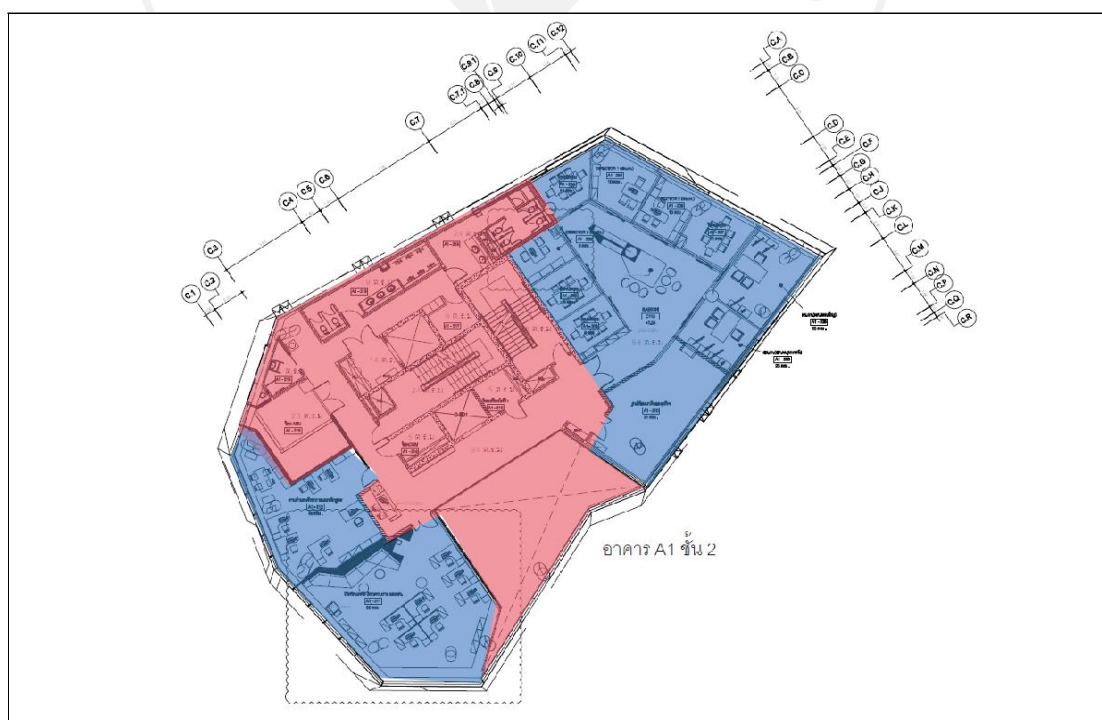


หมายเหตุ: พื้นที่สีฟ้า คือพื้นที่ปรับอากาศ และพื้นที่สีแดง คือพื้นที่ไม่ปรับอากาศ

ตารางที่ 3.2: รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 1

พื้นที่ปรับอากาศ		พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	
ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)
A1-101 ห้อง Interactive Media Lab	140	โถงบันได	50
A1-104 ห้องเครื่อง ระบบปรับอากาศ และห้องเก็บของ	23	ห้องเครื่อง	12
โถงทางเดิน ชั้น 1	164	โถงลิฟต์ดับเพลิง	16
รวมพื้นที่ปรับอากาศ	327	รวมพื้นที่ไม่ปรับอากาศ	78
		อากาศ	

ภาพที่ 3.18: แสดงรายละเอียดชั้นที่ 2 ภายในอาคารมีพื้นที่ห้องทำงานอาจารย์โดยรอบอาคาร และมีห้องเครื่องไฟฟ้า ตรงกลางเป็นพื้นที่โถงลิฟต์และโถงทางเดิน เป็นพื้นที่ปรับอากาศ

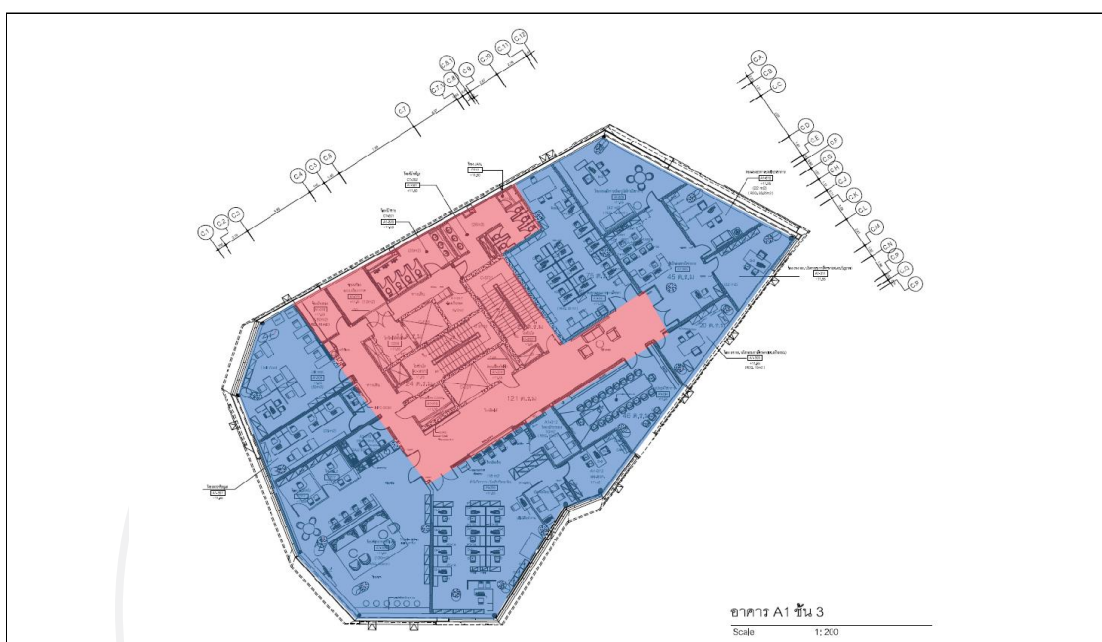


หมายเหตุ: พื้นที่สีฟ้า คือพื้นที่ปรับอากาศ และพื้นที่สีแดง คือพื้นที่ไม่ปรับอากาศ

ตารางที่ 3.3: รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 2

พื้นที่ปรับอากาศ		พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	
ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)
A1-201 ห้องประชุม	8	A1-213 ห้องเครื่องไฟฟ้า	5
A1-202 ห้องประชุม	9	A1-214 ห้อง COM	5
A1-203 Director 3	9	บันไดหนีไฟ	50
A1-205 ห้องทำงาน อาจารย์ Director1	10	โถงลิฟต์ดับเพลิง	20
A1-206 ห้องทำงาน อาจารย์ (ผช.วก.)	10	A1-215 ห้อง AHU	23
A1-209 ห้องทำงาน อาจารย์ (ผช.วก.)	23	A1-216 ห้องน้ำ	1
A1-210 ศูนย์พัฒนา เจ้าของธุรกิจ	29	A1-218 ห้องน้ำชาย	19
A1-211 ห้องเรียน	85	A1-219 ห้องน้ำหญิง	24
A1-212 งานตำแหน่ง วิชาการและหลักสูตร	49		
โถงทางเดิน ชั้น 2	94		
รวมพื้นที่ปรับอากาศ	326	รวมพื้นที่ไม่ปรับอากาศ	104

ภาพที่ 3.19: แสดงรายละเอียดชั้นที่ 3 ภายในอาคาร มีพื้นที่ห้องเรียนรวม ห้องทำงานอาจารย์ โดยรอบอาคาร และห้องเครื่องไฟฟ้า ตรงกลางเป็นพื้นที่โถงลิฟต์และโถงทางเดิน เป็นพื้นที่ปรับอากาศ



หมายเหตุ: พื้นที่สีฟ้า คือพื้นที่ปรับอากาศ และพื้นที่สีแดง คือพื้นที่ไม่ปรับอากาศ

ตารางที่ 3.4: รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 3

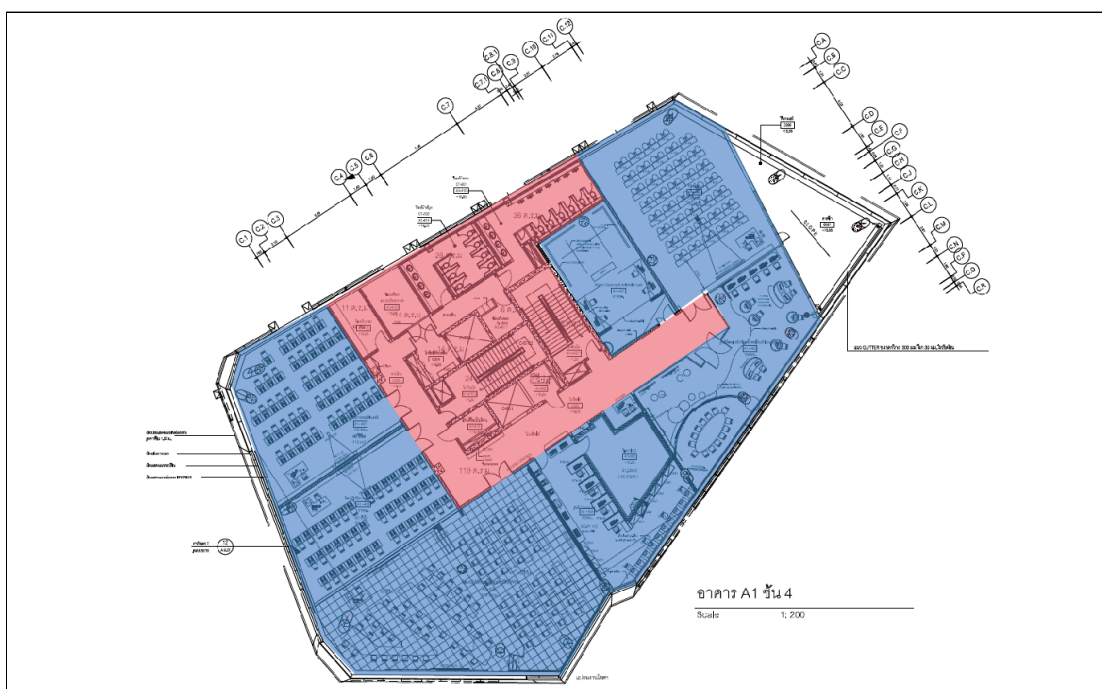
พื้นที่ปรับอากาศ		พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	
ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)
A1-301 สำนัก มาตรฐานคุณภาพ การศึกษา	75	ห้องเครื่องไฟฟ้า	10
A1-302 ห้องผู้บริหาร สายวิชาการ	45	โถงบันได	50
A1-303 ห้องอาจารย์	20	โถงลิฟต์ดับเพลิง	14
A1-304 ห้องประชุม วิชาการ	46	ห้องเก็บของ	6

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 3.4 (ต่อ): รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 3

พื้นที่ปรับอากาศ		พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	
ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)
A1-305 สำนัก วิชาการ/บัณฑิต วิทยาลัย	118	A1-318 ห้องเก็บของ	9
A1-306 ห้องพัก อาจารย์พิเศษ	120	ห้องเครื่องระบบปรับ อากาศ	12
A1-307 ห้องตรวจ ข้อมูล	25		
A1-309 ห้อง อธิการบดีอาวุโสด้าน วิชาการ	50		
A1-310 ห้องรอง อธิการบดีฝ่ายวิชาการ	22		
A1-311 ห้องรอง อธ. นวัตกรรมการศึกษา	22		
A1-312 ห้องเก็บของ	10		
A1-313 ห้องทำงาน อาจารย์ (ผอ.สวก.)	17		
รวมพื้นที่ปรับอากาศ	570	รวมพื้นที่ไม่ปรับ อากาศ	101

ภาพที่ 3.20: แสดงรายละเอียดชั้นที่ 4 มีพื้นที่ห้องเรียน และห้องเครื่องไฟฟ้า ตรงกลางเป็นพื้นที่
โถงลิฟต์และโถงทางเดิน เป็นพื้นที่ปรับอากาศ



หมายเหตุ: พื้นที่สีฟ้า คือพื้นที่ปรับอากาศ และพื้นที่สีแดง คือพื้นที่ไม่ปรับอากาศ

ตารางที่ 3.5: รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 4

พื้นที่ปรับอากาศ		พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	
ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)
A1-401 ห้อง Motion Capture & Animation Lab	61	ห้องเครื่องไฟฟ้า	10
A1-402 ห้องเรียน	26	โถงบันได	50
A1-403 ศูนย์บ่มเพาะ นักพัฒนาซอฟต์แวร์	109	โถงลิฟต์ดับเพลิง	14
A1-404 ศูนย์คอมพิวเตอร์	62	ห้องเก็บของ	6

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 3.5 (ต่อ): รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้นที่ 4

พื้นที่ปรับอากาศ		พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	
ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)
A1-405 ห้องปฏิบัติการ สร้างสรรค์สื่อดิจิทัล	218	A1-412 ห้องเก็บของ	11
A1-406 ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์	91	ห้องเครื่องระบบปรับ อากาศ	14
A1-407 ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์	109		
A1-408 ห้อง NOC.	31.39		
รวมพื้นที่ปรับอากาศ	707.39	รวมพื้นที่ไม่ปรับ อากาศ	105

3. ข้อมูลวัสดุกรอบอาคารของอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ พบว่ามีรายละเอียดข้อมูลวัสดุ
กรอบอาคารดังต่อไปนี้ (ข้อมูลจากฝ่ายอาคาร มหาวิทยาลัยกรุงเทพ)

ตารางที่ 3.6: แสดงคุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารกรณีศึกษา

ผนังทึบ	ความหนา (เมตร)	Thermal Conductivity (W/m-k)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg-K)
ปูนฉาบ	0.010	0.326	1200	0.84
อิฐมวลเบา	0.1	0.21	700	0.84

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 3.6 (ต่อ): แสดงคุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารกรณีศึกษา

ผนังทึบ	ความหนา (เมตร)	Thermal Conductivity (W/m-k)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg-K)
ปูนฉาบ	0.010	0.326	1200	0.84
แผ่นยิปซัมบอร์ด ขนาด 600x600 มม.	0.09	0.191	880	1.09
Aluminium Composite Panel	0.06	5.5	0.36	1.245
ผนังโปร่งแสง				
กระจก Laminated Glass ชนิด Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass รุ่น Clear 4 mm. (4-0.38-4)	8.38	5.14	0.77	87
ฝ้าเพดาน				
ฝ้าเพดาน Acoustic Board ขนาด 600x600 มม.	0.125	0.25	840	0.95
หลังคาทึบ				
แผ่นยิปซัมบอร์ด ขนาด 600x600 มม.	0.09	0.191	880	1.09
แผ่นฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 10 กก./ลบ.ม.	0.15	0.033	32	0.96
Aluminium Composite Panel	0.06	5.5	5.5	1.245

หมายเหตุ: คุณสมบัติของวัสดุมาจากรายการวัสดุพื้นฐานในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และจากฝ่าย
อาคาร มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ตารางที่ 3.7: แสดงรายละเอียดวัสดุของอาคารกรณีศึกษา

องค์ประกอบ	รายละเอียดวัสดุ
หลังคา	แผ่น Aluminium Composite Panel หนา 6 มม. ลาดเอียงตามแบบ ภูมิสถาปัตยกรรม, แผ่นยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม., แผ่นฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม.
ฝ้าเพดาน	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดชนิดธรรมดา ขอบลาด หนา 9 มม. ฉาบรอยต่อ เรียบ ทาสีโครงคร่าวโลหะ, ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดชนิดทนความชื้น ขนาด 600x600 มม. ทาสีโครงคร่าว T-Bar, ฝ้าเพดาน Acoustic Board ขนาด 600x600 มม. โครงคร่าว T-Bar, ท้องพื้นผนังทาสี
ผนังทึบ	ผนังอิฐมวลเบาฉาบปูนเรียบทั้งสองด้าน หนา 0.10 ม. ภายนอกทาสี ธรรมดา และสีน้ำมัน, ติดกระเบื้องโมเสค 2"x 2", แผ่นยิปซัมบอร์ด ขนาด 600x600 มม., ขอบผนังภายนอกปิดด้วย Aluminium Composite Panel หนา 6 มม. ลาดเอียงตามแบบภูมิสถาปัตยกรรม
ผนังโปร่งแสง	กระจก Laminated Glass ชนิด Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass รุ่น Clear 4 mm. (4-0.38-4) โดยที่มี ค่า U-value 5.62 watt/m ² และค่า SHGC 0.77
พื้น	คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 ม.
วัสดุปูพื้น	พื้นเทปูนทรายปรับระดับ ชัดมัน, พื้นเทปูนทรายปรับระดับ ทำผิวหิน ขัด, พื้นเทปูนทรายปรับระดับ ปูกระเบื้องยางขนาด 12"x 12", พื้นเท ปูนทรายปรับระดับ ปูกระเบื้องเซรามิคขนาด 12"x 12" สีเรียบ, พื้นเทปูนทรายปรับระดับ ปู Carpet Tile
ประตู	ประตู Hollow Metal, ประตูอะลูมิเนียม
หน้าต่าง	กระจก Laminated Glass ชนิด Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass รุ่น Clear 4 mm. (4-0.38-4) โดยที่มี ค่า U-value 5.62 watt/m ² และค่า SHGC 0.77

4. ลักษณะการใช้งานภายในอาคาร

ภายในอาคารมีลักษณะการใช้งาน 3 รูปแบบหลักๆ คือ ใช้เป็นสถานที่ทำงานของอาจารย์, ใช้เป็นสถานที่ศึกษาของนักศึกษา และใช้ประชุม

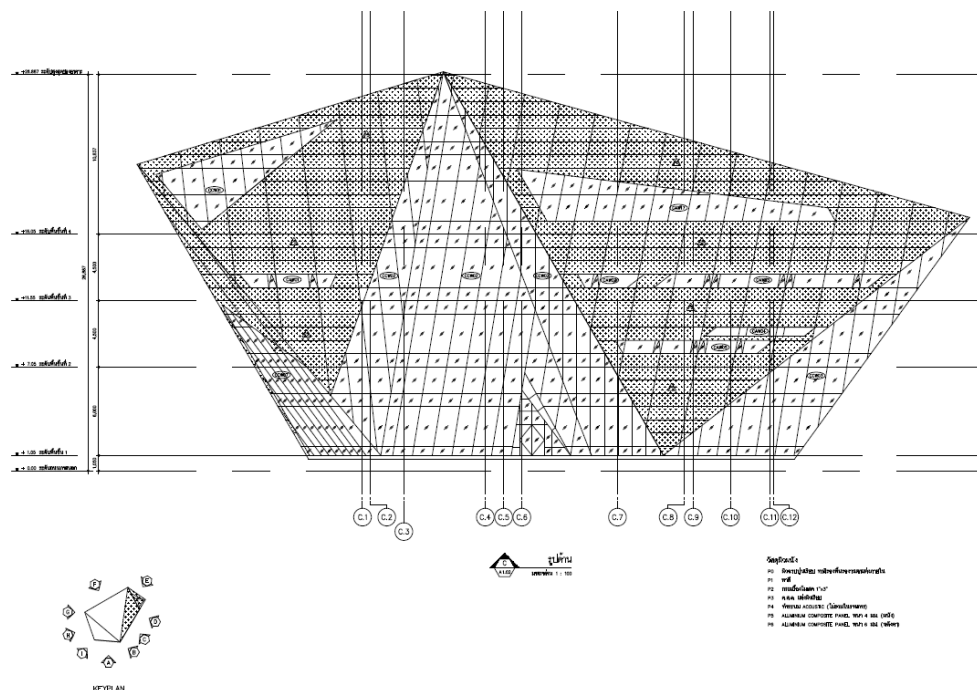
ตารางที่ 3.8: รายละเอียดลักษณะและเวลาการใช้งานของอาคาร

รูปแบบการใช้งาน	ผู้ใช้งาน	เวลาใช้งาน
1. สถานที่ทำงาน	อาจารย์ , บุคลากรประจำ ภายในอาคาร	วันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 08.30-17.30 น.
2. สถานที่ศึกษา	อาจารย์, นักศึกษา	วันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 08.30-17.30 น.
3. ประชุม	อาจารย์ , บุคลากรประจำ ภายในอาคาร	วันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 08.30-17.30 น.

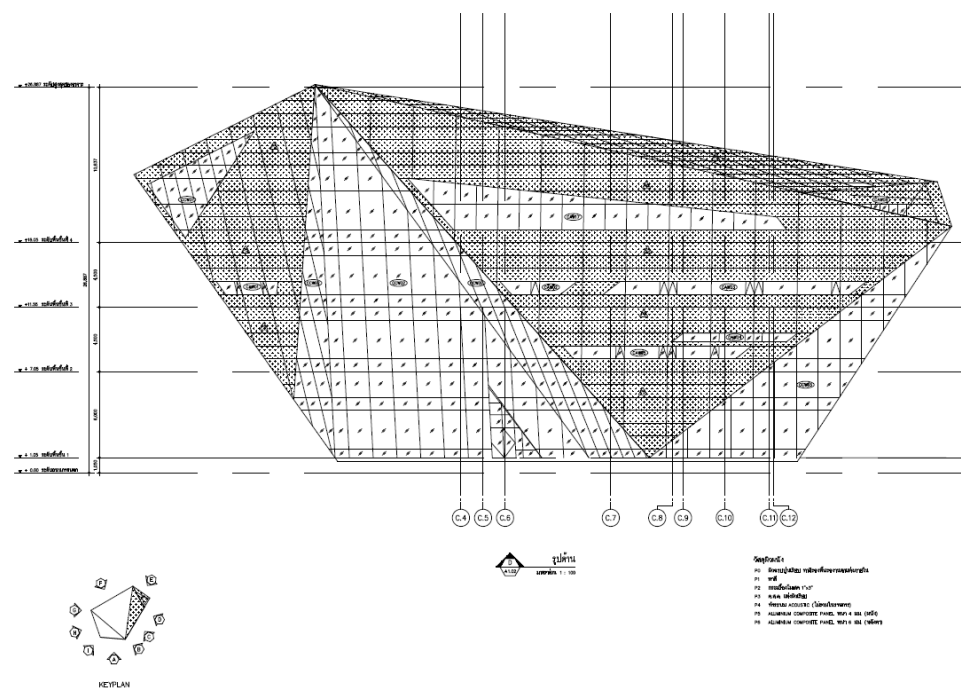
5. แบบโครงสร้างของอาคาร

อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ มีรายละเอียดแบบโครงสร้างของอาคาร หรือแบบแปลน (ข้อมูลจากฝ่ายอาคาร มหาวิทยาลัยกรุงเทพ) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์อาคาร และนำข้อมูลพื้นที่, ความสูง, องศาความเอียง หรืออื่น ๆ จากแบบแปลน ไปกรอกลงในโปรแกรม ประเมินประสิทธิภาพพลังงานต่อไป โดยแบบโครงสร้างของอาคารมีรายละเอียดดังนี้

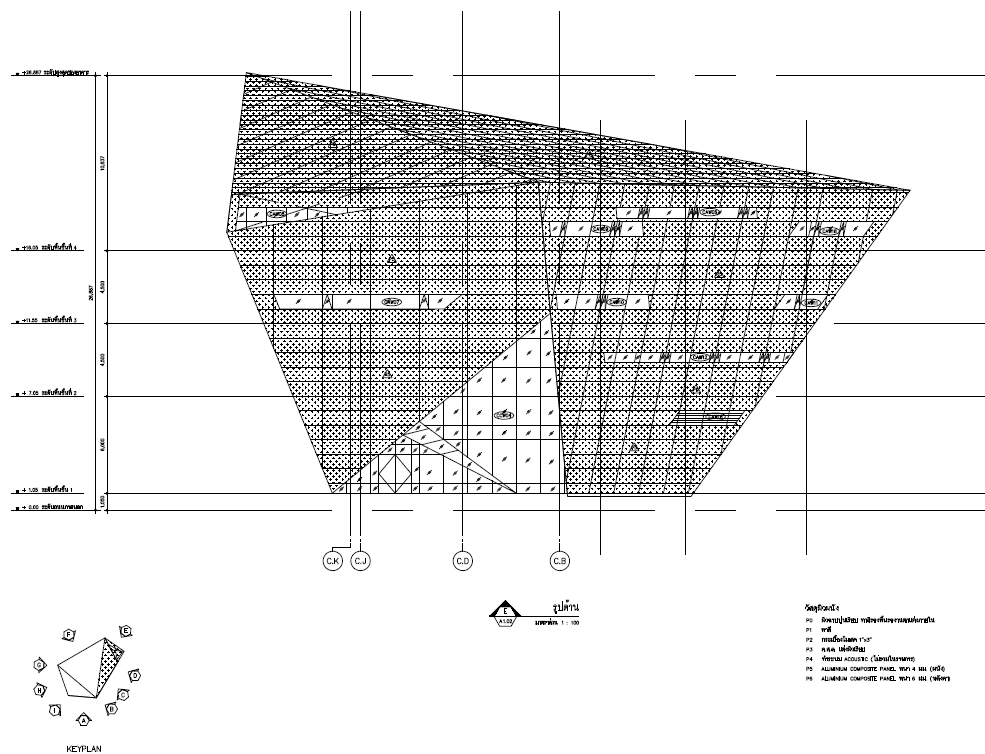
ภาพที่ 3.23: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (C)



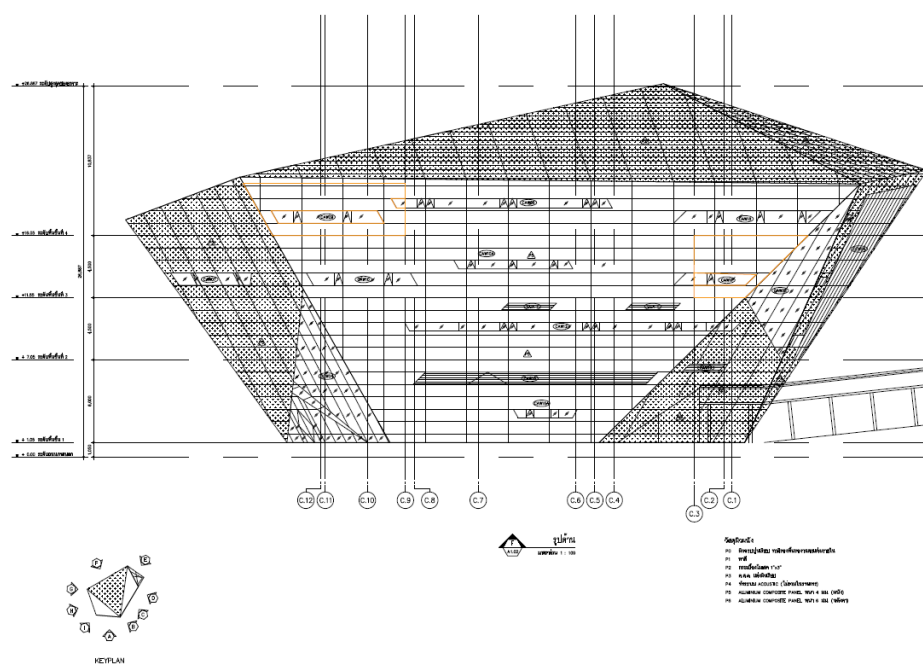
ภาพที่ 3.24: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (D)



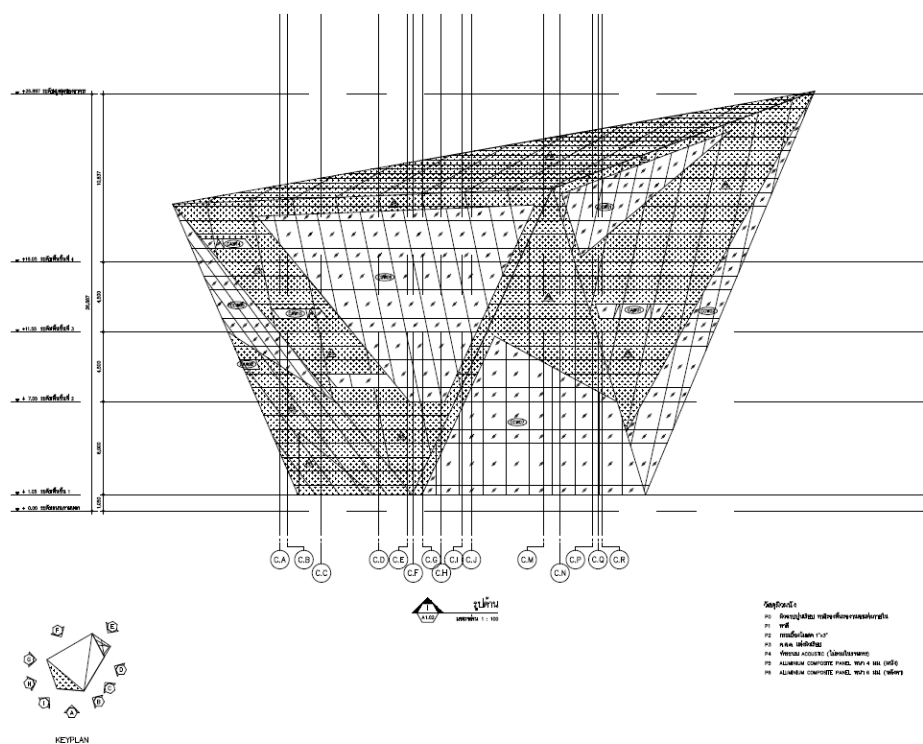
ภาพที่ 3.25: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E)



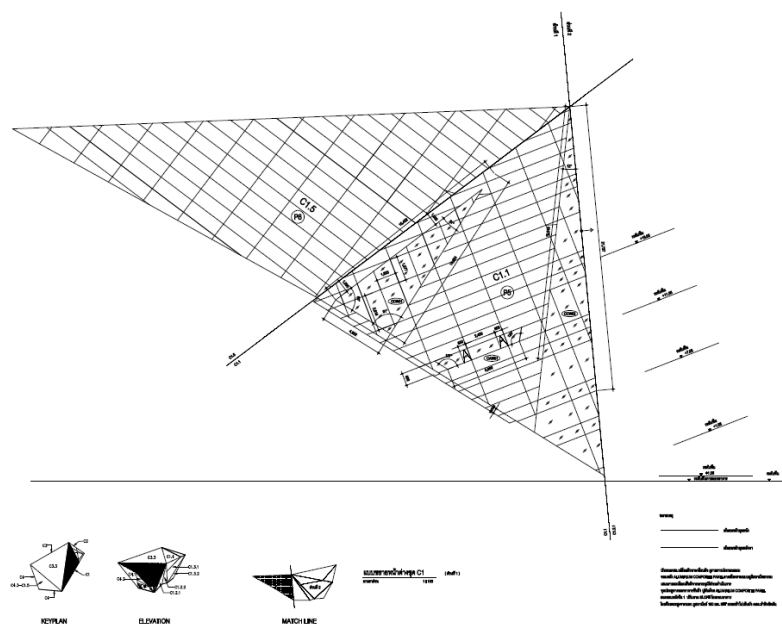
ภาพที่ 3.26: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (F)



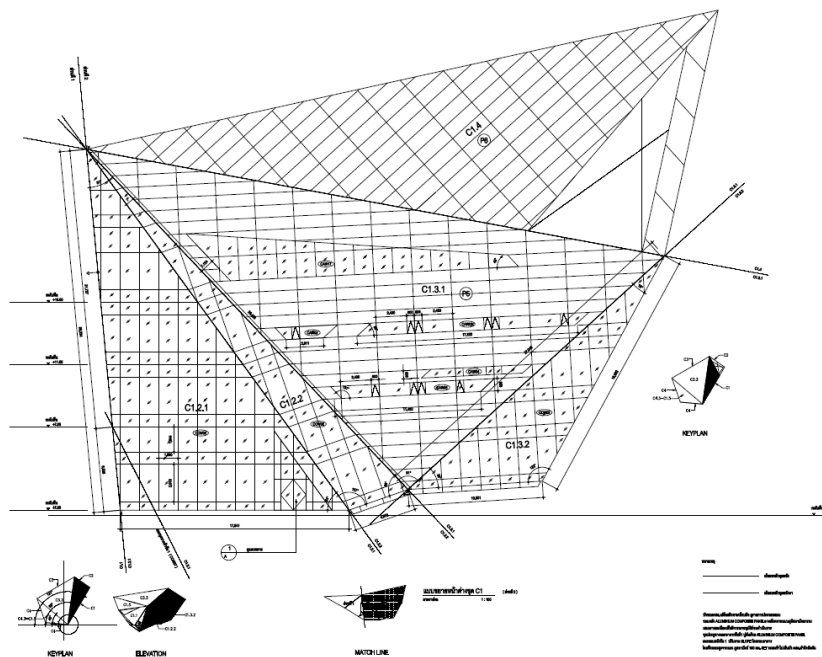
ภาพที่ 3.29: ภาพด้านข้างของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (I)



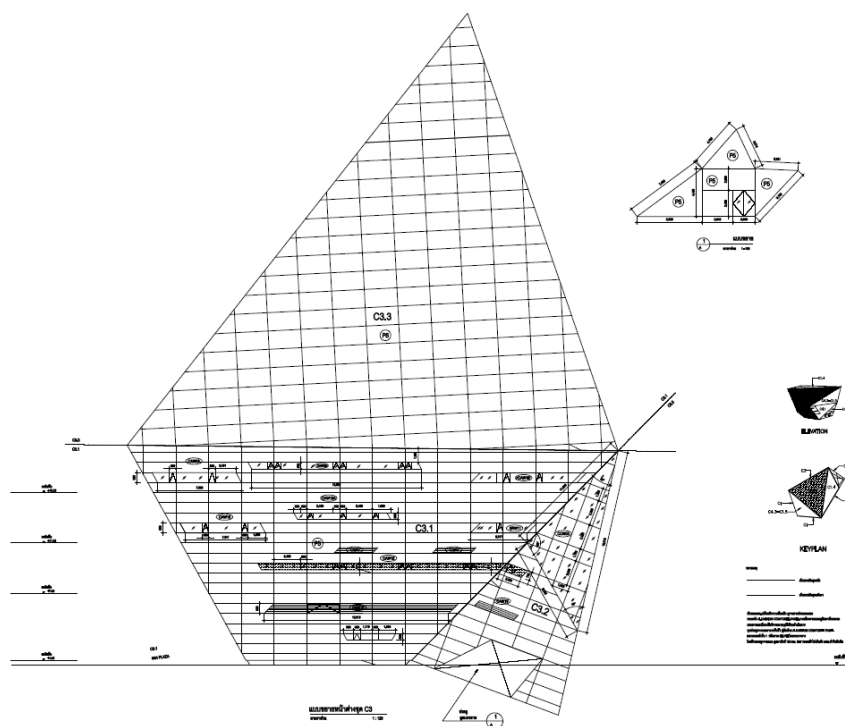
ภาพที่ 3.30: ภาพส่วนประกอบของหลังคา อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทางทิศตะวันออก



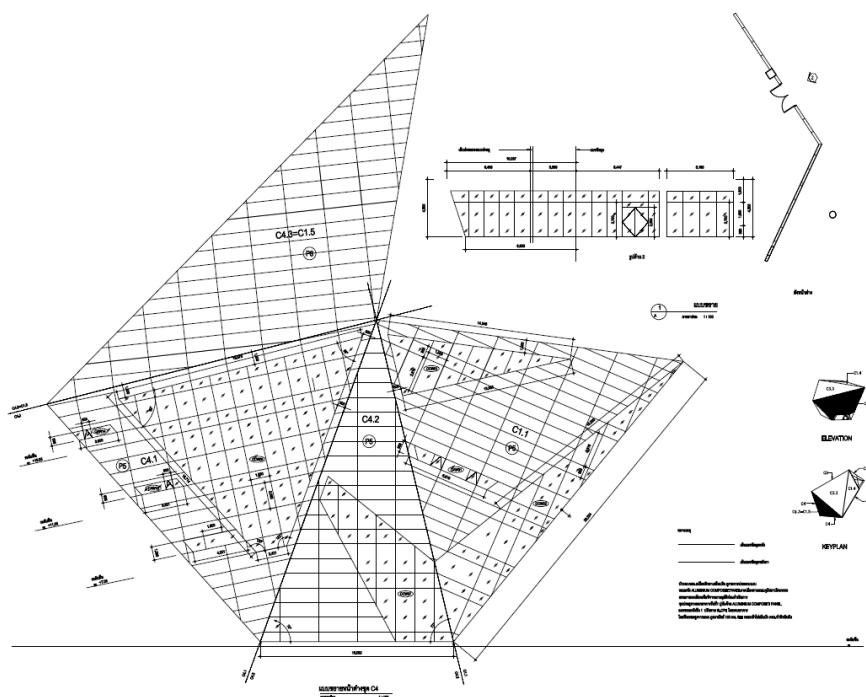
ภาพที่ 3.31: ภาพส่วนประกอบของหลังคา อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันตกเฉียงใต้



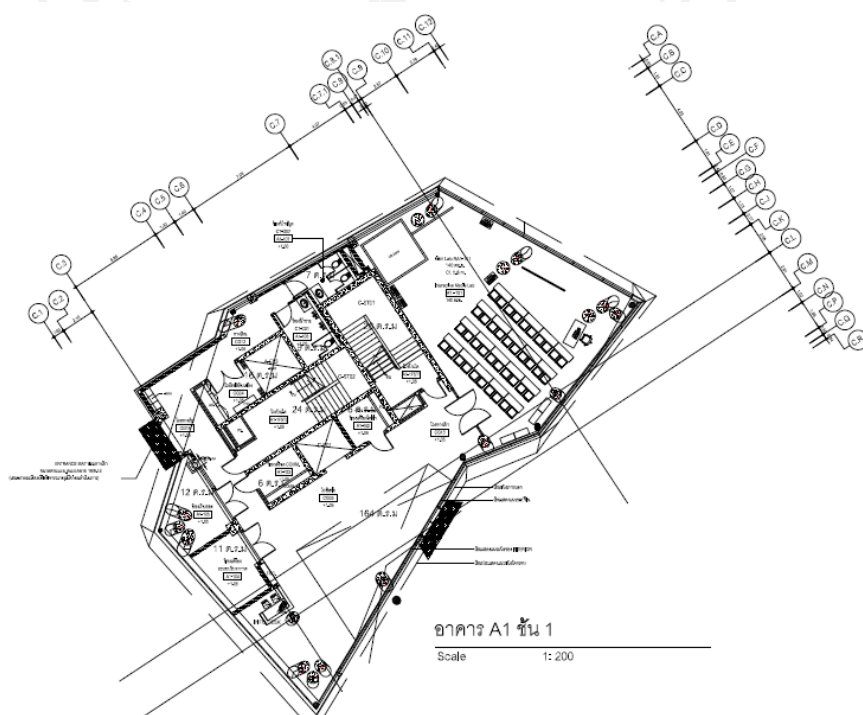
ภาพที่ 3.32: ภาพส่วนประกอบของหลังคา อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



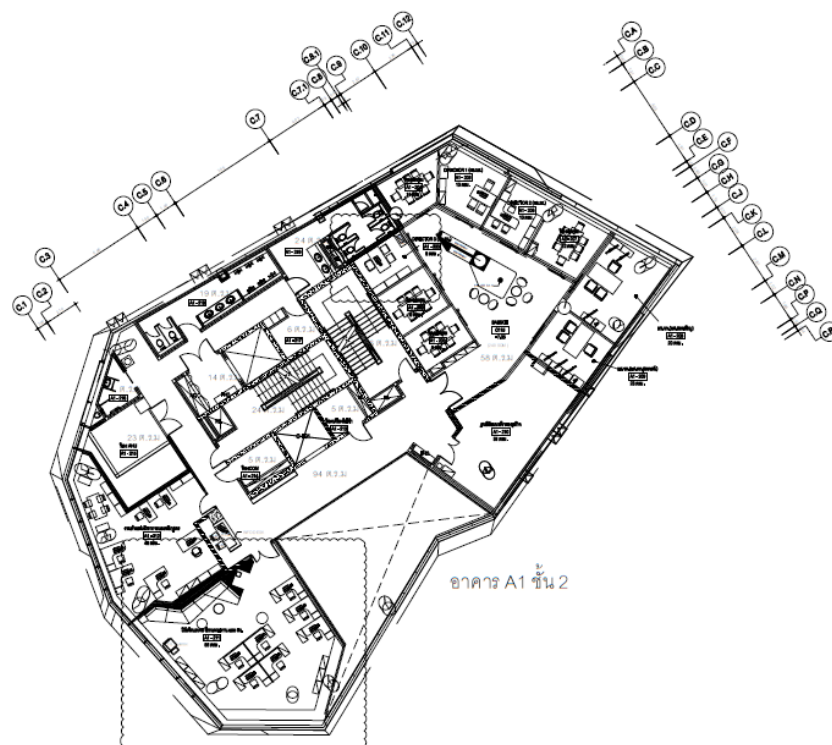
ภาพที่ 3.33: ภาพส่วนประกอบของหลังคา อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้



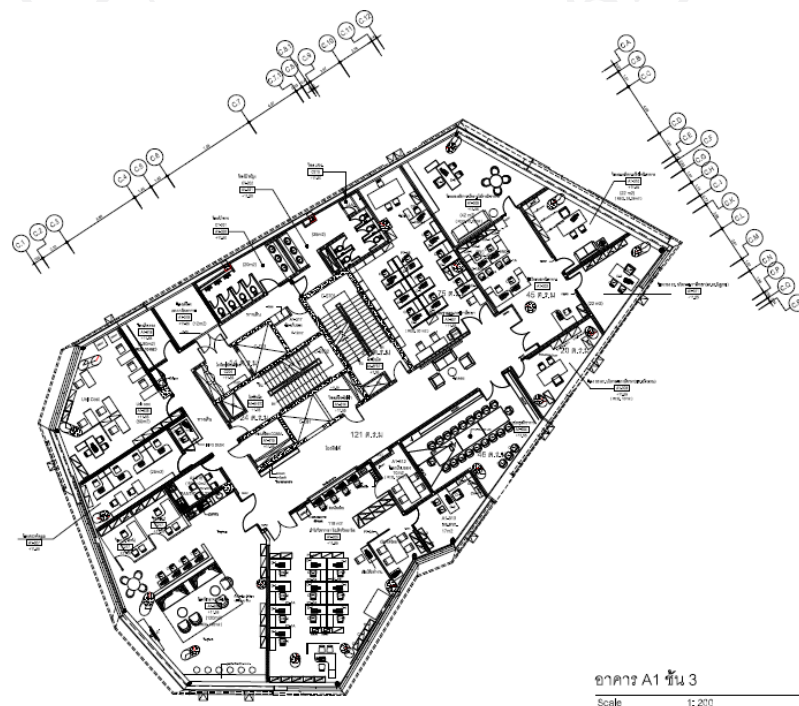
ภาพที่ 3.34: ภาพแบบแปลนชั้นที่ 1 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



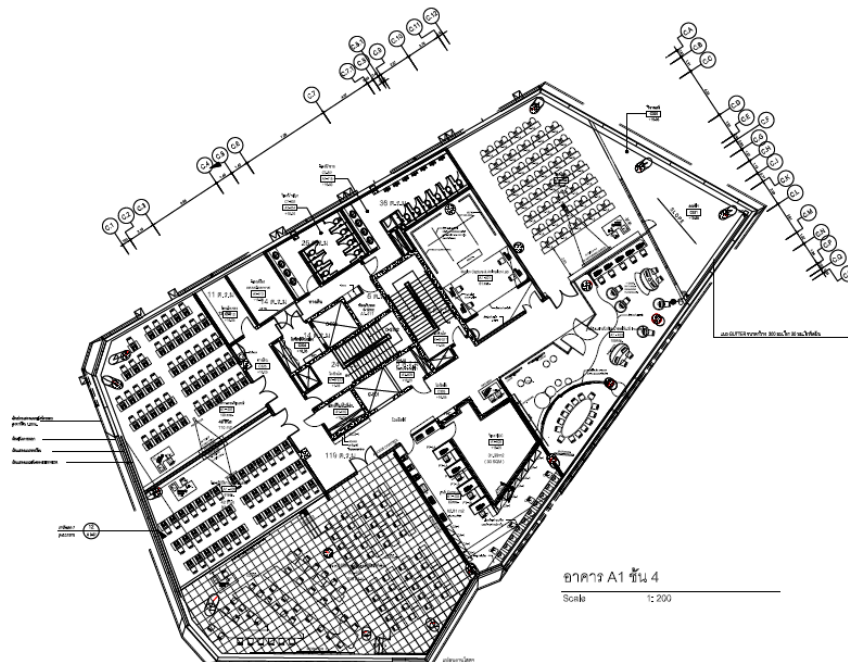
ภาพที่ 3.35: ภาพแบบแปลนชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



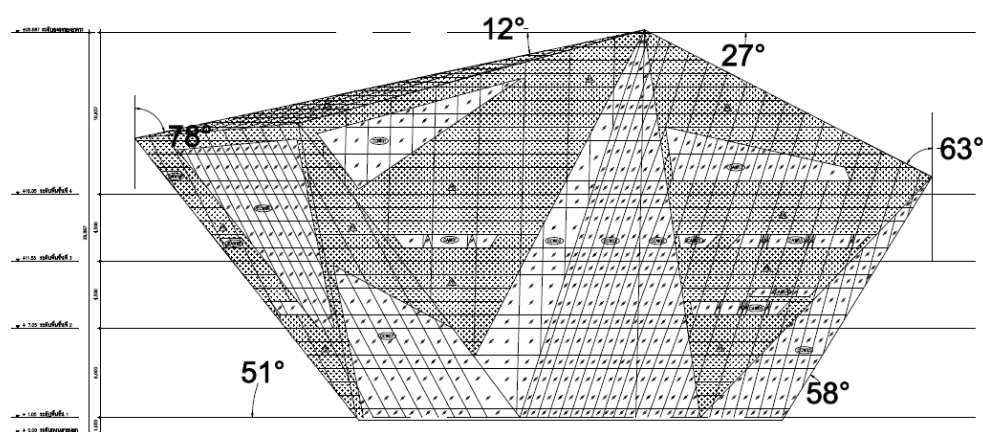
ภาพที่ 3.36: ภาพแบบแปลนชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



ภาพที่ 3.37: ภาพแบบแปลนชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

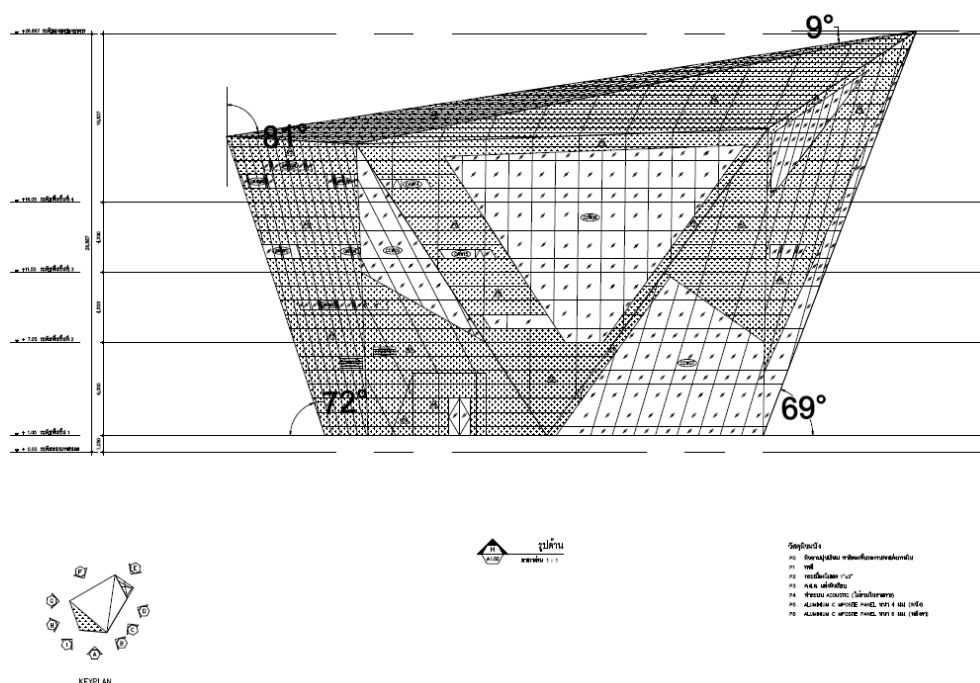


ภาพที่ 3.38: แสดงการวัดมุมลาดเอียงของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (R1)



ข้อมูลเบื้องต้น
 1. ชื่อโครงการ: อาคารสถานศึกษา A1
 2. ชื่อ: อาคาร A1
 3. ชื่อ: อาคาร A1
 4. ชื่อ: อาคาร A1
 5. ชื่อ: อาคาร A1
 6. ชื่อ: อาคาร A1

ภาพที่ 3.41: แสดงการวัดมุมลาดเอียงของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (R4)



3.3.2 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมากำหนดแนวทางปรับปรุงอาคาร ได้แก่ คุณสมบัติวัสดุกระจก ราคาค่าแรงในการติดตั้งและรื้อถอนกระจก และการคำนวณค่าไฟฟ้าของอาคาร รวมไปถึงการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. คุณสมบัติวัสดุกระจก

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูล รายละเอียดของกระจกสองชั้นที่จะนำมาใช้กับอาคารกรณีศึกษา โดยเลือกเฉพาะกระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะกับใช้ในอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารสูง และสามารถป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ได้ดี โดยได้ประสานงานขอข้อมูลคุณสมบัติและราคาวัสดุกระจกจากบริษัทกระจกชั้นนำที่มีความน่าเชื่อถือ โดยขอข้อมูลจากบริษัท เอจิสซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) อีกทั้ง ผู้วิจัยได้ประสานงานขอข้อมูลด้านค่าแรงในการติดตั้งและรื้อถอนกระจก จากบริษัทที่มีประสบการณ์ในการรับติดตั้งและรื้อถอนกระจก และมีผลงานอาคารที่ได้รับรางวัลมากมาย คือบริษัท กัมพูฮุยเส็งค้ากระจก จำกัด (เนื่องจากค่าแรงของการติดตั้งและรื้อถอนกระจกสองชั้นค่อนข้างมีลักษณะเฉพาะ และยังขึ้นอยู่กับฝีมือและความชำนาญงาน, ความหนาของกระจก, โครงสร้างของอาคาร จึงทำให้ผู้วิจัยต้องประสานงานติดต่อขอข้อมูลด้านค่าแรงจากบริษัทที่รับติดตั้งและรื้อถอนกระจกโดยตรง ไม่อ้างอิงบัญชีราคากลางของกรมบัญชีกลาง)

ในการพิจารณาคุณสมบัติของกระจกสองชั้นชนิดต่าง ๆ สามารถพิจารณาจากค่าคุณสมบัติของกระจก อันได้แก่ ค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ (Visible Light Transmission หรือ VLT), ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient หรือ SHGC) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (U-Value) เป็นต้น โดยในการเลือกกระจกประหยัดพลังงานที่ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร หรือค่า OTTV ต่ำ หรือผ่านเกณฑ์ตามที่กฎกระทรวงกำหนด สามารถพิจารณาความเหมาะสมของกระจกแต่ละประเภทจากคุณสมบัติ ดังนี้คือ กระจกควรมีค่า U-Value และ SHGC ที่ต่ำ แต่มีค่า VLT ที่สูง โดยผู้วิจัยได้ทำการสำรวจชนิดกระจกที่ใช้อยู่ในอาคารปัจจุบัน และเลือกชนิดกระจกที่น่าสนใจมาทำการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

กระจกของอาคารสถานศึกษา A1 ก่อนการปรับปรุง (กระจกที่ใช้ในปัจจุบัน) คือ กระจกลามิเนต หนา 8.38 mm. ที่ประกอบด้วย กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. มีฟิล์ม PVB 0.38 และประกบด้วยกระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. โดยที่มีค่า U-value 5.14 watt/m^2 และค่า SHGC 0.77 (ราคาประมาณ 140 บาท/ตารางฟุต)

กระจกที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

1. กระจกชนิดที่ 1 (W1) คือ กระจกลามิเนต (Laminated) หนา 8.38 mm. ประกอบด้วย กระจก SolarTAG Plus CS120 A/N #2 หนา 4 mm. + PVB 0.38 + กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. โดยที่มีค่า U-value 5.14 watt/m^2 และค่า SHGC 0.37 (ราคาประมาณ 195 บาท/ตารางฟุต)
2. กระจกชนิดที่ 2 (W2) คือ กระจกลามิเนต (Laminated) หนา 30.38 mm. ประกอบด้วย กระจก SolarTAG Plus CS130 หนา 6 mm. + PVB 0.38 + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 2.78 watt/m^2 และค่า SHGC 0.33 (ราคาประมาณ 405 บาท/ตารางฟุต)
3. กระจกชนิดที่ 3 (W3) คือ กระจกลามิเนต (Laminated) หนา 12.38 mm. ประกอบด้วย กระจก Stopray Smart51 A/N #2 + PVB 0.38 + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 5.00 watt/m^2 และค่า SHGC 0.40 (ราคาประมาณ 315 บาท/ตารางฟุต)
4. กระจกชนิดที่ 4 (W4) คือ กระจกลามิเนต-อินซูลเลท หนา 30.38 mm. (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. + PVB 0.38 + กระจก Stopray Vision50 A/N #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N

หนา 6 mm. โดยมีค่า U-value 1.56 watt/m² และค่า SHGC 0.27 (ราคาประมาณ 445 บาท/ตารางฟุต)

5. กระฉกชนิดที่ 5 (W5) คือ กระฉกลามิเนต-อินซูลเลท หนา 31.52 mm. (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระฉกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 + กระฉก Stopray ACE30T #4 + Air Gap 12 mm. + กระฉกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยมีค่า U-value 1.62 watt/m² และค่า SHGC 0.20 (ราคาประมาณ 650 บาท/ตารางฟุต)

ทั้งนี้ ผู้วิจัยใช้หลักการในการเลือกกระฉกสองชั้นประสิทธิภาพสูง เหมาะกับใช้ในอาคารขนาดใหญ่มาทำการทดลอง คือ เลือกกระฉกที่มีค่า SHGC ต่ำกว่ากระฉกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเล็กน้อย, เลือกกระฉกที่มีค่า SHGC และค่า U-Value ต่ำกว่ากระฉกที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และมีช่องว่างระหว่างกระฉก (Air Gap) เพื่อช่วยลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร และทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น, เลือกกระฉกที่มีค่า SHGC และค่า U-Value ต่ำกว่ากระฉกที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และไม่มีช่องว่างระหว่างกระฉก (Air Gap), เลือกกระฉกที่มีค่า SHGC และค่า U-Value ต่ำกว่ากระฉกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันค่อนข้างมาก และมีช่องว่างระหว่างกระฉก (Air Gap)

ตารางที่ 3.9: รายละเอียดคุณสมบัติและราคาของกระฉกที่นำมาทดลอง (ข้อมูลจาก บริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เมื่อเดือนพฤษภาคม 2565)

AGC Flat Glass (Thailand)

Glass Performance Data Sheet

Project : Bangkok University Building (Renovation Study)

Requester : Bangkok University

Ref. No : NT2205/35

Report Date : 31-May-22

AGC
Your Dreams, Our Challenge

Item	Total Thickness (mm)	Glass Configuration	Idea Price (Bath/Unit)	Light Properties			Energy Properties					U-Value (W/m ² K)
				VLT%	External	Internal	DET %	ER %	EA %	SC	SHGC	
1	8.38	4mm Clear A/N + PVB0.38 + 4mm Clear A/N	140	87	8	8	71	7	23	0.89	0.77	5.14
2	8.38	4mm Ocean Green A/N + PVB0.38 + 4mm Clear A/N	155	79	7	7	51	6	43	0.74	0.65	5.14
3	8.38	4mm CS120 A/N #2 + PVB0.38 + 4mm Clear A/N	195	23	28	23	18	24	58	0.42	0.37	5.14
4	8.38	4mm CS130 A/N #2 + PVB0.38 + 4mm Clear A/N	195	34	20	16	27	17	56	0.52	0.45	5.14
5	30.38	6mm CS120 A/N + PVB0.38 + 6mm Clear A/N + A12 + 6mm Clear A/N	405	20	28	26	14	22	64	0.30	0.26	2.78
6	30.38	6mm CS130 A/N + PVB0.38 + 6mm Clear A/N + A12 + 6mm Clear A/N	405	30	20	20	20	16	64	0.38	0.33	2.78
7	12.38	6mm STOPRAY Smart51 A/N #2 + PVB0.38 + 6mm Clear A/N	315	48	23	20	26	29	44	0.47	0.40	5.00
8	30.38	6mm Clear A/N + PVB0.38 + 6mm STOPRAY Smart51 A/N #4 + A12 + 6mm Clear A/N	435	48	24	17	23	23	55	0.34	0.30	1.61
9	30.38	6mm Clear A/N + PVB0.38 + 6mm STOPRAY Vision50 A/N #4 + A12 + 6mm Clear A/N	445	47	18	22	20	23	57	0.31	0.27	1.56
10	31.52	6mm Clear H/S + PVB1.52 + 6mm STOPRAY ACE30T H/S #4 + A12 + 6mm Clear A/N	650	31	17	10	12	16	71	0.23	0.20	1.62
11	31.52	6mm Clear H/S + PVB1.52 + 6mm STOPRAY ACE40T H/S #4 + A12 + 6mm Clear A/N	650	38	15	12	15	15	70	0.27	0.23	1.64
AGC Production Control and Its Tolerances (exclude test uncertainty)							+/- 3.0%			+/- 0.02		+/- 0.10

VLT (Visible Light Transmittance), VLR (Visible Light Reflection), DET (Direct Energy Transmittance), ER (Energy Reflectance), EA (Energy Absorbance), SHGC (Solar Heat Gain Coefficient), SC (Shading Coefficient)

AN: Annealed, HS: Heat Strengthened, TP: Tempered, Double Glazing Unit: IGU/DGU

Remarks:

- Specifications, technical and other data are based on information available at the time of preparation of this document and are subjected to change without notice.
- AGC cannot held responsible for any deviation between the data introduced and any test results because of production variation and test uncertainty.
- Tempered glass and heat strengthened glass have potential risk of spontaneous breakage. AGC cannot guarantee against spontaneous breakage due to characteristics of glass.
- For tempered glass, AGC strongly recommends to apply heat soak test to reduce the risk of spontaneous breakage.
- If Energy Absorbance (EA) > 70%, AGC recommend to use heat strengthened glass.
- If area of laminated glass is greater than 4 m²/piece, AGC recommend to apply interlayer > 0.76 mm.
- The above data are calculated by AGC in-house software base on NFRC 200-2010 (in accordance with ISO 15099) for optical properties and NFRC 100-2010 Summer for thermal property (U-Value).

Prepared by : Mr. Natapon Traikulpeankit

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited
บริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
200 Moo 1, Suksawad Road, Phra Samut Chedi, Samut Prakan, 10290
Tel : +66 2815 5000, email: agc-glass@agc.com
www.agc-flatglass.co.th



คุณสมบัติของกระจกที่นำมาทำการทดลอง (ข้อมูลจาก บริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เมื่อเดือนพฤษภาคม 2565) มีรายละเอียดดังนี้

1) กระจก Solar TAG Plus (โซลาร์แทค พลัส) เป็นกระจกสะท้อนแสงความร้อนที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยโลหะชนิดพิเศษด้วยระบบ Magnetron Sputtering ที่ทันสมัย ผ่านขั้นตอนกระบวนการเคลือบโลหะชนิดพิเศษ ทำให้ได้กระจกสะท้อนความร้อนที่มีคุณภาพสูง สามารถลดความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้มากถึง 72% และมีให้เลือกหลากหลายตามความต้องการของสถาปนิก สำหรับการออกแบบทั้งภายนอกและภายในอาคาร

คุณสมบัติเด่น : ลดความร้อน 37-72%, ยอมให้แสงผ่านได้ประมาณ 10-50%, สร้างความโดดเด่นให้กับอาคาร สะท้อนสีสนิมที่หลากหลาย, มีให้เลือกหลากหลายโทนสี, ป้องกันความร้อนภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างดี, ลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ, เป็นกระจกประหยัดพลังงาน, มีมาตรฐานระดับโลก มาตรฐานส่งออกต่างประเทศ

การใช้งาน : ใช้ประกอบเป็นประตู หน้าต่างของบ้านและอาคารสูง เช่น โรงแรม อาคารสำนักงาน คอนโดมิเนียม ตึกออฟฟิศสมัยใหม่ กลาสเฮ้าส์, สามารถออกแบบเพื่อใช้งานภายใน เช่น ฉากกั้นห้อง ผนังภายใน โถงอาคาร, ใช้กับงานสถานบริการชุมชน เช่น ศูนย์ราชการ โรงพยาบาล ห้องสมุด พิพิธภัณฑ์ ศูนย์วัฒนธรรม รวมทั้งสถานศึกษา, ใช้สำหรับสถานที่ต่าง ๆ ที่ต้องการประหยัดพลังงาน และลดความสว่างจ้าของแสงจากรังสีอาทิตย์, ใช้ประกอบเป็นเฟอร์นิเจอร์, สามารถติดตามขนาดที่ต้องการ และนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปได้ในภายหลัง อาทิเช่น การอบด้วยความร้อน การแปรรูปเป็นกระจกเทมเปอร์หรือกระจกฮีตสเตร็งเทน กระจกนิรภัยลามิเนต และกระจกฉนวนความร้อน เป็นต้น

ข้อควรระวัง : การติดตั้งกระจกสะท้อนแสงแผ่นเดียว ให้ด้านที่เคลือบโลหะเข้าอยู่ภายในอาคารเท่านั้น, ในสภาพการใช้งานทั่วไป ด้านที่เคลือบโลหะของกระจกสะท้อนแสง มีความคงทนถาวร แต่หากถูวัสดุที่แข็ง เช่น โลหะแหลมกระทบ จะทำให้กระจกสะท้อนแสงเป็นรอยขีดข่วน ประสิทธิภาพของกระจกสะท้อนแสงจะด้อยลงได้ เมื่อต้องการทำความสะอาดกระจกด้านที่มีการเคลือบสาร ให้ใช้น้ำธรรมดาหรือน้ำยาทำความสะอาดที่มีสภาพเป็นกลางเท่านั้น, ห้ามขัดด้วยเครื่องมือ ของแข็ง หรือทำความสะอาดด้วยน้ำยาที่มีผงขัดผสมอยู่เป็นอันตราย มิฉะนั้นแล้วสารที่เคลือบไว้อาจเสียหายได้ ควรระวังอย่าให้น้ำยาทำความสะอาดผนังปูน กระเบื้องหรือหิน กระเด็นไปติดอยู่บนผิวกระจกเพราะอาจทำให้สารที่เคลือบเสียหาย ควรระวังอย่าให้ประกายไฟ กระเด็นไปเกาะติดอยู่บนผิวกระจกเพราะอาจทำให้สารที่เคลือบเสียหาย กระจกสะท้อนแสง มีคุณสมบัติการดูดกลืนความร้อนสูง ตามชนิดและความหนาของกระจกสะท้อนแสงนั้นๆ การแตกร้าว เนื่องจากความร้อนสะสมอาจเกิดขึ้นได้, กระจกสะท้อนแสง มีประสิทธิภาพการสะท้อนกลับของแสงสูง เมื่อติดตั้ง

กระจกสะท้อนแสงกับพื้นที่ลาดเอียง เช่น กระจกแนวเอียง กระจกช่องแสงที่ติดตั้งในแนวเอียง ช่องกระจกสำหรับรับแสง (Skylight) เมื่อมีแสงตกกระทบกระจกสะท้อนแสง แสงที่สะท้อนกลับอาจจะมีผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัยในอาคารข้างเคียง หรือผู้ขับขี่ยานพาหนะได้ จึงต้องได้รับการออกแบบและติดตั้งให้เหมาะสม

ตารางที่ 3.10: รายละเอียดผลิตภัณฑ์กระจก Solar TAG Plus (โซลาร์แทค พลัส) จากบริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

Glass Type	Thickness mm.	Light Properties			Energy Properties			U-Value (Watt/M ² .K)	SC	SHGC
		LT (%)	LR Out (%)	LR In (%)	ET (%)	ER (%)	EA (%)			
SolarTAG PLUS CS120	6	22	25	29	18	20	62	4.25	0.40	0.35
SolarTAG PLUS CS130	6	33	19	26	30	14	56	4.65	0.53	0.46
SolarTAG PLUS CS140	6	37	19	23	35	14	51	5.03	0.58	0.50
SolarTAG PLUS CS148	6	50	17	17	45	12	44	5.08	0.67	0.58
SolarTAG PLUS CS150	6	51	16	21	49	12	39	5.18	0.70	0.61
SolarTAG PLUS PS135	6	36	24	15	30	17	53	4.62	0.51	0.45
SolarTAG PLUS PS155	6	57	16	15	52	11	37	5.09	0.72	0.63
SolarTAG PLUS CS214	6	13	23	34	8	13	78	3.99	0.32	0.28
SolarTAG PLUS CS514	6	10	17	36	7	12	81	3.93	0.32	0.28

หมายเหตุ

- ข้อมูลและตัวเลขที่ปรากฏในตารางข้างต้น ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน NFRC ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ก่อนการวางรายละเอียด ข้อกำหนดสินค้า ควรได้รับการตรวจสอบจากกระจกตัวอย่างจริง
- SHGC (SOLAR HEAT GAIN COEFFICIENT) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ใช้ในการอ่านค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในอาคารได้
- กระจกที่มีค่าการสะท้อนของแสงมากกว่า 30% ไม่สามารถใช้ประกอบเป็นกระจกกรอบอาคารได้ หากต้องการใช้กระจกโซลาร์เทคพลัส ความหนา 4 มม. สก๊อตเงาผ่านตัวแทนจำหน่ายของกระจก AGC
- กระจกโซลาร์เทค พลัส CS514 มีความหนา 6 มม. ขนาด 126 X 84 นิ้ว เท่านั้น
- โปรดตรวจสอบรายละเอียดก่อนวางข้อกำหนดสินค้า บริษัทฯ สงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลง ข้อมูลโดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

ที่มา: กระจกโซลาร์เทค พลัส. (2565). *Solar TAG Plus*. สืบค้นจาก <https://www.agc-flatglass.co.th/solar>.

ภาพที่ 3.42 : ตัวอย่างกระจก Solar TAG Plus (โซลาร์แทค พลัส) จากบริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)



ที่มา: กระจกโซลาร์แทค พลัส. (2565). *Solar TAG Plus*. สืบค้นจาก <https://www.agc-flatglass.co.th/solar>.

2) กระจก Stopray (กระจกโลว-อี, สติอปเรย์ สมาร์ท) เป็นกระจกสะท้อนแสงคุณภาพดี ผลิตด้วยกระบวนการเคลือบชั้นโลหะด้วยระบบ Sputtering Single Low-E ที่ทันสมัยล่าสุด ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาสู่อาคารได้มาก ในขณะที่ความร้อนผ่านเข้ามาได้น้อย ทำให้สามารถช่วยลดความร้อนและช่วยในเรื่องการประหยัดพลังงานได้ กระจกชนิดนี้มีค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ (VT) และค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ (SHGC) หลายระดับตามความต้องการของผู้ใช้ ชนิดของกระจก Stopray ได้แก่ กระจกสติอปเรย์ สมาร์ท (Stopray Smart) กระจกสติอปเรย์ วิชั่น (Stopray Vision) และกระจกสติอปเรย์ เอช (Stopray Ace) เป็นต้น

กระจกสติอปเรย์ สมาร์ท (Stopray Smart) เป็นกระจกซิงกิลซิลเวอร์ โลว-อี คุณภาพสูงที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี ในขณะที่ยอมให้ความร้อนผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคารน้อย สามารถนำไปแปรรูปเป็นกระจกฉนวนความร้อนได้โดยไม่ต้องทำ Edge Deletion

กระจกสท็อปเปรย์ วิชั่น (Stopray Vision) เป็นกระจกดับเบิลซิลเวอร์ โลว-อี คุณภาพสูง ที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี ในขณะที่ยอมให้ความร้อนผ่านกระจกเข้าภายในอาคารน้อย ทำให้สามารถลดความร้อนและช่วยในเรื่องการประหยัดพลังงาน อีกทั้งตัวกระจกยังมีค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (LSG) ที่ดีอีกด้วย

กระจกสท็อปเปรย์ เอช (Stopray Ace) เป็นกระจกดับเบิลซิลเวอร์ โลว-อี คุณภาพสูง ที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านกระจกเข้าสู่อาคารได้ดี ในขณะที่ยอมให้ความร้อนผ่านกระจกเข้าอาคารน้อย ให้ความรู้สึกของสีที่เป็นกลางและให้ค่าการสะท้อนแสงที่ต่ำ

การใช้งาน : ใช้กับอาคารสูง อาคารสำนักงาน อาคารพักอาศัยขนาดใหญ่และอาคารพาณิชย์ทั่วไป เช่น สำนักงาน คอนโดมิเนียม ศูนย์แสดงสินค้า และโรงแรม, ใช้กับอาคาร สถานบริการของชุมชน เช่น ห้องสมุด พิพิธภัณฑ์ ศูนย์วัฒนธรรม สถานศึกษา โรงเรียน โรงละคร โรงภาพยนตร์, ใช้กับอาคารสถานที่ต่าง ๆ ที่ต้องการการประหยัดพลังงาน ลดความสว่างจ้าและลดความร้อนจากรังสีอาทิตย์

ข้อควรระวัง : ควรทำความสะอาดกระจกซิงเกิลซิลเวอร์และกระจกดับเบิลซิลเวอร์ โลว-อี ด้วยน้ำสะอาดธรรมดา ถ้าผิวกระจกสกปรกมากให้ทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดกระจกอย่างอ่อน แล้วจึงทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดธรรมดาอีกครั้ง, กระจกซิงเกิลซิลเวอร์และกระจกดับเบิลซิลเวอร์ โลว-อี ชนิดที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนความร้อนสูง (ขึ้นอยู่กับชนิดและรุ่นของกระจกซิลเวอร์ โลว-อี นั้น ๆ การแตกร้าวเนื่องจากความร้อนอาจเกิดขึ้นได้ จึงแนะนำให้แปรรูปกระจกซิลเวอร์ โลว-อี เป็นกระจกเทมเปอร์ก่อนนำไปใช้งานต่อไป, กระจกซิงเกิลซิลเวอร์และกระจกดับเบิลซิลเวอร์ โลว-อี ชนิดที่มีประสิทธิภาพการสะท้อนกลับของแสงจากรังสีอาทิตย์สูง เมื่อติดตั้งกระจกซิลเวอร์ โลว-อี ดังกล่าวกับพื้นที่ที่ลาดเอียง เช่น กระจกแนวเอียง กระจกช่องแสงที่ติดตั้งในแนวเอียง ช่องกระจกสำหรับรับแสง (Skylight) เป็นต้น เมื่อมีแสงมากระทบ แสงที่สะท้อนกลับอาจจะมีผลกระทบต่อนักอยู่อาศัยในอาคารข้างเคียง หรือผู้ขับขี่ยานพาหนะได้ จึงต้องได้รับการออกแบบและติดตั้งที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.11: รายละเอียดผลิตภัณฑ์กระจก Stopray (สต็อป เรย์) จากบริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

ข้อมูลประสิทธิภาพ

Glass type	Colour	Light Performances			Energy Performances			U-Value Watt/m ² K	SC	SHGC	Selectivity (LT/SHGC)	Temperable
		LR out(%)	LR in(%)	LT (%)	ER (%)	ET (%)	EA (%)					
Double Glazing 6-12-6, (with 100% air), Coating position #2												
Stopray Vision 60T	Neutral	15	20	59	29	32	39	1.6	0.43	0.37	1.59	Yes (1)
Stopray Vision 60	Neutral	15	18	60	31	30	38	1.6	0.40	0.35	1.71	No
Stopray Vision 50T	Neutral	17	21	49	33	26	41	1.6	0.35	0.30	1.63	Yes (1)
Stopray Vision 50	Neutral	19	22	49	33	24	43	1.6	0.33	0.29	1.69	No
Stopray Ace 42T	Neutral Greyish	16	13	41	32	21	48	1.6	0.29	0.25	1.64	Yes (1)
Stopray Smart 51/33	Neutral	25	17	50	32	28	40	1.6	0.38	0.33	1.52	Yes (2)
Stopray Smart 30/20	Neutral Blusih	28	15	29	31	16	53	1.6	0.25	0.21	1.38	Yes (2)
Stopray Smart 32T	Greyish	19	16	33	19	20	61	1.8	0.31	0.27	1.22	Yes (1)

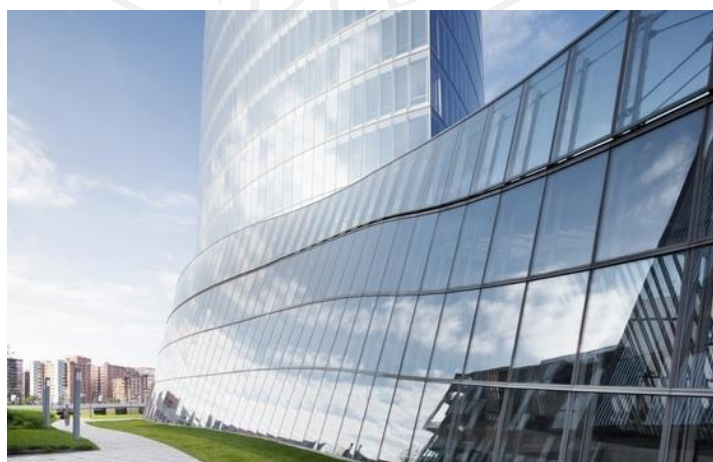
หมายเหตุ :

- กระจกซิลเวอร์ โลว์-อี ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเทมเปอร์จะได้ข้อมูลและตัวเลขตามที่ปรากฏในตารางข้างต้น
- กระจกซิงเกิลซิลเวอร์ โลว์-อี, Stopray Smart สามารถใช้ได้ทั้งแบบที่ต้องทำเทมเปอร์และแบบที่ไม่ต้องทำเทมเปอร์ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน และค่าพลังงานความร้อนที่กระจกนั้นๆดูดกลืนไว้ (EA) สำหรับกระจกซิงเกิลซิลเวอร์ โลว์-อี Stopray Smart 30/20 และ Stopray Smart 32T บริษัทฯแนะนำให้แปรรูปเป็นกระจกเทมเปอร์ก่อนนำไปใช้งานเสมอ
- ข้อมูลและตัวเลขที่ปรากฏในตารางข้างต้น ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน ISO 9050
- Shading Coefficient (SC) คืออัตราส่วนระหว่าง Solar Heat Gain ของกระจกที่ต้องการคำนวณ กับ Solar Heat Gain ของกระจกใสความหนา 3 มม. ภายใต้สภาวะการฉายอย่างเดียวกัน
- ข้อมูล ตัวเลขและค่าต่างๆที่ปรากฏในตารางข้างต้นนี้ เกิดจากการคำนวณในช่วงเวลานั้นๆ ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ ก่อนการวางรายละเอียด ข้อกำหนดสินค้า ควรจะได้ตรวจสอบจากกระจกตัวอย่างจริงและบริษัทฯ ก่อน

บริษัทฯสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลง ข้อมูล ตัวเลขและค่าต่างๆที่ปรากฏในตารางข้างต้นโดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

ที่มา: กระจกโลว์-อี. (2565). กระจกโลว์-อี, สต็อปเรย์. สืบค้นจาก <https://www.agc-flatglass.co.th/product-detail/16>.

ภาพที่ 3.43: ตัวอย่างกระจก Stopray (สต็อป เรย์) จากบริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)



ที่มา: กระจกโลว์-อี. (2565). กระจกโลว์-อี, สต็อปเรย์. สืบค้นจาก <https://www.agc-flatglass.co.th/product-detail/16>.

2. ราคาค่าแรงในการติดตั้งและรื้อถอนกระจก

ตารางที่ 3.12: แสดงข้อมูลราคาวัสดุกระจก และราคาค่าแรงของการติดตั้ง-รื้อถอนกระจก

ชนิดกระจก	ราคากระจก (บาท)/ตร.ฟ.	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	ค่าติดตั้ง-รื้อถอน (บาท/ตร.ม.)
กระจกชนิดที่ 1	195	2,096.77	365.00
กระจกชนิดที่ 2	405	4,354.84	725.00
กระจกชนิดที่ 3	315	3,387.10	510.00
กระจกชนิดที่ 4	445	4,784.95	725.00
กระจกชนิดที่ 5	650	6,989.25	725.00

หมายเหตุ: ข้อมูลค่าติดตั้งและค่ารื้อถอนกระจกจากบริษัท กิมหยูเสื่งค์ค้ากระจก จำกัด
(ข้อมูลเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2565)

3. การคำนวณค่าไฟฟ้าของอาคาร

ในการพิจารณาค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

- (1) ค่าไฟฟ้าฐาน คำนวณจาก (จำนวนพลังงานไฟฟ้า $\times$ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า) + ค่าบริการ
= ค่าไฟฟ้าฐาน
- (2) ค่าไฟฟ้าผันแปร (F_t) คำนวณจาก จำนวนพลังงานไฟฟ้า $\times$ ค่า F_t = ค่าไฟฟ้าผันแปร
- (3) ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% คำนวณจาก (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร) $\times$ 7/100 =
ภาษีมูลค่าเพิ่ม

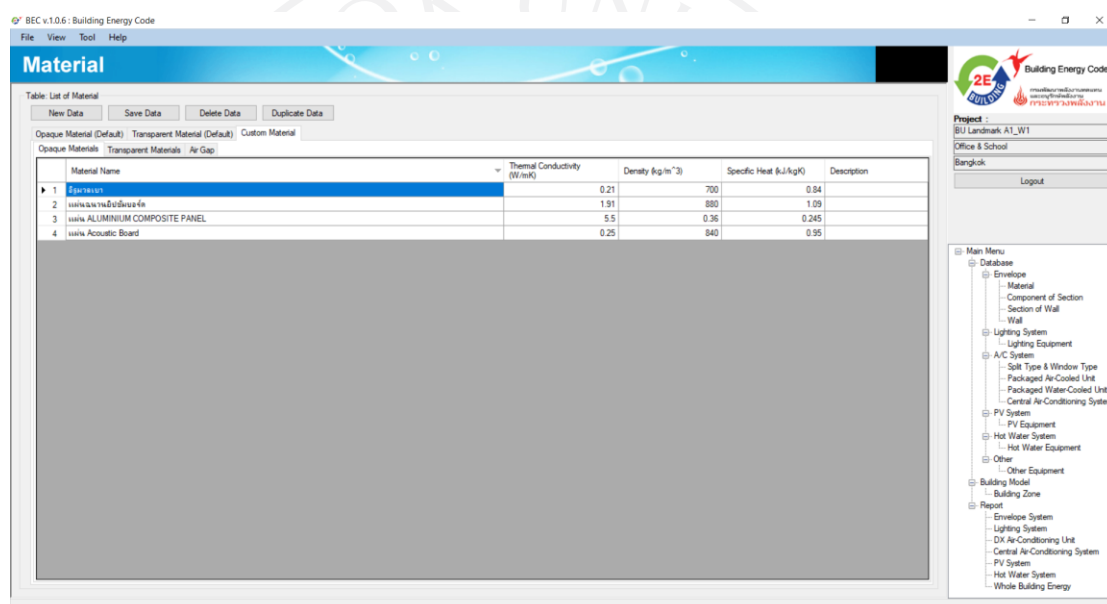
$$\text{ค่าไฟฟ้ารวม} = \text{ค่าไฟฟ้าฐาน} + \text{ค่าไฟฟ้าผันแปร} + \text{ภาษีมูลค่าเพิ่ม}$$

4. การประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน คำนวณโดยนำราคาในการปรับปรุงรวมทั้งหมด ในส่วนที่เป็นผนังโปร่งแสง มาหารด้วยค่าไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนกระจกในแต่ละกรณี

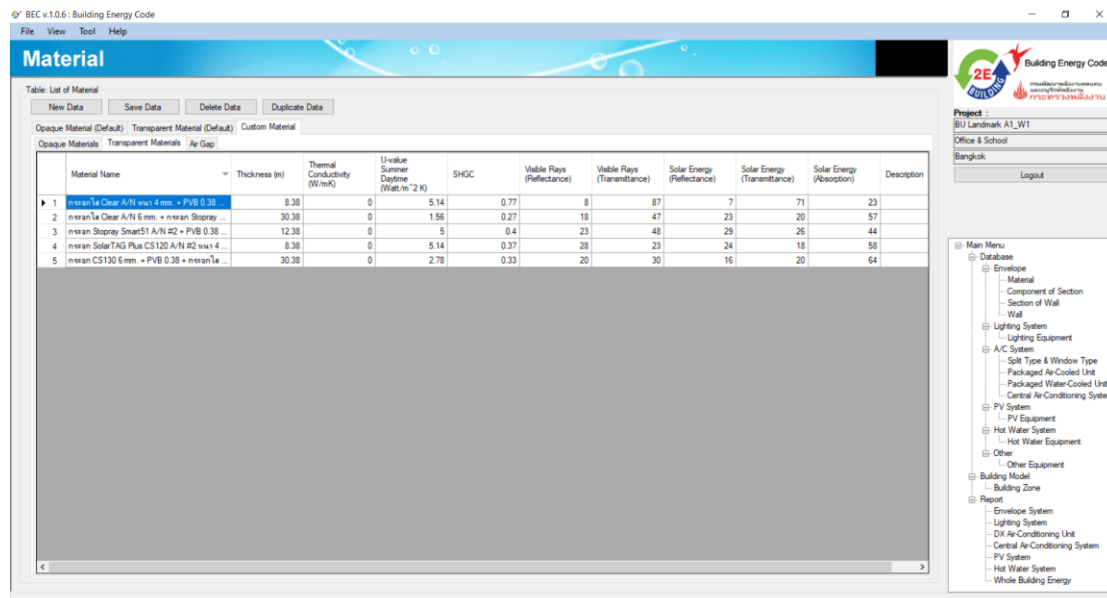
3.3.3 ประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนปรับปรุง เปรียบเทียบเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 ในส่วนของการใช้พลังงานรวมของอาคาร และการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

หลังจากที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูล รายละเอียดที่สำคัญจากอาคารกรณีศึกษา และเลือกกระจก ที่นำมาทดลองแล้ว ผู้วิจัยจะนำค่าคุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารและค่าคุณสมบัติของกระจกแต่ละ ชนิดมากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงาน เพื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (OTTV) รวมถึงค่าการใช้พลังงานรวมของ อาคารของกระจกแต่ละชนิดต่อไป โดยในการกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมดังกล่าว มีการรายละเอียด โดยสรุปดังนี้

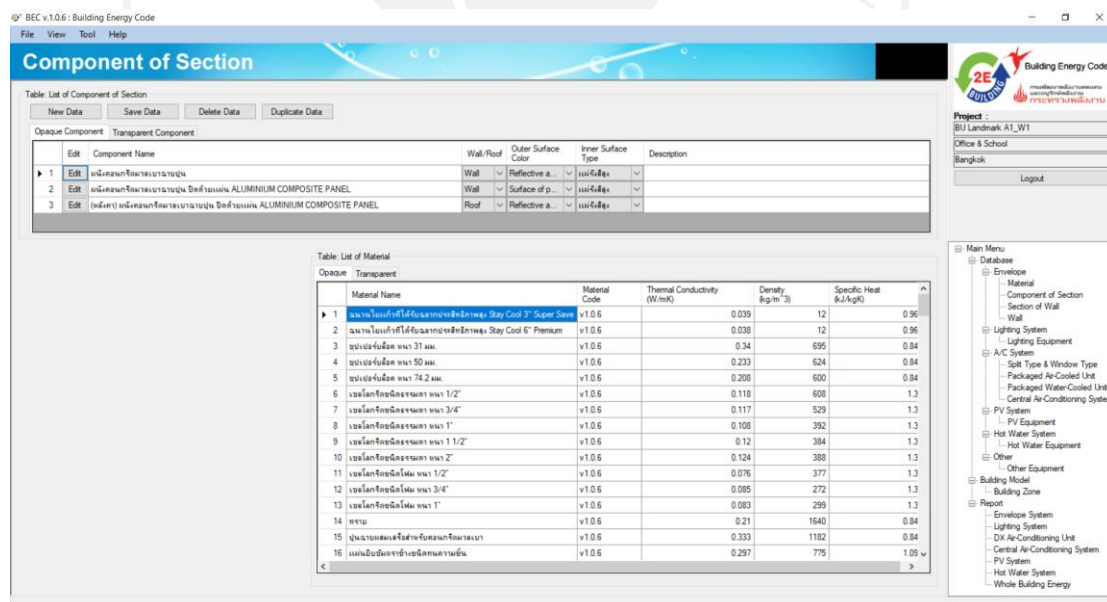
ภาพที่ 3.44: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Material : Opaque Materials



ภาพที่ 3.45: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Material : Transparent Materials



ภาพที่ 3.46: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Component of Section : Opaque Component



ภาพที่ 3.47: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Component of Section : Transparent Component

9/ BEC v.1.0.6 : Building Energy Code

File View Tool Help

Component of Section

Table: List of Component of Section

New Data Save Data Delete Data Duplicate Data

Component Name	Wall/Roof	SHGC	Transmittance	Description
1. กระจกใส Clear A...	Wall	✓	0.77	0.82
2. กระจก Solar TAG...	Wall	✓	0.37	23
3. กระจก CS130 F...	Wall	✓	0.33	30
4. กระจก Stopey S...	Wall	✓	0.4	48
5. กระจกใส Clear A...	Wall	✓	0.27	47

Table: List of Material

Material Name	Material Code	Transparent Thickness	Transparent U-value	Tran SHC
1. Arctic Snow 3 mm (3-0.38-0.38-3)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.00638	5.68	
2. Arctic Snow 4 mm (4-0.38-0.38-4)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.00838	5.62	
3. Arctic Snow 5 mm (5-0.38-0.38-5)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.01076	5.56	
4. Arctic Snow 6 mm (6-0.38-0.38-6)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.01276	5.5	
5. Arctic Snow 8 mm (8-0.38-0.38-8)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.01676	5.32	
6. Blue Green 3 mm (3-0.38-0.38-3)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.00638	5.68	
7. Blue Green 4 mm (4-0.38-0.38-4)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.00838	5.62	
8. Blue Green 5 mm (5-0.38-0.38-5)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.01076	5.56	
9. Blue Green 6 mm (6-0.38-0.38-6)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.01276	5.5	
10. Blue Green 8 mm (8-0.38-0.38-8)	Laminated Glass (Clear and Tinted Float Glass with Color Film)	0.01676	5.32	
11. Clear 3 mm (3-0.38-3)	Laminated Glass (Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass)	0.00638	5.68	
12. Clear 4 mm (4-0.38-4)	Laminated Glass (Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass)	0.00838	5.62	
13. Clear 4 mm (4-12-4)	Insulating Glass (Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass)	0.02	3.14	
14. Clear 4 mm (4-6-4)	Insulating Glass (Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass)	0.014	3.52	
15. Clear 5 mm (5-0.76-5)	Laminated Glass (Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass)	0.01076	5.5	
16. Clear 5 mm (5-12-5)	Insulating Glass (Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass)	0.022	3.12	

Project: BU Landmark A1_W1
Office & School
Bangkok
Logout

Main Menu
Database
Envelope
Material
Component of Section
Section of Wall
Wall
Lighting System
Lighting Equipment
A/C System
Split Type & Window Type
Packaged Air-Cooled Unit
Packaged Water-Cooled Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
PV Equipment
Hot Water System
Hot Water Equipment
Other
Other Equipment
Building Model
Building Zone
Report
Envelope System
Lighting System
DX Air-Conditioning Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
Hot Water System
Whole Building Energy

ภาพที่ 3.48: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Section of Wall

9/ BEC v.1.0.6 : Building Energy Code

File View Tool Help

Section of Wall

Table: List of Section

New Data Save Data Delete Data Duplicate Data

Section Name	Wall/Roof	Description
1. 1Z-01A-S	Wall	insula F
2. 1Z-01B-S	Wall	insula E
3. 1Z-01A-G	Wall	insula F
4. 1Z-01B-G	Wall	insula E
5. 1Z-01C-S	Wall	insula D
6. 1Z-01C-G	Wall	insula D
7. 1Z-01D-G	Wall	insula C
8. 1Z-02A-G	Wall	insula A

Table: Section Details

Section Name: 1Z-01A-S

New Data Save Data Delete Data Duplicate Data

Component_name	Area (m ²)
1. ผนังภายนอกอาคาร	36.95

Project: BU Landmark A1_W1
Office & School
Bangkok
Logout

Main Menu
Database
Envelope
Material
Component of Section
Section of Wall
Wall
Lighting System
Lighting Equipment
A/C System
Split Type & Window Type
Packaged Air-Cooled Unit
Packaged Water-Cooled Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
PV Equipment
Hot Water System
Hot Water Equipment
Other
Other Equipment
Building Model
Building Zone
Report
Envelope System
Lighting System
DX Air-Conditioning Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
Hot Water System
Whole Building Energy

ภาพที่ 3.49: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Wall

Wall

Table: List of Wall

Edit	Wall Name	Wall/Roof	Plane Azimuth	Inclination	Description
1	1Z-01A	Wall	135	30	
2	1Z-01B	Wall	225	29	
3	1Z-01C	Wall	315	52	
4	1Z-01D	Wall	315	22	
5	1Z-02A	Wall	315	22	
6	1Z-02B	Wall	315	59	
7	1Z-02C	Wall	315	59	
8	1Z-02D	Wall	315	77	

* Azimuth Angle: 0 = South, 90 = West, 180 = North, 270 = East

Table: Wall Details

Wall Name: 1Z-01A

Section	Shading Coefficient	Calculate
1	1Z-01A-S	1 Calculate SC
2	1Z-01A-G	1 Calculate SC

Project:
BU Landmark A1_W1
Office & School
Bangkok
Logout

Main Menu:
Database
Envelope
Material
Component of Section
Section of Wall
Wall
Lighting System
Lighting Equipment
A/C System
Split Type & Window Type
Packaged Air-Cooled Unit
Packaged Water-Cooled Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
PV Equipment
Hot Water System
Hot Water Equipment
Other
Other Equipment
Building Model
Building Zone
Report
Envelope System
Lighting System
DX Air-Conditioning Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
Hot Water System
Whole Building Energy

ภาพที่ 3.50: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Light Equipment

Lighting Equipment

Table: List of Lighting System

Luminaire Code	Electric Power Required (Watt)	Description
1	84	โคมไฟแอลอีดีแบบฝังผนัง ขนาด 36 นิ้ว ยาว 60 ซม. (24 & 3) ขนาดยาวตามทางเดิน
2	34	Acrylic Diffuser จำนวน 1 และ ขนาด 28 นิ้ว ใช้กับโคมไฟ Low loss 6 นิ้ว
3	34	Completed with Reflector จำนวน 1 และ ขนาด 28 นิ้ว ใช้กับโคมไฟ Low loss 6 นิ้ว
4	34	Basic Type จำนวน 1 และ ขนาด 28 นิ้ว ใช้กับโคมไฟ Low loss 6 นิ้ว
5	35	Downlight Compact Lamp จำนวน 1 และ ขนาด 35 นิ้ว
6	70	Downlight Compact Lamp จำนวน 1 และ ขนาด 70 นิ้ว
7	84	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 และ ขนาด 42 นิ้ว
8	35	Adjustable Downlight จำนวน 1 และ ขนาด 35 นิ้ว
9	50	Downlight Adjustablehalogen จำนวน 1 และ ขนาด 50 นิ้ว
10	50	Downlight Fix Halogen จำนวน 1 และ ขนาด 50 นิ้ว

Project:
BU Landmark A1_W1
Office & School
Bangkok
Logout

Main Menu:
Database
Envelope
Material
Component of Section
Section of Wall
Wall
Lighting System
Lighting Equipment
A/C System
Split Type & Window Type
Packaged Air-Cooled Unit
Packaged Water-Cooled Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
PV Equipment
Hot Water System
Hot Water Equipment
Other
Other Equipment
Building Model
Building Zone
Report
Envelope System
Lighting System
DX Air-Conditioning Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
Hot Water System
Whole Building Energy

ภาพที่ 3.51: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Split Type & Window Type

Split Type & Window Type

Table: List of Split Type and Window Type

Code	Cooling Capacity	Unit	Rated Power (kW)	Description
Split_01	40000	kWh	14	เครื่องปรับอากาศชนิด TRANE
Split_02	18000	kWh	5.2	เครื่องปรับอากาศชนิด TRANE
Split_03	12000	kWh	3.52	เครื่องปรับอากาศชนิด TRANE

Project: BU Landmark A1_W1
Office & School
Bangkok
Logout

Main Menu: Database, Envelope, Material, Component of Section, Section of Wall, Wall, Lighting System, Lighting Equipment, A/C System, Split Type & Window Type, Packaged Air-Cooled Unit, Packaged Water-Cooled Unit, Central Air-Conditioning System, PV System, PV Equipment, Hot Water System, Hot Water Equipment, Other, Other Equipment, Building Model, Building Zone, Report, Envelope System, Lighting System, DX Air-Conditioning Unit, Central Air-Conditioning System, PV System, Hot Water System, Whole Building Energy

ภาพที่ 3.52: แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของ Building Zone

Building Zone

Table: List of Building Zone

Edit	Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m²)	Description
1 Edit	Roof	1	2043.226	
2 Edit	12-01	1	140	
3 Edit	12-02	1	164	
4 Edit	12-03	1	23	
5 Edit	22-01	2	192	
6 Edit	22-02	2	85	
7 Edit	22-03	2	49	
8 Edit	32-01	3	184	

Table: Components in Building Zone

Zone Name: 12-01

Wail Name	Section Name	Area (m²)
12-01A	12-01A-G	36.95
12-01A	12-01A-G	3.85
12-01B	12-01B-G	90.45
12-01B	12-01B-G	63.83
12-01C	12-01C-G	39.66
12-01C	12-01C-G	51.3
12-01D	12-01D-G	25.86

Project: BU Landmark A1_W1
Office & School
Bangkok
Logout

Main Menu: Database, Envelope, Material, Component of Section, Section of Wall, Wall, Lighting System, Lighting Equipment, A/C System, Split Type & Window Type, Packaged Air-Cooled Unit, Packaged Water-Cooled Unit, Central Air-Conditioning System, PV System, PV Equipment, Hot Water System, Hot Water Equipment, Other, Other Equipment, Building Model, Building Zone, Report, Envelope System, Lighting System, DX Air-Conditioning Unit, Central Air-Conditioning System, PV System, Hot Water System, Whole Building Energy

3.3.4 เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร หลังปรับปรุงผนังกระจกในแต่ละแนวทาง

หลังจากทราบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (OTTV) และค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารของกระจกแต่ละชนิดที่ประเมินได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 แล้ว ในลำดับถัดไป จะทำการเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของกระจกแต่ละชนิดเมื่อนำมาใช้กับอาคารกรณีศึกษา และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารหลังมีการปรับปรุงผนังกระจกในแต่ละแนวทาง

3.3.5 นำแนวทางการปรับปรุงผนังกระจก มาศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุน เพื่อให้ได้แนวทางที่เหมาะสม

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนจากใช้กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงและประหยัดพลังงาน จะใช้ข้อมูลการประมาณการรายได้และค่าใช้จ่าย โดยในส่วนของรายได้ จะพิจารณาจากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่ลดลง นำไปคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เนื่องจากการเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกอนุรักษ์พลังงานในทางเลือกแบบต่าง ๆ ทั้งนี้ จะใช้อัตราค่าไฟต่อหน่วยตามจริงในปัจจุบันของอาคารสถานศึกษา โดยจะแยกคำนวณเป็นกรณีต่าง ๆ และสรุปเป็นผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลหรือแนวทางในการดำเนินการต่อไป

3.3.6 สรุปผลการศึกษา

ในส่วนของการสรุปผลการศึกษา จะทำการรายงานในภาพรวมของผลการประเมินทั้งในรูปแบบเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยนำผลการวิเคราะห์และข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสรุปรวมกัน เพื่อนำเสนอแนวทางการเลือกใช้กระจกที่มีความเหมาะสมและช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารสถานศึกษาได้ในแต่ละกรณี เพื่อเป็นประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยกรุงเทพ และผู้ที่มีความสนใจที่จะปรับปรุงอาคารอื่น ๆ ได้ศึกษาเป็นแนวทางต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในการทำการทดลองเพื่อหาชนิดกระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูง ที่ทำให้อาคารกรณีศึกษา มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (OTTV) ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎกระทรวงบัญญัติไว้ เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 โดยทำการทดลองผ่านโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ซึ่งผลการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร

ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยผู้วิจัย เลือกใช้เครื่องมือ Netatmo ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลอุณหภูมิ, ความชื้น, คาร์บอนไดออกไซด์, เสียง เป็นต้น มีค่าความแม่นยำ (Accuracy) อุณหภูมิ $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (ช่วงอุณหภูมิการวัด -40°C ถึง 65°C) โดยทำการวางอุปกรณ์ภายในพื้นที่อาคาร ใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 30 วัน ตั้งแต่วันที่ 12 มีนาคม 2564 ถึง 12 เมษายน 2564 โดยเลือกวางอุปกรณ์ชั้นที่ 2, 3 และ 4 ตามห้องต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมีอุณหภูมิสูง ชั้นละ 4 ห้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.1: อุปกรณ์ Netatmo ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ภาพอุปกรณ์	รายละเอียด
	อุปกรณ์ Netatmo ที่วางชั้นที่ 2 ได้แก่ 1) 2S-01 ห้อง A1-211 2) 2S-02 ห้อง A1-212 3) 2S-03 ห้อง A1-210 4) 2S-04 ห้อง A1-210

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.1 (ต่อ): อุปกรณ์ Netatmo ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

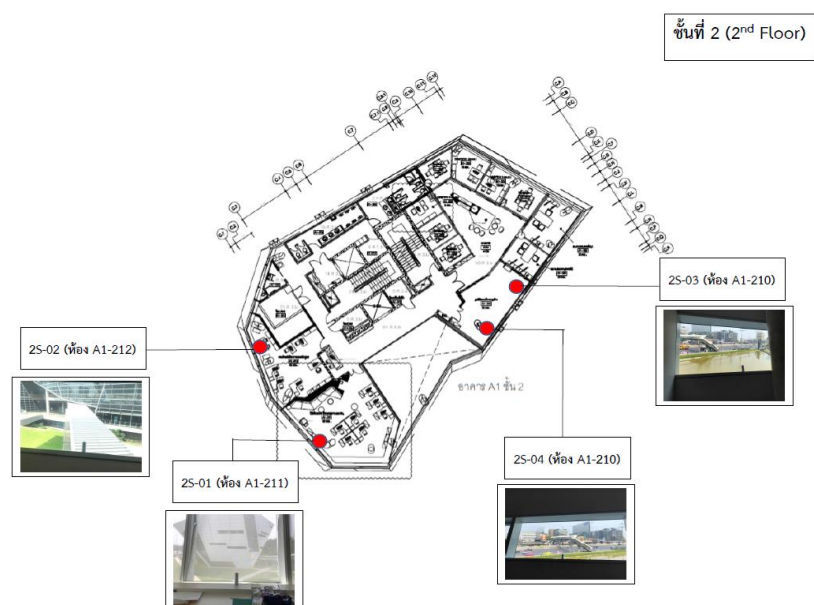
ภาพอุปกรณ์	รายละเอียด
	อุปกรณ์ Netatmo ที่วางชั้นที่ 3 ได้แก่ 1) 3S-01 ห้อง A1-306 2) 3S-02 ห้อง A1-308 3) 3S-03 ห้อง A1-306 4) 3S-04 ห้อง A1-305
	อุปกรณ์ Netatmo ที่วางชั้นที่ 4 ได้แก่ 1) 4S-01 ห้อง A1-403 2) 4S-02 ห้อง A1-405 3) 4S-03 ห้อง A1-403 4) 4S-04 ห้อง A1-403

หมายเหตุ: บางห้องมีการวางอุปกรณ์มากกว่า 1 เครื่อง เนื่องจากวางอุปกรณ์ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

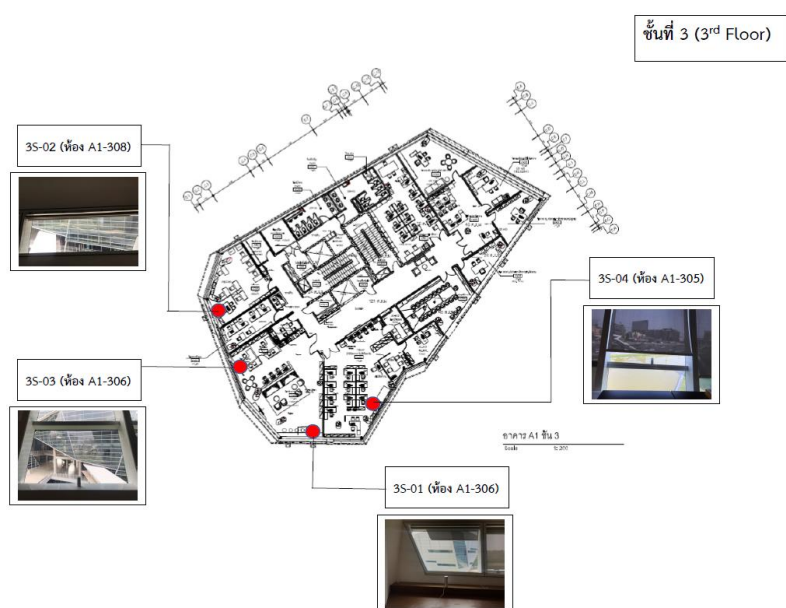
4.2 แผนผังการวางอุปกรณ์

ผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิ Netatmo ไปวางตามห้องต่างๆในแต่ละชั้น ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยคำนึงถึงบริเวณนั่งทำงานและบริเวณใกล้กระจก หรือเปลือกอาคารที่จะส่งผลต่อความร้อนภายในอาคารและสภาวะความน่าสบาย

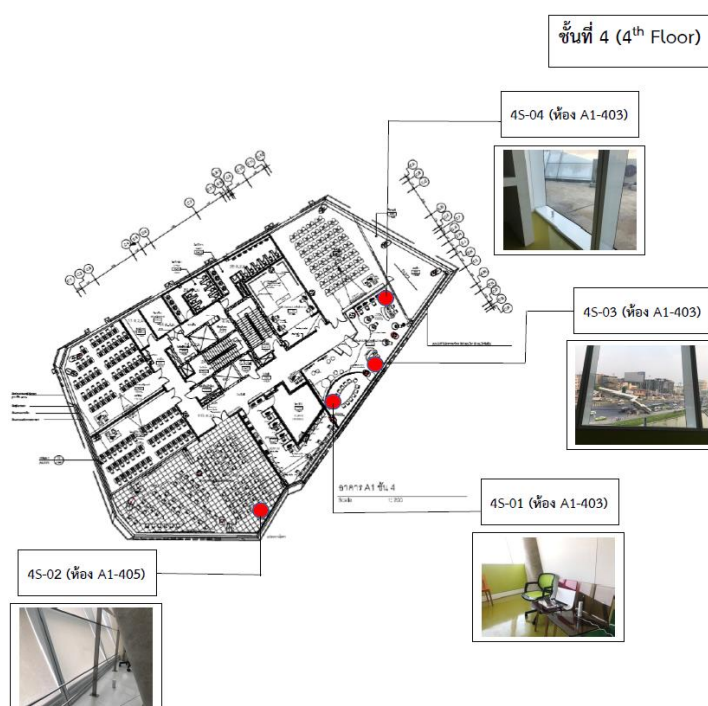
ภาพที่ 4.1: แสดงจุดวางอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิ Netatmo ตามห้องต่าง ๆ ของชั้นที่ 2 อาคาร
สถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



ภาพที่ 4.2: แสดงจุดวางอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิ Netatmo ตามห้องต่าง ๆ ของชั้นที่ 3 อาคาร
สถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



ภาพที่ 4.3: แสดงจุดวางอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิ Netatmo ตามห้องต่าง ๆ ของชั้นที่ 4 อาคาร
สถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



4.3 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จากการใช้เครื่องมือ Netatmo ภายในพื้นที่อาคารได้ โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 30 วัน ตั้งแต่วันที่ 12 มีนาคม 2564 ถึง 12 เมษายน 2564 ซึ่งตัวอุปกรณ์ส่งสัญญาณต่อเนื่อง ผ่านระบบ Wifi และเก็บข้อมูลอุณหภูมิตามช่วงเวลาดังกล่าวทาง Website ซึ่งผู้วิจัยสามารถดาวน์โหลดข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ได้ โดยภายในอาคารมีการวางอุปกรณ์ดังกล่าวจำนวนทั้งหมด 12 เครื่อง แบ่งเป็นชั้นละ 4 เครื่อง ในห้องที่มีผนังเป็นกระจกเป็นส่วนประกอบ และอยู่ในโซนทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ทิศตะวันออก, ทิศตะวันออกเฉียงใต้, ทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยคัดเลือกห้องที่คาดว่าจะมีอุณหภูมิสูงของแต่ละชั้น ซึ่งในแต่ละห้องอาจมีการวางอุปกรณ์มากกว่า 1 เครื่อง แต่วางคนละบริเวณกัน อุณหภูมิที่เก็บได้มีความแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 2 ของอาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64 (ช่วงเวลา 12.00 น.)

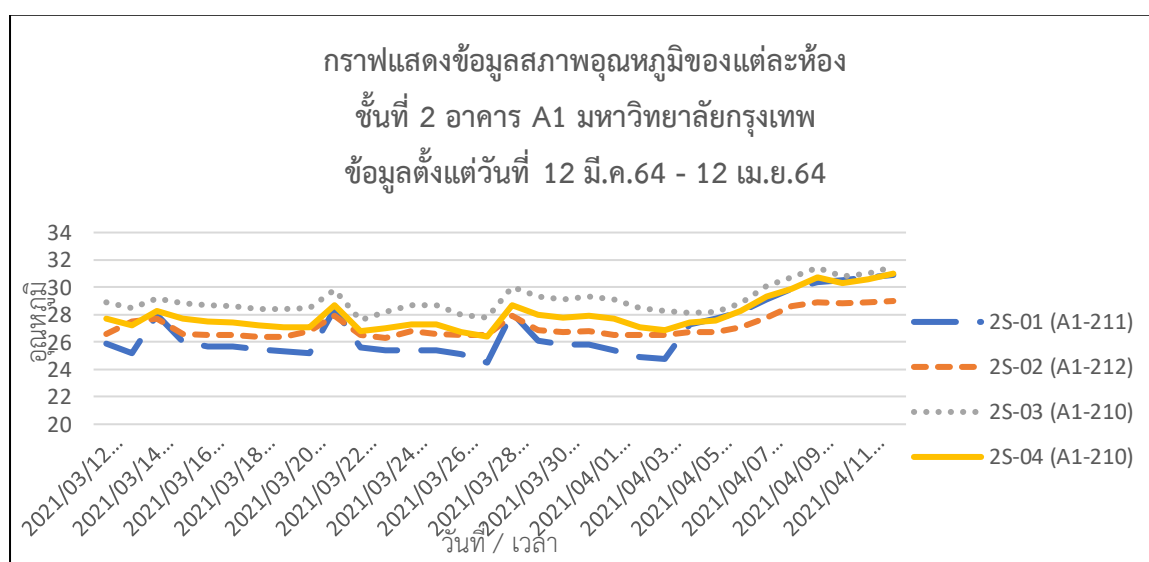
วันที่	2S-01 (A1-211) (°C)	2S-02 (A1-212) (°C)	2S-03 (A1-210) (°C)	2S-04 (A1-210) (°C)
2021/03/12	25.9	26.6	28.9	27.7
2021/03/13	25.2	27.5	28.5	27.2
2021/03/14	28.0	27.7	29.2	28.3
2021/03/15	26.0	26.6	28.8	27.7
2021/03/16	25.7	26.5	28.7	27.5
2021/03/17	25.7	26.5	28.6	27.4
2021/03/18	25.5	26.4	28.4	27.2
2021/03/19	25.3	26.4	28.4	27.1
2021/03/20	25.2	26.8	28.5	27.1
2021/03/21	28.4	27.9	29.8	28.7
2021/03/22	25.6	26.5	27.6	26.8
2021/03/23	25.4	26.3	28.2	27.0
2021/03/24	25.4	26.8	28.7	27.3
2021/03/25	25.4	26.6	28.7	27.3
2021/03/26	25.1	26.5	28.0	26.7
2021/03/27	24.5	26.5	27.8	26.4
2021/03/28	28.1	27.9	30.0	28.7
2021/03/29	26.1	26.9	29.3	28.0
2021/03/30	25.8	26.7	29.1	27.8
2021/03/31	25.8	26.8	29.3	27.9
2021/04/01	25.4	26.5	29.1	27.7

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.2 (ต่อ): แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 2 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64 (ช่วงเวลา 12.00 น.)

วันที่	2S-01 (A1-211) (°C)	2S-02 (A1-212) (°C)	2S-03 (A1-210) (°C)	2S-04 (A1-210) (°C)
2021/04/02	24.9	26.5	28.5	27.1
2021/04/03	24.8	26.5	28.3	26.9
2021/04/04	27.3	26.7	28.1	27.4
2021/04/05	27.7	26.7	28.2	27.6
2021/04/06	28.2	27.1	28.8	28.3
2021/04/07	29.1	27.8	30.1	29.3
2021/04/08	29.9	28.6	30.7	29.9
2021/04/09	30.4	28.9	31.4	30.7
2021/04/10	30.5	28.8	30.8	30.3
2021/04/11	30.7	28.9	31.0	30.6
2021/04/12	30.9	29.0	31.5	31.0
อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	26.8	27.1	29.0	28.0
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	30.9	29.0	31.5	31.0

ภาพที่ 4.4: แผนภูมิแสดงข้อมูลค่าความกว้างของอุณหภูมิตามช่วงเวลาบันทึกค่าการทดลอง
ของแต่ละห้องในชั้นที่ 2 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่
12 มี.ค.64 – 12 เม.ย.64

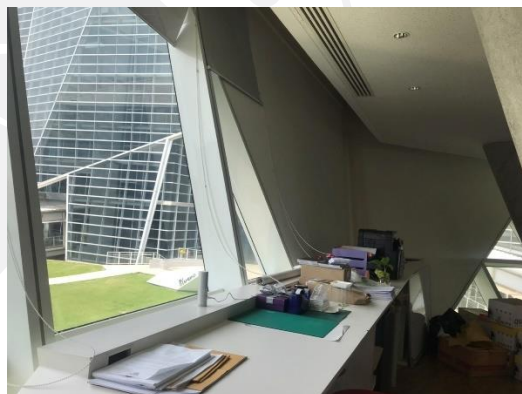
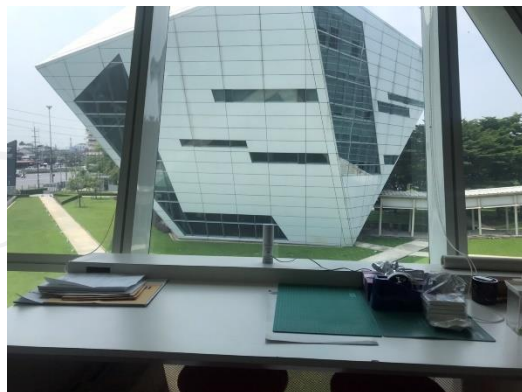


จากการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละจุดของชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยใช้เครื่องมือ Netatmo มีระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 30 วัน นับตั้งแต่วันที่ 12 มีนาคม 2564 ถึง 12 เมษายน 2564 โดยวางอุปกรณ์ดังกล่าวจำนวนทั้งหมด 4 เครื่อง ในแต่ละห้อง ดังต่อไปนี้

- 1) อุปกรณ์ 2S-01 (A1-211) ห้องเรียนเวิร์คอินเทค (85 ตารางเมตร, ทิศใต้)
- 2) อุปกรณ์ 2S-02 (A1-212) ห้องงานตำแหน่งวิชาการและหลักสูตร (49 ตารางเมตร, ทิศตะวันตกเฉียงใต้)
- 3) อุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ (31 ตารางเมตร, ทิศตะวันออกเฉียงใต้)
- 4) อุปกรณ์ 2S-04 (A1-210) ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ (31 ตารางเมตร, ทิศตะวันออกเฉียงใต้)

4.3.1 การวางอุปกรณ์ 2S-01 (A1-211) ห้องเรียนเวิร์คอินเทค

ภาพที่ 4.5: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 2S-01 (A1-211) ณ ห้องเรียนเวิร์คอินเทค อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



4.3.2 การวางอุปกรณ์ 2S-02 (A1-212) ห้องงานตำแหน่งวิชาการและหลักสูตร

ภาพที่ 4.6: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 2S-02 (A1-212) ณ ห้องงานตำแหน่งวิชาการและหลักสูตร อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



4.3.3 การวางอุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ

ภาพที่ 4.7: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ณ ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



4.3.4 การวางอุปกรณ์ 2S-04 (A1-210) ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ

ภาพที่ 4.8: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 2S-04 (A1-210) ณ ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



จากผลการเก็บข้อมูลพบว่าอุปกรณ์ 2S-01 (A1-211) ห้องเรียนเวิร์คอินเทค มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.8 °C, อุปกรณ์ 2S-02 (A1-212) ห้องงานตำแหน่งวิชาการและหลักสูตร มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27.1 °C, อุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29 °C และอุปกรณ์ 2S-04 (A1-210) ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28 °C ซึ่งห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในชั้นที่ 2 ของอาคารคือ ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ อุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 31 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 28 °C

ตารางที่ 4.3: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 3 ของอาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64 (ช่วงเวลา 12.00 น.)

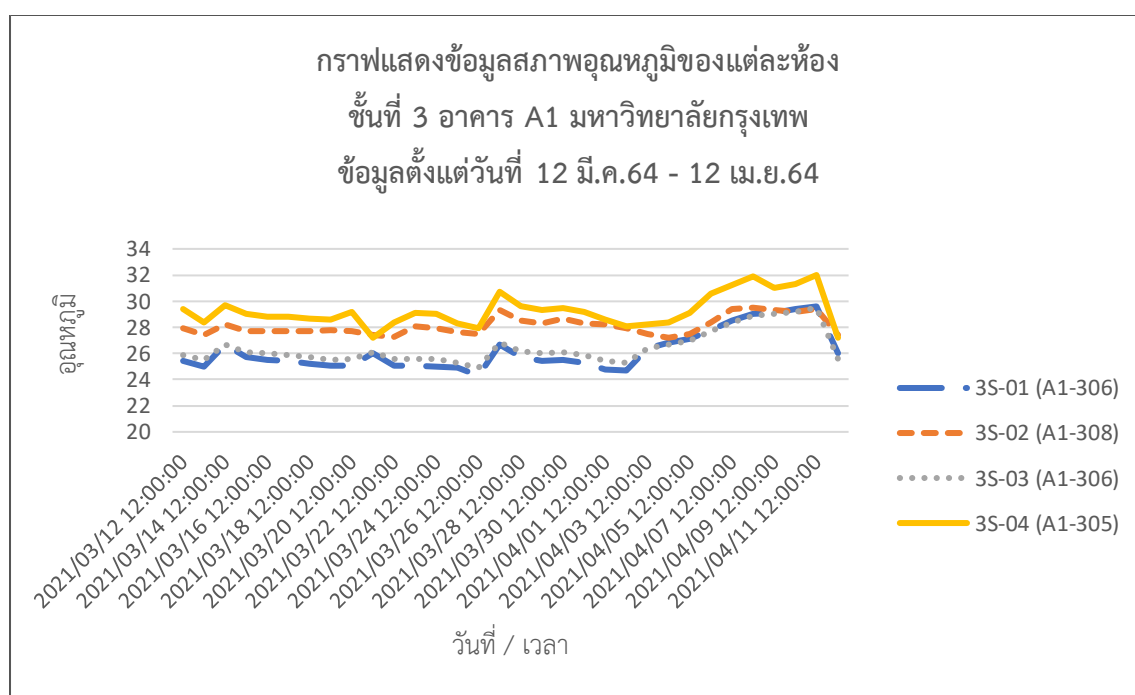
วันที่	3S-01 (A1-306) (°C)	3S-02 (A1-308) (°C)	3S-03 (A1-306) (°C)	3S-04 (A1-305) (°C)
2021/03/12	25.4	27.9	25.9	29.4
2021/03/13	25.0	27.4	25.5	28.4
2021/03/14	26.7	28.2	26.7	29.7
2021/03/15	25.7	27.7	26.1	29.0
2021/03/16	25.5	27.7	26.0	28.8
2021/03/17	25.4	27.7	25.9	28.8
2021/03/18	25.2	27.7	25.7	28.7
2021/03/19	25.1	27.8	25.5	28.6
2021/03/20	25.1	27.7	25.6	29.2
2021/03/21	26.0	27.4	26.1	27.2
2021/03/22	25.1	27.3	25.6	28.4
2021/03/23	25.1	28.1	25.6	29.1
2021/03/24	25.0	27.9	25.6	29.0
2021/03/25	24.9	27.6	25.3	28.3
2021/03/26	24.3	27.5	24.9	27.9
2021/03/27	26.7	29.3	26.8	30.7
2021/03/28	25.7	28.5	26.2	29.6
2021/03/29	25.4	28.3	26.0	29.3
2021/03/30	25.5	28.7	26.1	29.5
2021/03/31	25.3	28.3	25.9	29.2
2021/04/01	24.8	28.2	25.4	28.6

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.3 (ต่อ): แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 3 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64 (ช่วงเวลา 12.00 น.)

วันที่	3S-01 (A1-306) (°C)	3S-02 (A1-308) (°C)	3S-03 (A1-306) (°C)	3S-04 (A1-305) (°C)
2021/04/02	24.7	27.9	25.3	28.1
2021/04/03	26.4	27.5	26.4	28.2
2021/04/04	26.8	27.2	26.7	28.4
2021/04/05	27.1	27.5	27.0	29.1
2021/04/06	27.8	28.4	27.7	30.6
2021/04/07	28.5	29.4	28.4	31.2
2021/04/08	29.0	29.5	28.9	31.9
2021/04/09	29.1	29.3	29.0	31.0
2021/04/10	29.4	29.2	29.2	31.3
2021/04/11	29.6	29.4	29.5	32.0
2021/04/12	26.0	27.4	25.6	27.2
อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	26.1	28.1	26.4	29.2
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	29.6	29.5	29.5	32.0

ภาพที่ 4.9: แผนภูมิแสดงข้อมูลค่าความกว้างของอุณหภูมิตามช่วงเวลาบันทึกค่าการทดลอง
ของแต่ละห้องในชั้นที่ 3 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่
12 มี.ค.64 – 12 เม.ย.64



จากการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละจุดของชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยใช้เครื่องมือ Netatmo มีระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 30 วัน นับตั้งแต่วันที่ 12 มีนาคม 2564 ถึง 12 เมษายน 2564 โดยวางอุปกรณ์ดังกล่าวจำนวนทั้งหมด 4 เครื่อง ในแต่ละห้อง ดังต่อไปนี้

- 1) อุปกรณ์ 3S-01 (A1-306) ห้องพักอาจารย์พิเศษ (120 ตารางเมตร, ทิศตะวันตกเฉียงใต้)
- 2) อุปกรณ์ 3S-02 (A1-308) ห้อง Unit Cost (50 ตารางเมตร, ทิศตะวันตก)
- 3) อุปกรณ์ 3S-03 (A1-306) ห้องพักอาจารย์พิเศษ (120 ตารางเมตร, ทิศตะวันตกเฉียงใต้)
- 4) อุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) ห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย (118 ตารางเมตร, ทิศตะวันออกเฉียงใต้)

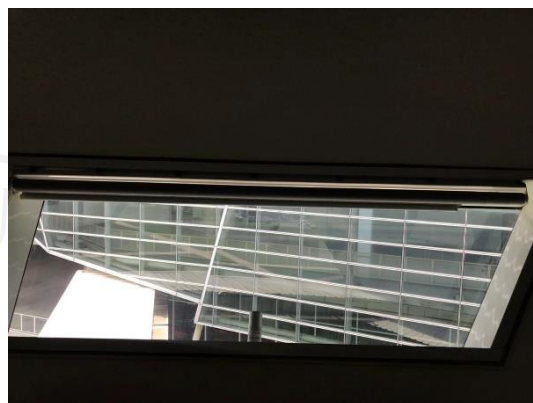
4.3.5 การวางอุปกรณ์ 3S-01 (A1-306) ห้องพักอาจารย์พิเศษ

ภาพที่ 4.10: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 3S-01 (A1-306) ณ ห้องพักอาจารย์พิเศษ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



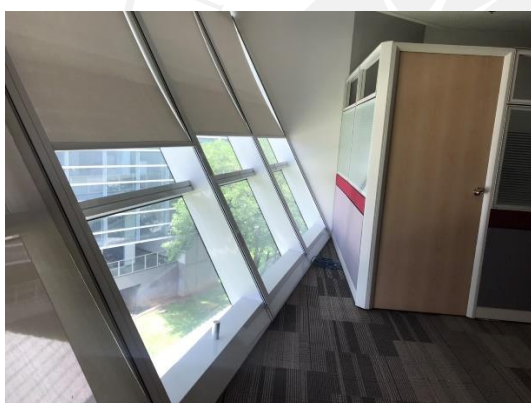
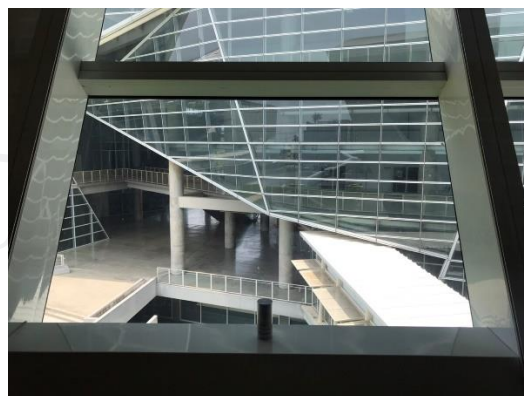
4.3.6 การวางอุปกรณ์ 3S-02 (A1-308) ห้อง Unit Cost

ภาพที่ 4.11: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 3S-02 (A1-308) ณ ห้อง Unit Cost อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



4.3.7 การวางอุปกรณ์ 3S-03 (A1-306) ห้องพักอาจารย์พิเศษ

ภาพที่ 4.12: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 3S-03 (A1-306) ณ ห้อง Unit Cost อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



4.3.8 การวางอุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) ห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย

ภาพที่ 4.13: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) ณ ห้อง
สำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



จากผลการเก็บข้อมูลพบว่าอุปกรณ์ 3S-01 (A1-306) ห้องพักอาจารย์พิเศษ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.1 °C, อุปกรณ์ 3S-02 (A1-308) ห้อง Unit Cost มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.1 °C, อุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ 3S-03 (A1-306) ห้องพักอาจารย์พิเศษ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.4 °C และอุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) ห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.2 °C ซึ่งห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในชั้นที่ 3 ของอาคารคือ ห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย อุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 32 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.2 °C

ตารางที่ 4.4: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 4 ของอาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64 (ช่วงเวลา 12.00 น.)

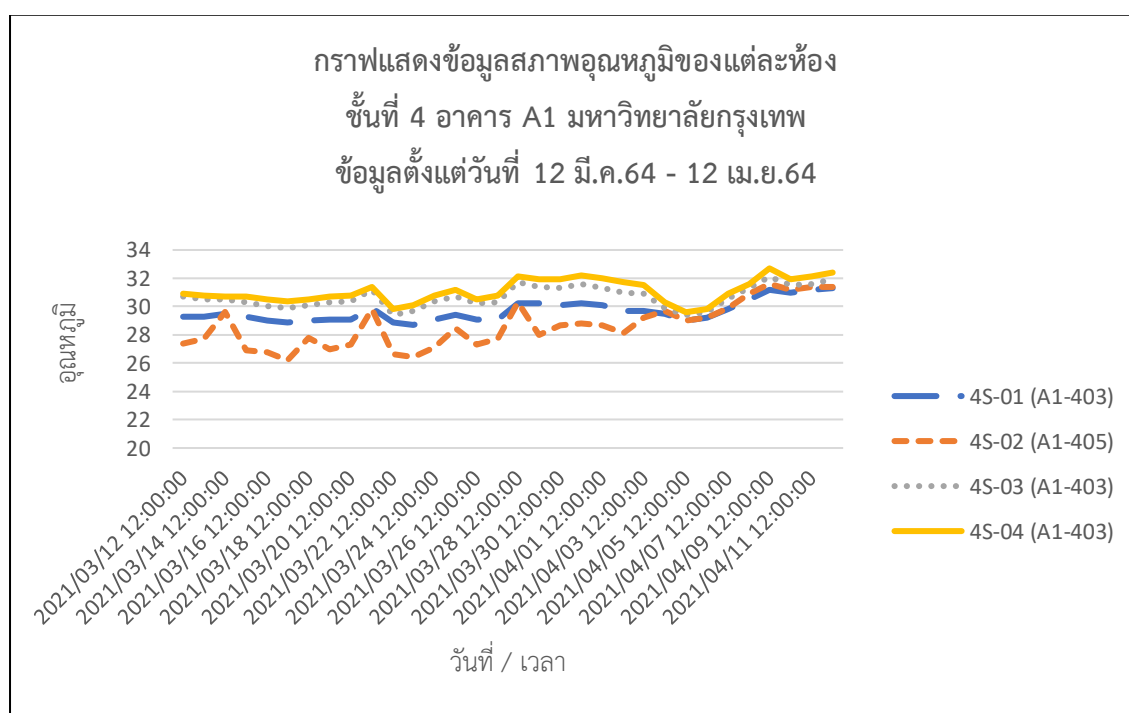
วันที่	4S-01 (A1-403) (°C)	4S-02 (A1-405) (°C)	4S-03 (A1-403) (°C)	4S-04 (A1-403) (°C)
2021/03/12	29.3	27.4	30.7	30.9
2021/03/13	29.3	27.7	30.5	30.8
2021/03/14	29.5	29.6	30.5	30.7
2021/03/15	29.3	26.9	30.3	30.7
2021/03/16	29.0	26.8	30.0	30.5
2021/03/17	28.9	26.2	29.9	30.4
2021/03/18	29.0	27.8	30.1	30.5
2021/03/19	29.1	27.0	30.3	30.7
2021/03/20	29.1	27.3	30.4	30.8
2021/03/21	29.9	29.8	31.2	31.4
2021/03/22	28.9	26.6	29.4	29.8
2021/03/23	28.7	26.4	29.7	30.1
2021/03/24	29.1	27.1	30.4	30.8
2021/03/25	29.4	28.5	30.7	31.2
2021/03/26	29.1	27.3	30.2	30.5
2021/03/27	29.1	27.7	30.3	30.8
2021/03/28	30.2	30.3	31.7	32.1
2021/03/29	30.2	28.0	31.4	31.9
2021/03/30	30.1	28.7	31.3	31.9
2021/03/31	30.2	28.8	31.6	32.2
2021/04/01	30.1	28.7	31.3	32.0

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.4 (ต่อ): แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร ชั้นที่ 4 ของอาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64 (ช่วงเวลา 12.00 น.)

วันที่	4S-01 (A1-403) (°C)	4S-02 (A1-405) (°C)	4S-03 (A1-403) (°C)	4S-04 (A1-403) (°C)
2021/04/02	29.7	28.1	31.0	31.7
2021/04/03	29.7	29.2	30.9	31.5
2021/04/04	29.5	29.7	29.9	30.3
2021/04/05	29.0	29.0	29.4	29.6
2021/04/06	29.2	29.2	29.6	29.8
2021/04/07	29.8	29.9	30.6	30.9
2021/04/08	30.5	30.9	31.3	31.6
2021/04/09	31.2	31.6	32.1	32.7
2021/04/10	31.0	31.2	31.5	31.9
2021/04/11	31.2	31.4	31.6	32.1
2021/04/12	31.3	31.4	31.9	32.4
อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	29.7	28.6	30.7	31.1
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	31.3	31.6	32.1	32.7

ภาพที่ 4.14: แผนภูมิแสดงข้อมูลค่าความกว้างของอุณหภูมิตามช่วงเวลาบันทึกค่าการทดลองของแต่ละห้องในชั้นที่ 4 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 – 12 เม.ย.64

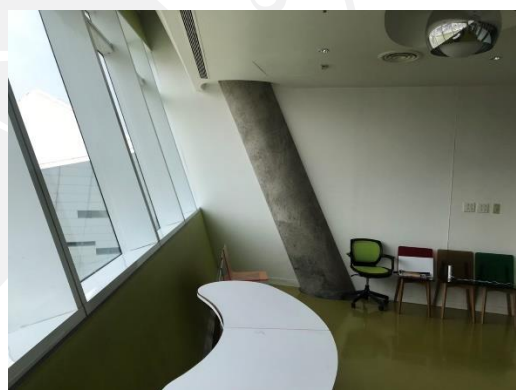
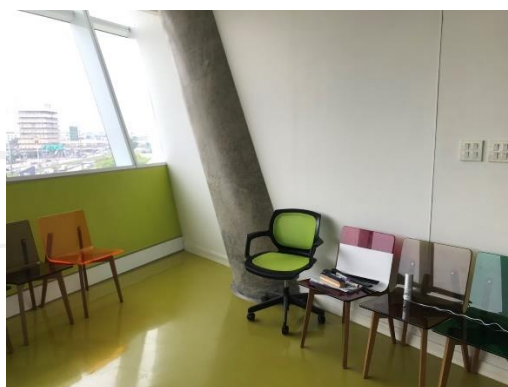
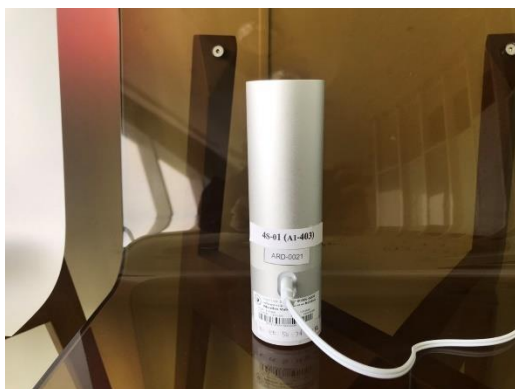


จากการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละจุดของชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยใช้เครื่องมือ Netatmo มีระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 30 วัน นับตั้งแต่วันที่ 12 มีนาคม 2564 ถึง 12 เมษายน 2564 โดยวางอุปกรณ์ดังกล่าวจำนวนทั้งหมด 4 เครื่อง ในแต่ละห้อง ดังต่อไปนี้

- 1) อุปกรณ์ 4S-01 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ (109 ตารางเมตร, ทิศตะวันตกเฉียงใต้)
- 2) อุปกรณ์ 4S-02 (A1-405) ห้องห้องปฏิบัติการสร้างสรรค์สื่อดิจิทัล (218 ตารางเมตร, ทิศใต้)
- 3) อุปกรณ์ 4S-03 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ (109 ตารางเมตร, ทิศตะวันตกเฉียงใต้)
- 4) อุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ (109 ตารางเมตร, ทิศตะวันตกเฉียงใต้)

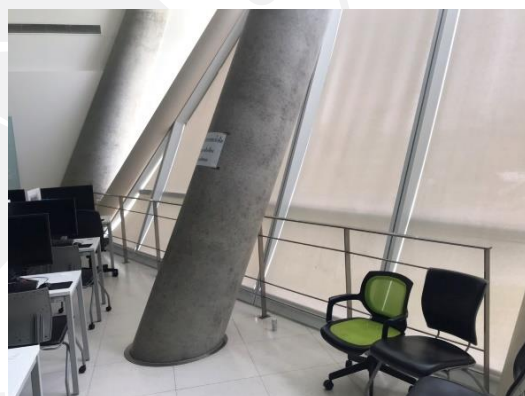
4.3.9 การวางอุปกรณ์ 4S-01 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์

ภาพที่ 4.15: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 4S-01 (A1-403) ณ ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



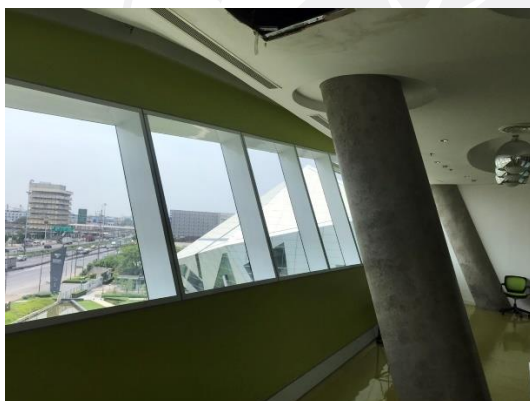
4.3.10 การวางอุปกรณ์ 4S-02 (A1-405) ห้องปฏิบัติการสร้างสรรค์สื่อดิจิทัล

ภาพที่ 4.16: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 4S-02 (A1-405) ณ ห้องปฏิบัติการสร้างสรรค์สื่อดิจิทัล อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



4.3.11 การวางอุปกรณ์ 4S-03 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์

ภาพที่ 4.17: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 4S-03 (A1-403) ณ ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



4.3.12 การวางอุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์

ภาพที่ 4.18: แสดงการวางเครื่องมือ Netatmo หมายเลขอุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) ณ ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



จากผลการเก็บข้อมูลพบว่าอุปกรณ์ (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.7°C , อุปกรณ์ 4S-02 (A1-405) ห้องปฏิบัติการสร้างสรรค์สื่อดิจิทัล มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.6°C , อุปกรณ์ 4S-03 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.7°C และอุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.1°C ซึ่งห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในชั้นที่ 4 ของอาคารคือ ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ อุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 31.1°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.7°C

4.4 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิชั้นที่ 2-4 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มีนาคม 2564 ถึง 12 เมษายน 2564 รวมระยะเวลา 1 เดือน โดยเลือกข้อมูลที่มีอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละชั้น มาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาจุดที่เป็นปัญหามากที่สุดของอาคาร โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.5: แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละชั้น (ชั้นที่ 2 – 4) ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64 (ช่วงเวลา 12.00 น.)

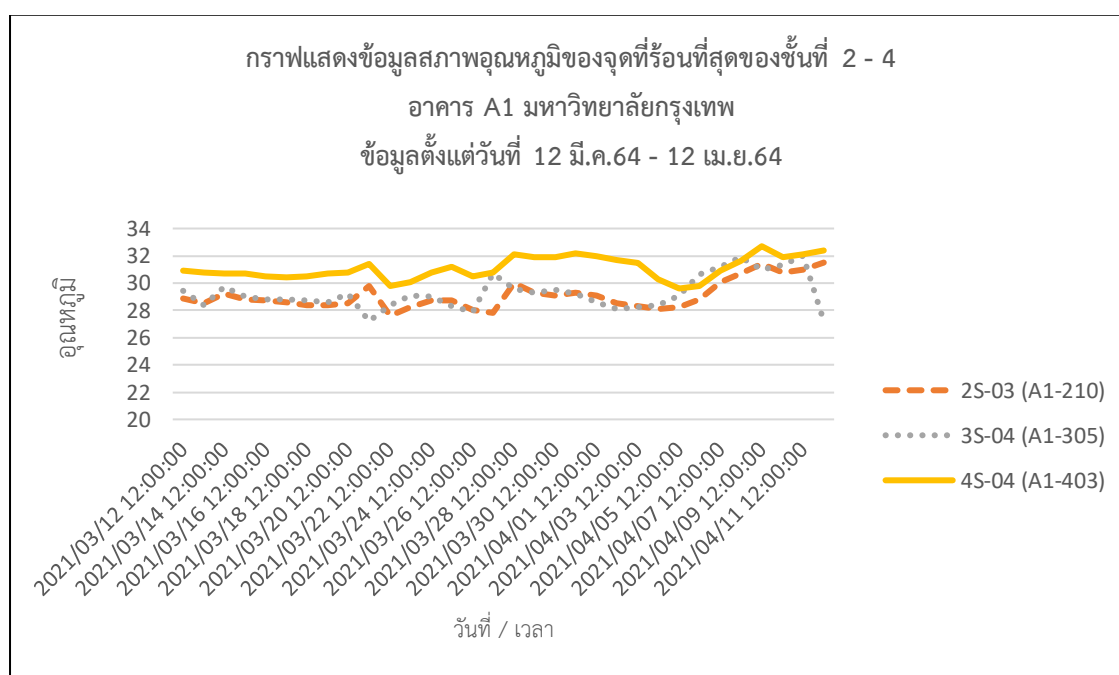
วันที่	2S-03 (A1-210) (°C)	3S-04 (A1-305) (°C)	4S-04 (A1-403) (°C)
2021/03/12	28.9	29.4	30.9
2021/03/13	28.5	28.4	30.8
2021/03/14	29.2	29.7	30.7
2021/03/15	28.8	29.0	30.7
2021/03/16	28.7	28.8	30.5
2021/03/17	28.6	28.8	30.4
2021/03/18	28.4	28.7	30.5
2021/03/19	28.4	28.6	30.7
2021/03/20	28.5	29.2	30.8
2021/03/21	29.8	27.2	31.4
2021/03/22	27.6	28.4	29.8
2021/03/23	28.2	29.1	30.1
2021/03/24	28.7	29.0	30.8
2021/03/25	28.7	28.3	31.2
2021/03/26	28.0	27.9	30.5
2021/03/27	27.8	30.7	30.8

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.5 (ต่อ): แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละชั้น (ชั้นที่ 2 – 4) ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64 (ช่วงเวลา 12.00 น.)

วันที่	2S-03 (A1-210) (°C)	3S-04 (A1-305) (°C)	4S-04 (A1-403) (°C)
2021/03/28	30.0	29.6	32.1
2021/03/29	29.3	29.3	31.9
2021/03/30	29.1	29.5	31.9
2021/03/31	29.3	29.2	32.2
2021/04/01	29.1	28.6	32.0
2021/04/02	28.5	28.1	31.7
2021/04/03	28.3	28.2	31.5
2021/04/04	28.1	28.4	30.3
2021/04/05	28.2	29.1	29.6
2021/04/06	28.8	30.6	29.8
2021/04/07	30.1	31.2	30.9
2021/04/08	30.7	31.9	31.6
2021/04/09	31.4	31.0	32.7
2021/04/10	30.8	31.3	31.9
2021/04/11	31.0	32.0	32.1
2021/04/12	31.5	27.2	32.4
อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	29.0	29.2	31.1
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	31.5	32.0	32.7

ภาพที่ 4.19: แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลค่าความกว้างของอุณหภูมิตามช่วงเวลาบันทึกค่าการทดลอง ในห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละชั้น (ชั้นที่ 2 - 4) ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.64 - 12 เม.ย.64

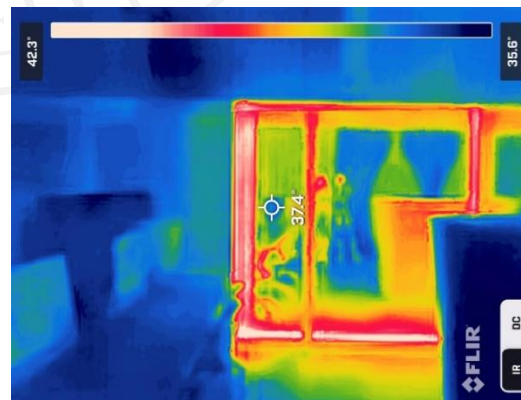
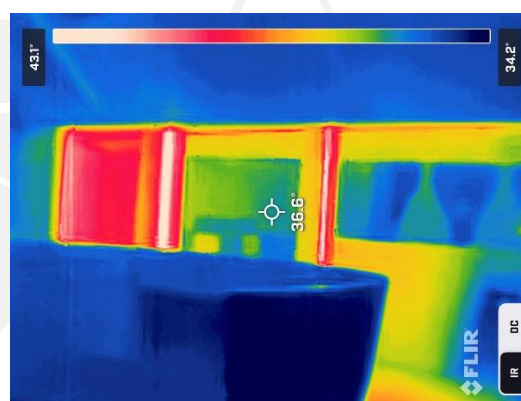
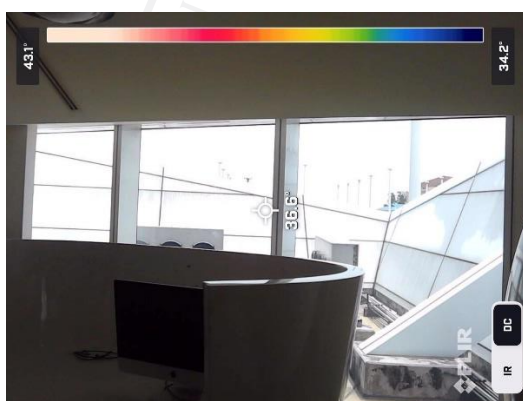


จากการเปรียบเทียบข้อมูลห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละชั้นของอาคาร A1 ได้แก่ ชั้นที่ 2 ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ อุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ชั้นที่ 3 ห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย ทิศตะวันออกเฉียงใต้ อุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) และชั้นที่ 4 ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation ทิศตะวันออกเฉียงใต้ อุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าห้องที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ ชั้นที่ 4 ศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation

4.5 การตรวจสอบสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิความร้อนด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยเครื่องมือ Thermal Camera (FLIR)

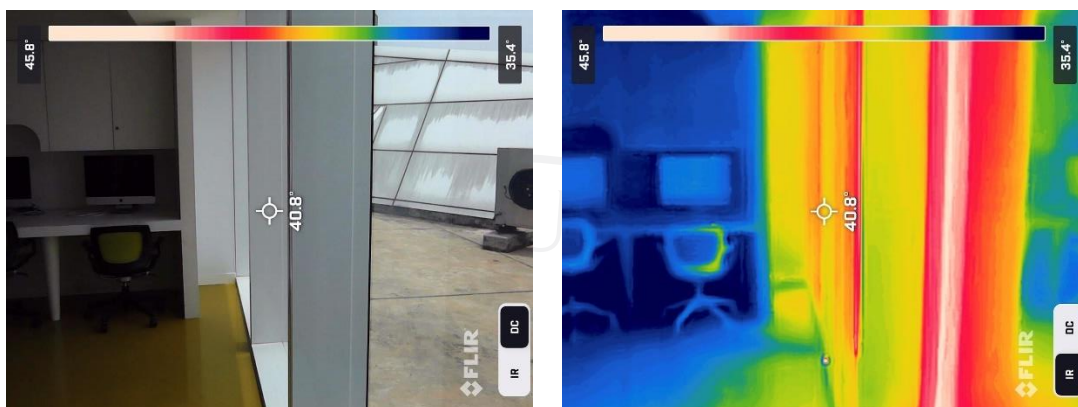
อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ FLIR ONE หรือ Thermal Camera เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิความร้อนของสิ่งที่กล้องตรวจจับ ทำให้ทราบค่าอุณหภูมิได้ โดยแสดงผลเป็นแถบสี โดยสีที่ร้อนที่สุดคือสีแดง เย็นที่สุดคือสีน้ำเงิน พร้อมบอกค่าอุณหภูมิขณะนั้นได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือดังกล่าว ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิในห้องที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation ในชั้นที่ 4 ปรากฏรายละเอียดตามภาพต่อไปนี้

ภาพที่ 4.20: แสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ภายในห้องศูนย์บ่มเพาะ
นักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation ชั้นที่ 4 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัย
กรุงเทพ ซึ่งเป็นห้องที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดของอาคาร A1 (เก็บข้อมูล ณ วันที่ 13 เม.ย.64)



(ภาพมีต่อ)

ภาพที่ 4.20 (ต่อ): แสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ภายในห้องศูนย์บ่มเพาะ นักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation ชั้นที่ 4 ของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นห้องที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดของอาคาร A1 (เก็บข้อมูล ณ วันที่ 13 เม.ย.64)



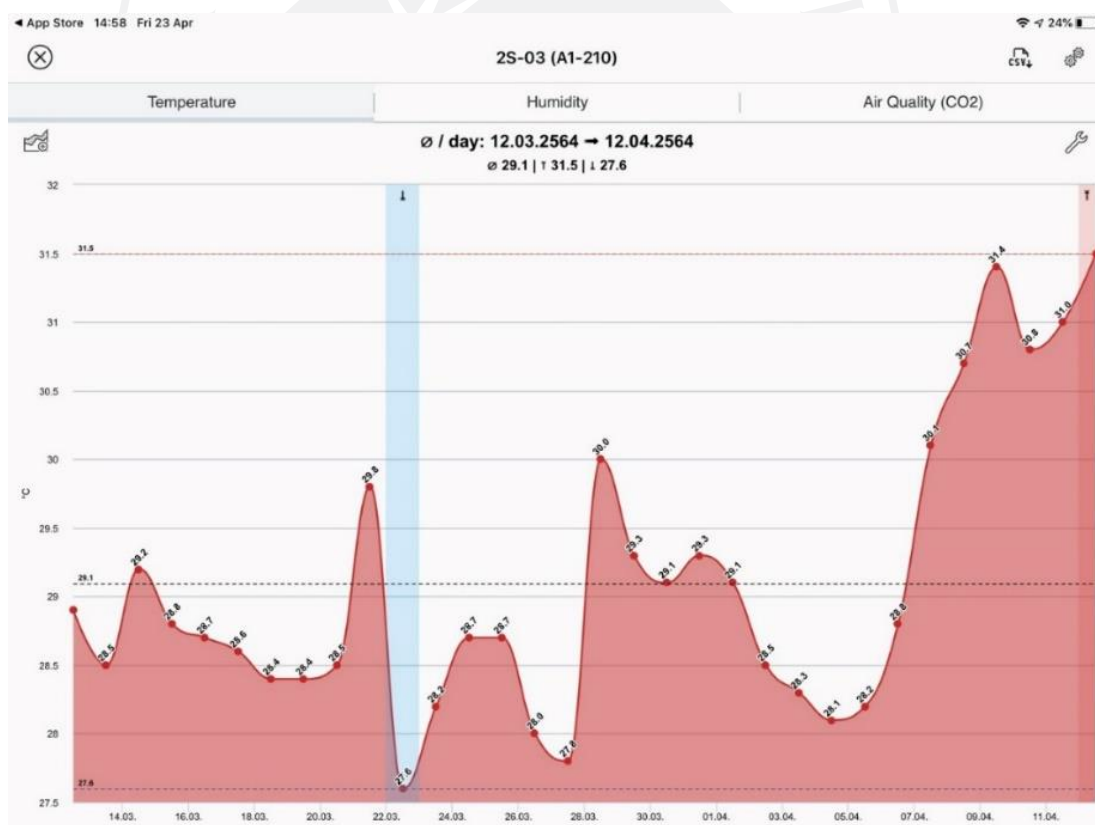
4.6 ผลจากการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ Netatmo

ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือ Netatmo ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ ภายในพื้นที่อาคารได้ โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 30 วัน ตั้งแต่วันที่ 12 มีนาคม 2564 ถึง 12 เมษายน 2564 โดยวางอุปกรณ์ดังกล่าวจำนวนทั้งหมด 12 เครื่อง แบ่งเป็นชั้นละ 4 เครื่อง และจากการเปรียบเทียบข้อมูลห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละชั้นของอาคาร A1 ได้แก่ ชั้นที่ 2 ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ อุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ชั้นที่ 3 ห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย ทิศตะวันออกเฉียงใต้ อุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) และชั้นที่ 4 ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation ทิศตะวันออกเฉียงใต้ อุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่าห้องที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ ชั้นที่ 4 ห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 32.7 °C

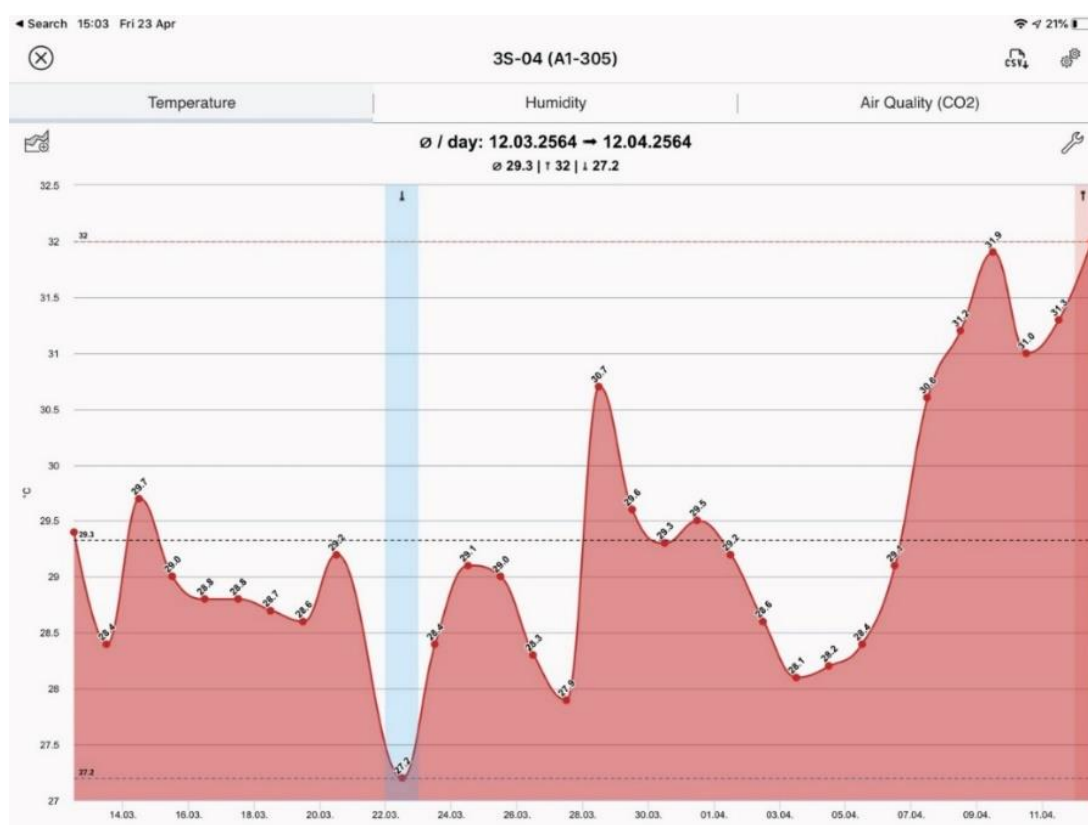
ภาพที่ 4.21: แสดงเครื่องมือ Netatmo ซึ่งใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ ภายในพื้นที่
อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ



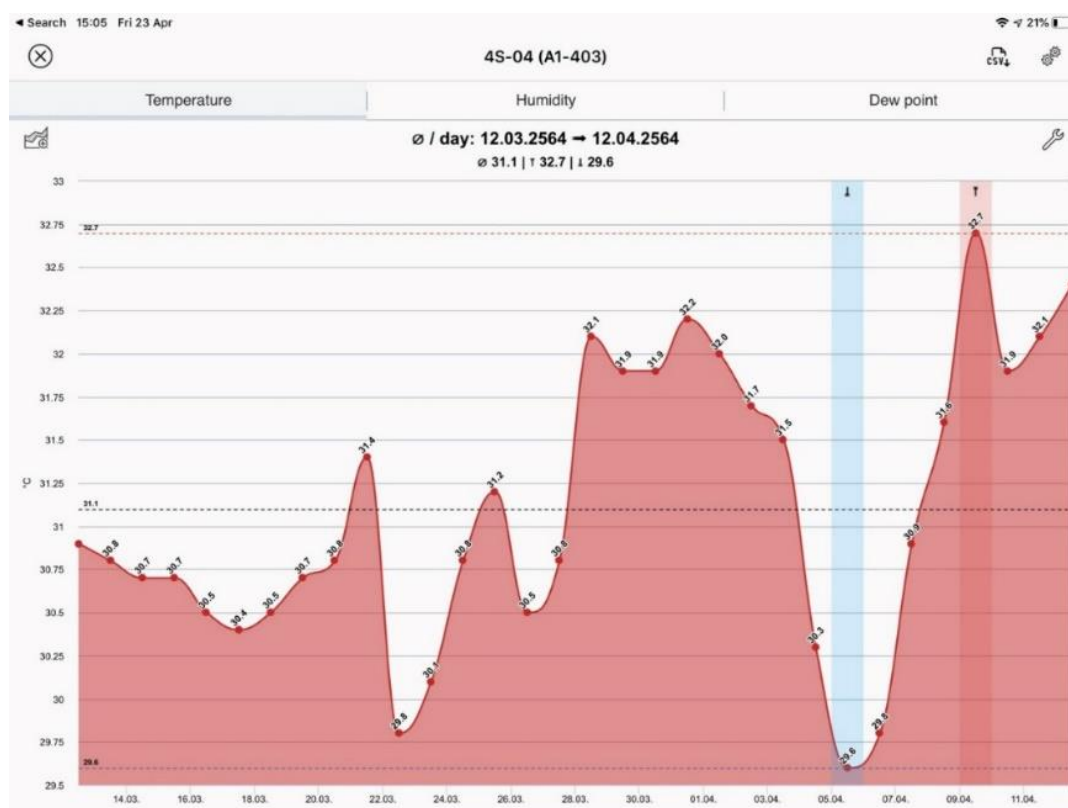
ภาพที่ 4.22: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของอุปกรณ์ 2S-03 (A1-210) ภายใน
ห้องศูนย์พัฒนาเจ้าของธุรกิจ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดใน
ชั้นที่ 2 ของอาคาร A1 ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.65 – 12 เม.ย.65 รวมระยะเวลา 1 เดือน



ภาพที่ 4.23: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของอุปกรณ์ 3S-04 (A1-305) ภายในห้องสำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในชั้นที่ 3 ของอาคาร A1 ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.65 – 12 เม.ย.65 รวมระยะเวลา 1 เดือน



ภาพที่ 4.24: แสดงผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของอุปกรณ์ 4S-04 (A1-403) ภายในห้องศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นห้องที่มีอุณหภูมิสูงสุดในชั้นที่ 4 ของอาคาร A1 ตั้งแต่วันที่ 12 มี.ค.65 – 12 เม.ย.65 รวมระยะเวลา 1 เดือน



4.7 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

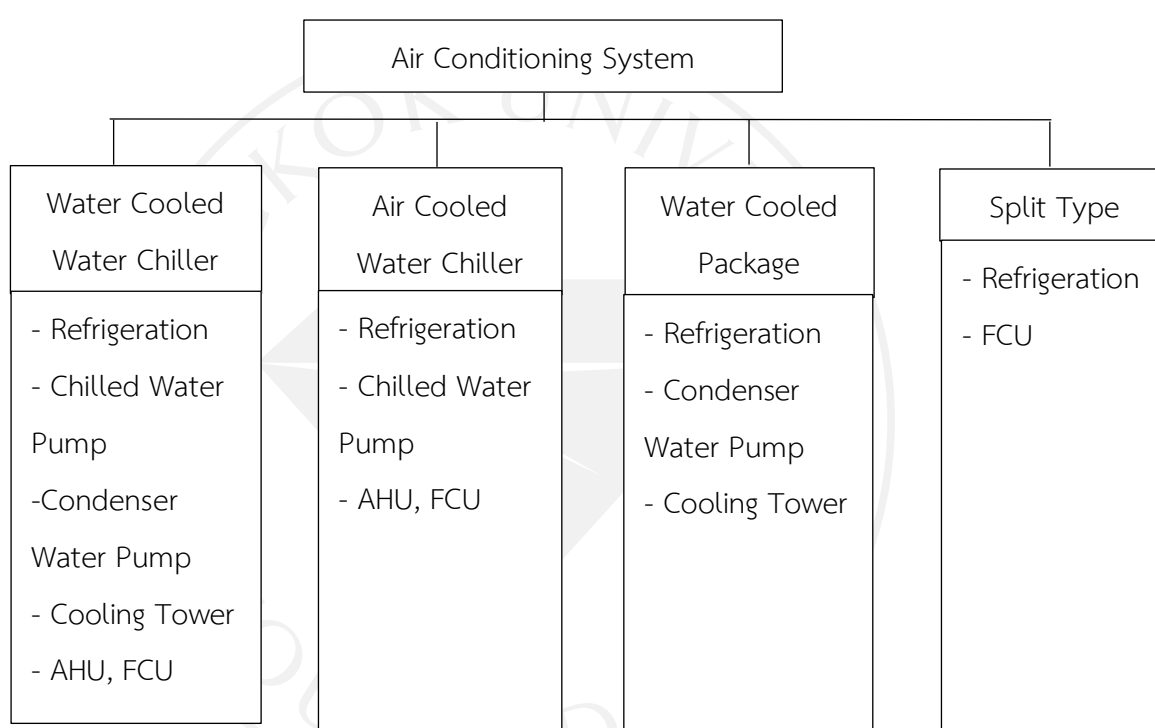
4.7.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสถานศึกษา A1 ปี พ.ศ. 2563 พบว่ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 96,692 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี (อ้างอิงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร จากฝ่ายอาคาร มหาวิทยาลัยกรุงเทพ) และจากการคำนวณค่าไฟฟ้ารายปีของอาคารสถานศึกษา A1 ก่อนปรับปรุง พบว่ามีค่าไฟฟ้าจำนวน 397,489.91 บาท

4.7.2 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศภายในอาคารมีการพัฒนาปรับใช้งานในรูปแบบต่างๆ โดยแตกต่างกัน โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้ ซึ่งทำให้ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้มากขึ้น โดยทั่วไประบบปรับอากาศแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

ภาพที่ 4.25: แผนภูมิแสดงชนิดและส่วนประกอบหลักของระบบปรับอากาศ



พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ได้แก่ ห้องทำงาน ห้องประชุม ระบบปรับอากาศมีทั้งแบบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) และระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง (Central Air-Conditioning System) ได้แก่ เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Chiller) และเครื่องจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit : AHU) ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวบันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 สำหรับหาปริมาณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารต่อไป

ตารางที่ 4.6: แสดงรายละเอียดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ที่ใช้ภายในอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

เครื่องปรับอากาศ	จำนวน (เครื่อง)	อัตราการทำความเย็น (Btu/Hr)	อัตราพลังงานที่ใช้ (KW)	หมายเหตุ
1. TRANE	1	48,000	14	Split_01
2. TRANE	4	18,000	5.2	Split_02
3. TRANE	2	12,000	3.52	Split_03

ตารางที่ 4.7: แสดงรายละเอียดระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง (Central Air-Conditioning System) ที่ใช้ภายในอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ระบบปรับอากาศ	จำนวน (เครื่อง)	อัตราการทำความเย็น (Btu/Hr)	อัตราพลังงานที่ใช้ (KW)	หมายเหตุ
1. Water Cooled Water Chiller	1	4,911	1,438.22	Central_01
2. AHU (Air Handling Unit)				
2.1 GAHU-C1	1	322,125	7.5	AHU_01
2.2 GAHU-C2	1	85,908	0.75	AHU_02
2.3 GAHU-C3	1	85,908	0.75	AHU_03
2.4 1AHU-C1	1	100,653	2.2	AHU_04
2.5 1AHU-C2	1	59,045	0.75	AHU_05
2.6 1AHU-C3	1	39,045	0.75	AHU_06
2.7 1AHU-C4	1	106,295	2.2	AHU_07
2.8 2AHU-C1	1	75,170	7.5	AHU_08
2.9 3AHU-C	1	75,170	1.5	AHU_09

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.7 (ต่อ): แสดงรายละเอียดระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง (Central Air-Conditioning System) ที่ใช้ภายในอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ระบบปรับอากาศ	จำนวน (เครื่อง)	อัตราการทำความเย็น (Btu/Hr)	อัตราพลังงานที่ใช้ (KW)	หมายเหตุ
2.10 3AHU-C1	1	75,170	1.5	AHU_10
2.11 3AHU-C2	1	75,170	1.5	AHU_11
2.12 3AHU-C3	1	64,432	1.5	AHU_12
2.13 3AHU-C4	1	64,432	1.5	AHU_13
2.14 3AHU-C5	1	75,168	1.5	AHU_14
2.15 3AHU-C6	1	75,168	1.5	AHU_15
2.16 3AHU-C7	1	75,168	1.5	AHU_16
2.17 3AHU-C8	1	59,045	0.75	AHU_17
2.18 3AHU-C9	1	85,909	1.5	AHU_18
2.19 3AHU-C10	1	44,830	0.75	AHU_19
3. FCU (Fan Coil Unit)				
3.1 3FCU-C1	1	49,602	0.45	FCU_01
3.2 3FCU-C2	1	20,181	0.087	FCU_02
3.3 3FCU-C3	1	30,102	0.26	FCU_03

ตารางที่ 4.8: แสดงรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศแต่ละพื้นที่ ภายในอาคาร A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	พื้นที่	เครื่องปรับอากาศ	จำนวน (เครื่อง)	อัตราการทำความเย็น (Btu/Hr)	อัตราพลังงานที่ใช้ (KW)
1.	A1-101 ห้อง Interactive Media Lab	GAHU-C2	1	85,908	7.5
2.	A1-104 ห้องเครื่องระบบปรับอากาศ	GAHU-C1	1	322,125	0.75
3.	โถงทางเดิน ชั้น 1	GAHU-C3	1	85,908	0.75
4.	A1-203 Director 3	1AHU-C1	1	75,170	7.5
5.	A1-205 ห้องทำงาน อาจารย์ Director1	Split_02	1	18,000	5.2
6.	A1-206 ห้องทำงาน อาจารย์ (ผช.วก.)	Split_02	1	18,000	5.2
7.	A1-209 ห้องทำงาน อาจารย์ (ผช.วก.)	Split_03	1	12,000	3.52
8.	A1-211 ห้องเรียน	1AHU-C2	1	59,045	0.75
9.	A1-212 งานตำแหน่งวิชาการและหลักสูตร	1AHU-C3	1	39,045	0.75
10.	โถงทางเดิน ชั้น 2	1AHU-C4	1	106,295	2.2
11.	A1-302 ห้องผู้บริหาร สายวิชาการ	2FCU-C1	1	49,602	0.45
12.	A1-303 ห้องอาจารย์	2FCU-C2	1	20,181	0.087
13.	A1-307 ห้องตรวจข้อมูล	2FCU-C3	1	30,102	0.26
14.	A1-309 ห้องอธิการบดี อาวุโสด้านวิชาการ	Split_01	1	48,000	14

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.8 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศแต่ละพื้นที่ ภายในอาคาร A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	พื้นที่	เครื่องปรับอากาศ	จำนวน (เครื่อง)	อัตราการทำความเย็น (Btu/Hr)	อัตราพลังงานที่ใช้ (KW)
15.	A1-310 ห้องรอง อธิการบดีฝ่ายวิชาการ	Split_02	1	18,000	5.2
16.	A1-311 ห้องรอง อธ. นวัตกรรมการศึกษา	Split_02	1	18,000	5.2
17.	A1-313 ห้องทำงาน อาจารย์ (ผอ.สวก.)	Split_03	1	12,000	3.52
18.	A1-319 ห้องเครื่อง ระบบปรับอากาศ	2AHU-C1	1	75,170	7.5
19.	A1-401 ห้อง Motion Capture & Animation Lab	3AHU-C10	1	44,830	0.75
20.	A1-402 ห้องเรียน	3AHU-C9	1	85,909	1.5
21.	A1-405 ห้องปฏิบัติการ สร้างสรรค์สื่อดิจิทัล	3AHU-C5	1	75,168	1.5
22.	A1-405 ห้องปฏิบัติการ สร้างสรรค์สื่อดิจิทัล	3AHU-C6	1	75,168	1.5
23.	A1-405 ห้องปฏิบัติการ สร้างสรรค์สื่อดิจิทัล	3AHU-C7	1	75,168	1.5
24.	A1-406 ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์	3AHU-C3	1	64,432	1.5
25.	A1-406 ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์	3AHU-C4	1	64,432	1.5

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.8 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศแต่ละพื้นที่ ภายในอาคาร A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	พื้นที่	เครื่องปรับอากาศ	จำนวน (เครื่อง)	อัตราการทำความเย็น (Btu/Hr)	อัตราพลังงานที่ใช้ (KW)
26.	A1-407 ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์	3AHU-C1	1	75,170	1.5
27.	A1-408 ห้อง NOC.	3AHU-C8	1	59,045	0.75
28.	A1-413 ห้องเครื่องระบบปรับอากาศ	3AHU-C	1	75,170	1.5

4.7.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งมีผลต่อความร้อนที่เพิ่มขึ้นในอาคาร ประกอบด้วย อุปกรณ์ให้แสงสว่าง ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์, Acrylic Diffuser, Acrylic Diffuser, Completed with Reflector, Downlight Compact Lamp เป็นต้น โดยมีรายละเอียดตามตาราง ซึ่งผู้วิจัยได้บันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อศึกษาค่าพลังงานรวมในอาคารและกำลังการใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารต่อไป

ตารางที่ 4.9: แสดงรายละเอียดและจำนวนของหลอดไฟในอาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี

ลำดับ	หลอดไฟ	ขนาดวัตต์ต่อโคม	พื้นที่ใช้งาน	สัญลักษณ์
1.	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ประกอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์	หลอดไฟ 2x36 = 72 วัตต์ บัลลาสต์ 2x6 = 12 วัตต์ รวม 84 วัตต์	ห้องทำงาน ห้องประชุม ห้องเก็บของ	F04

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.9 (ต่อ): แสดงรายละเอียดและจำนวนของหลอดไฟในอาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี

ลำดับ	หลอดไฟ	ขนาดวัตต์ ต่อโคม	พื้นที่ใช้งาน	สัญลักษณ์
2.	Acrylic Diffuser จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์	รวม 34 วัตต์	ทางเดิน โถงลิฟต์	C1
3.	Completed with Reflector จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์	รวม 34 วัตต์	ห้องเครื่อง COMM. ห้องเครื่องไฟฟ้า ห้องเก็บของ โถงลิฟต์ดับเพลิง	E2
4.	Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์	รวม 34 วัตต์	ห้องเครื่องระบบปรับ อากาศ ห้องน้ำ	B1
5.	Downlight Compact Lamp จำนวน 1 หลอด ขนาด 35 วัตต์	รวม 35 วัตต์	ทางเดิน โถงลิฟต์	DL1
6.	Downlight Compact Lamp จำนวน 1 หลอด ขนาด 70 วัตต์	รวม 70 วัตต์	ทางเดิน โถงลิฟต์	DL2
7.	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์	รวม 84 วัตต์	ทางเดิน ห้องน้ำ	DL4
8.	Adjustable Downlight จำนวน 1 หลอด ขนาด 35 วัตต์	รวม 35 วัตต์	ทางเดิน	AJ1
9.	Downlight Adjustablehalogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์	รวม 50 วัตต์	ทางเดิน ห้องเรียน ห้องทำงาน	RA01

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.9 (ต่อ): แสดงรายละเอียดและจำนวนของหลอดไฟในอาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี

ลำดับ	หลอดไฟ	ขนาดวัตต์ ต่อโคม	พื้นที่ใช้งาน	สัญลักษณ์
10.	Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์	รวม 50 วัตต์	ห้องทำงาน ห้องเรียน ห้องประชุม	RD02

ตารางที่ 4.10: แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 1 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟฟ้า รวม (วัตต์)
1.	A1-101 ห้อง ตลาด หลักทรัพย์ จำลอง	140	โคมไฟฟ้าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ประกอบด้วย ตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้ กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	20	1,680
2.	A1-102 ห้อง เครื่องไฟฟ้า	6	Completed with Reflector จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์	34	1	34

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.10 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 1 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟฟ้า รวม (วัตต์)
			ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (E2)			
3.	A1-103 ห้อง เครื่อง COMM.	6	Completed with Reflector จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (E2)	34	1	34
4.	A1-104 ห้อง เครื่องระบบ ปรับอากาศ	11	Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับบัลลาสต์	34	5	170
5.	A1-106 ห้องน้ำชาย	9	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	3	252
			Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (B1)	34	4	136

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.10 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 1 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟฟ้า รวม (วัตต์)
6.	A1-107 ห้องน้ำหญิง	7	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	3	252
7.	โถงและ ทางเดิน	164	Acrylic Diffuser จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับปลั๊กลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (C1)	34	4	136
			Downlight Compact Lamp จำนวน 1 หลอด ขนาด 70 วัตต์ (DL2)	70	4	280
			Downlight Compact Lamp จำนวน 1 หลอด ขนาด 35 วัตต์ (DL1)	35	10	350
รวม		343 ตร.ม.		527	55	3,324

กล่าวโดยสรุป ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 1 พื้นที่อาคาร 343 ตารางเมตร มีกำลังไฟฟ้ารวม 3,324 วัตต์

ตารางที่ 4.11: แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟ ฟารวม (วัตต์)
1.	A1-204 ห้อง ประชุม	11	โคมไฟฟ้าหลอดฟลู- ออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	1	84
2.	A1-205 ห้อง ทำงาน อาจารย์	10	โคมไฟฟ้าหลอดฟลู- ออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	1	84
3.	A1-206 ห้อง ทำงาน อาจารย์	10	โคมไฟฟ้าหลอดฟลู- ออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์	1	84

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.11 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟ ฟารวม (วัตต์)
			จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์		
4.	A1-207 ห้อง ประชุม	12	โคมไฟฟ้าหลอดฟลู- ออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	1	84
5.	A1-208 ห้อง ทำงาน อาจารย์	20	โคมไฟฟ้าหลอดฟลู- ออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	1	84
6.	A1-209 ห้อง ทำงาน อาจารย์	23	โคมไฟฟ้าหลอดฟลู- ออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม.	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์	1	84

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.11 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟ ฟารวม (วัตต์)
			(24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์		
7.	A1-210 ห้องเรียนศูนย์ พัฒนาเจ้าของ ธุรกิจ	31	Downlight Adjustablehalogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RA01)	50	11	550
8.	A1-211 ห้องเรียนเวิร์ค อินเทค	85	Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	19	950
9.	A1-212 งาน ตำแหน่ง วิชาการและ หลักสูตร	49	Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	6	300
10.	A1-216 ห้อง AHU	23	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	1	84

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.11 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 2 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟ ฟารวม (วัตต์)
11.	A1-218 ห้องน้ำชาย	19	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	5	420
			Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (B1)	34	4	136
12.	A1-219 ห้องน้ำหญิง	24	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	5	420
			Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (B1)	34	6	204
รวม			317 ตร.ม.	974	63	3,568

กล่าวโดยสรุป ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 2 พื้นที่อาคาร 317 ตารางเมตร มีกำลังไฟฟารวม 3,568 วัตต์

ตารางที่ 4.12: แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟรวม (วัตต์)
1.	A1-301 สำนักงาน มาตรฐาน คุณภาพ การศึกษา	75	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรง จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัล ลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)อะลูมิเนียม	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	14	1,176
2.	A1-302 ห้อง ทำงาน ผู้บริหารสาย วิชาการ	45	Downlight Adjustablehalogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RA01)	50	6	300
			Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	4	200
3.	A1-303 ห้อง ทำงาน อาจารย์	20	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์	2	168

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.12 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟรวม (วัตต์)
			ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	รวม 84 วัตต์		
4.	A1-304 ห้อง ประชุม วิชาการ	46	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	1	84
			Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	5	250
5.	A1-305 สำนัก วิชาการ / บัณฑิต วิทยาลัย	118	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	14	1,176
			Downlight Fix Halogen จำนวน	50	4	200

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.12 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟรวม (วัตต์)
			1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)			
6.	A1-306 ห้องพัก อาจารย์ พิเศษ	120	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	1	84
			Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	14	700
			Downlight Adjustablehalogen จำนวน 1	50	4	200
7.	A1-307 ห้อง ตรวจข้อมูล	25	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	3	252

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.12 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟรวม (วัตต์)
8.	A1-308 ห้องพัก อาจารย์ พิเศษ	120	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	10	840
9.	A1-309 ห้อง อธิการบดี อาวุโสด้าน วิชาการ	42	Downlight Adjustable- halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RA01)	50	2	100
			Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	4	200
10.	A1-310 ห้อง อธิการบดี ฝ่ายวิชาการ	22	Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	3	150
11.	A1-311 ห้อง รองอธิการบดี นวัตกรรม การศึกษา	22	Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	3	150

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.12 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟรวม (วัตต์)
12.	A1-312 ห้อง เก็บของ	10	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	1	84
13.	A1-313 ห้อง ทำงาน อาจารย์	17	โคมไฟฟ้าหลอดฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วย ตะแกรงอะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 =$ 72 วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	1	84
			Downlight Adjustablehalogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RA01)	50	2	100
14.	A1-318 ห้อง เก็บของ	8.80	Completed with Reflector จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์	34	2	68

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.12 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 3 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวน วัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟรวม (วัตต์)
			ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (E2)			
15.	A1-320 ห้องน้ำชาย	20	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	4	336
			Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (B1)	34	5	170
16.	A1-321 ห้องน้ำหญิง	25	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	4	336
รวม		735.80 ตร.ม.		1,542	113	7,408

กล่าวโดยสรุป ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 3 พื้นที่อาคาร 735.80 ตารางเมตร มีกำลังไฟ
รวม 7,408 วัตต์

ตารางที่ 4.13: แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวนวัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟฟ้า รวม (วัตต์)
1.	A1-401 ห้องเรียน Motion Capture & Animation Lab	61	โคมไฟฟ้าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 = 72$ วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	2	168
			Downlight Adjustable- halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RA01)	50	4	200
2.	A1-402 ห้องเรียน	126	โคมไฟฟ้าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 = 72$ วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	8	168

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.13 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวนวัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟฟ้า รวม (วัตต์)
			Downlight Adjustable- halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RA01)	50	4	200
3.	A1-403 ศูนย์ บ่มเพาะ นักพัฒนา ซอฟต์แวร์	109	Downlight Adjustable- halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RA01)	50	3	150
			Downlight Fix Halogen จำนวน 1 หลอด ขนาด 50 วัตต์ (RD02)	50	6	300
4.	A1-404 ศูนย์ คอมพิวเตอร์	62	โคมไฟฟ้าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 = 72$ วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	7	588

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.13 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวนวัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟฟ้า รวม (วัตต์)
5.	A1-405 ห้องปฏิบัติการ สร้างสรรค์สื่อ ดิจิทัล	218	โคมไฟฟ้าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 = 72$ วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	23	1,932
6.	A1-406 ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์	91	โคมไฟฟ้าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 = 72$ วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	15	1,260
7.	A1-407 ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์	110	โคมไฟฟ้าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ	หลอดไฟ $2 \times 36 = 72$ วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์	17	1,428

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.13 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวนวัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟฟ้า รวม (วัตต์)
			บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	รวม 84 วัตต์		
8.	A1-408 ห้อง NOC	31.39	โคมไฟฟ้าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยตะแกรง อะลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับ บัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (F04)	หลอดไฟ $2 \times 36 = 72$ วัตต์ บัลลาสต์ $2 \times 6 = 12$ วัตต์ รวม 84 วัตต์	4	336
9.	A1-413 ห้อง เครื่องระบบ ปรับอากาศ	14	Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้ กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (B1)	34	7	238
10.	A1-414 ห้องน้ำหญิง	26	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	4	336
			Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์	34	3	102

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.13 (ต่อ): แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้นที่ 4 อาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประเภทหลอดไฟ	จำนวนวัตต์	จำนวน หลอด	กำลังไฟฟ้า รวม (วัตต์)
			ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (B1)			
11.	A1-415 ห้องน้ำชาย	36	Downlight Compact Lamp จำนวน 2 หลอด ขนาด 42 วัตต์ (DL4)	84	7	588
			Basic Type จำนวน 1 หลอด ขนาด 28 วัตต์ ใช้ กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์ (B1)	34	3	102
รวม		884.39 ตร.ม.		1,058	117	8,096

กล่าวโดยสรุป ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้นที่ 4 พื้นที่อาคาร 884.39 ตารางเมตร มีกำลังไฟฟ้
รวม 8,096 วัตต์

จากตารางที่ 4.10 – 4.13 ข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ชั้นที่ 1 – 4 มีพื้นที่
อาคารรวม 2,280.19 ตารางเมตร และมีกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟรวมเท่ากับ 22,396 วัตต์

4.7.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร A1 เป็นหลัก ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ ตามตารางที่ 27 แสดงขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ซึ่งได้บันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 สำหรับหาปริมาณการใช้พลังงานในระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าของอาคารต่อไป

ตารางที่ 4.14: แสดงขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในอาคารสถานศึกษา A1
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อห้อง	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
1.	A1-101 ห้องตลาดหลักทรัพย์จำลอง	1	450
2.	A1-205 ห้องทำงานอาจารย์ (ผอ.นร.)	1	450
3.	A1-206 ห้องทำงานอาจารย์ (ผอ.วร.)	1	450
4.	A1-208 ห้องทำงานอาจารย์ (ผช.วก.)	1	450
5.	A1-209 ห้องทำงานอาจารย์ (ผช.วก.)	1	450
6.	A1-211 ห้องเรียนเวิร์คอินเทค	7	3,150
7.	A1-212 งานตำแหน่งวิชาการและหลักสูตร	7	3,150
8.	A1-301 สำนักมาตรฐานคุณภาพการศึกษา	10	4,500
9.	A1-302 ผู้บริหารสายวิชาการ	5	2,250
10.	A1-303 ห้อง ผช.อธ. นวัตกรรมการศึกษา	1	450
11.	A1-305 สำนักวิชาการ/บัณฑิตวิทยาลัย	18	8,100
12.	A1-306 ห้องพักอาจารย์พิเศษ	6	2,700
13.	A1-307 ห้องตรวจข้อมูล	7	3,150
14.	A1-308 Unit Cost	1	450
15.	A1-309 ห้องอธิการบดีอาวุโสด้านวิชาการ	1	450
16.	A1-310 ห้องรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ	1	450
17.	A1-311 ห้องรอง อธ. นวัตกรรมการศึกษา	1	450
18.	A1-313 ห้องทำงานอาจารย์ (ผอ.สวก.)	1	450
19.	A1-401 ห้องMotion Capture	4	1,800
20.	A1-402 ห้องเรียน	1	450

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.14 (ต่อ): แสดงขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

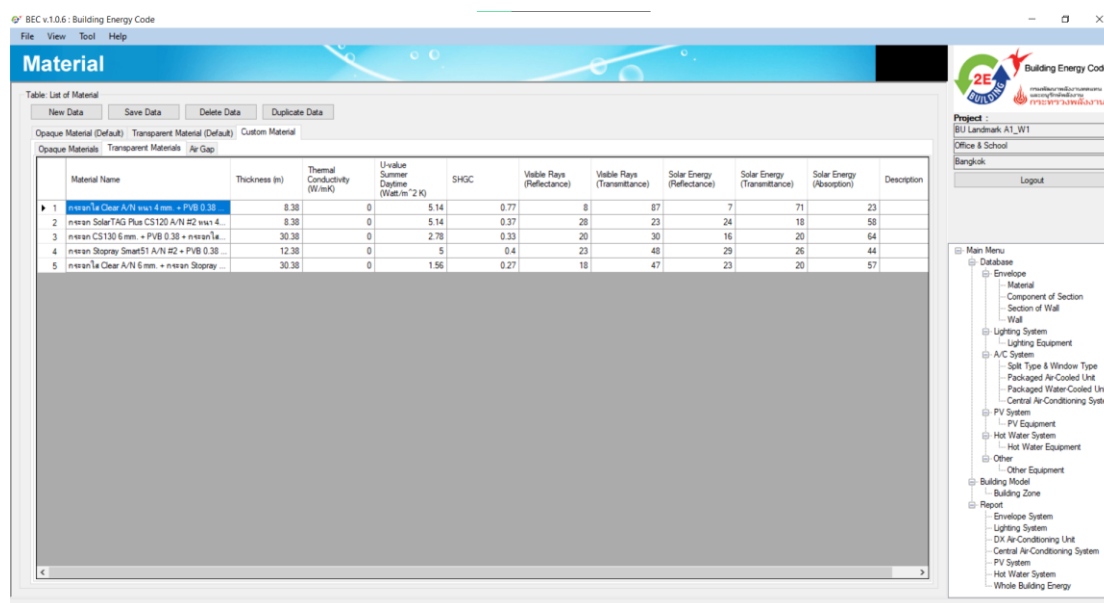
ลำดับ	ชื่อห้อง	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
21.	A1-403 ศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์	9	4,050
22.	A1-404 ศูนย์คอมพิวเตอร์	17	7,650
23.	A1-405 ห้องปฏิบัติการสร้างสรรค์สื่อดิจิทัล	40	18,000
24.	A1-406 ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์	43	19,350
25.	A1-407 ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์	49	22,050
รวมทั้งหมด		234	105,300

ตารางแสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยมีเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในอาคารจำนวน 234 เครื่อง และมีกำลังไฟฟ้าโดยรวมประมาณ 105,300 วัตต์

4.8 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

คุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารกรณีศึกษา ได้แก่ ผนังทึบ เป็นผนังอิฐมวลเบาฉาบปูนเรียบ ทั้งสองด้านหนา 10 มม. ภายนอกทาสีธรรมดา และสีน้ำมัน, แผ่นยิปซัมบอร์ด ขนาด 600x600 มม. หนา 9 มม., ขอบผนังภายนอกปิดด้วย Aluminium Composite Panel หนา 6 มม. ลาดเอียงตามแบบภูมิสถาปัตยกรรม ผนังโปร่งแสง คือ กระจก Laminated Glass ชนิด Clear Float Glass and Tinted Float Glass for outer glass รุ่น Clear 4 mm. (4-0.38-4) โดยที่มีค่า U-value 5.62 watt/m² และค่า SHGC 0.77 หลังคา คือ แผ่น Aluminium Composite Panel หนา 6 มม. ลาดเอียงตามแบบภูมิสถาปัตยกรรม, แผ่นยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม., แผ่นฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 10 กก./ลบ.ม. หนา 15 มม. และฝ้าเพดาน คือ แผ่นยิปซัมบอร์ดชนิดทนความชื้น ขนาด 600x600 มม. ทาสีโครงคร่าว T-Bar, ฝ้าเพดาน Acoustic Board ขนาด 600x600 มม. โครงคร่าว T-Bar, ท้องพื้นผนังทาสี มีรายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุดังตารางที่ ซึ่งได้บันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อหาค่า OTTV ค่า RTTV และปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อไป

ภาพที่ 4.26: แสดงรายละเอียดข้อมูลในส่วนของกระจกที่นำมาทดลอง โดยกรอกข้อมูลลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6



4.8.1 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน นำข้อมูลมากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และหลังคาของอาคาร (RTTV) ตามรายละเอียดดังตาราง

ตารางที่ 4.15: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ก่อนทำการปรับปรุง

Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m ²)	Wall/ Roof Area (m ²)	OTTV/RTTV (W/m ²)	Energy Consumption of Lighting System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Equipment (kWhr/Year)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1Z-01	1	140.00	311.90	164.09	3,931.20	1,052.91	5,089.52
1Z-02		164.00	186.03	275.61	1,792.54	0.00	1,792.54
1Z-03		23.00	79.88	109.80	397.78	0.00	397.78

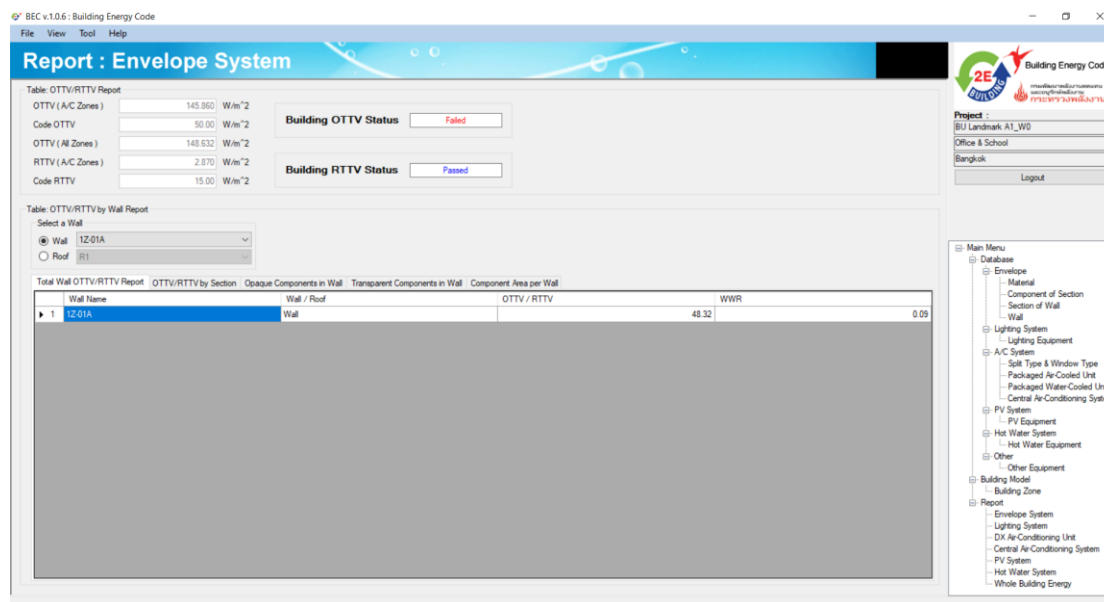
(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.15 (ต่อ): แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ก่อนทำการปรับปรุง

Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m ²)	Wall/ Roof Area (m ²)	OTTV/RTTV (W/m ²)	Energy Consumption of Lighting System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Equipment (kWhr/Year)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
2Z-01	2	192.00	206.23	96.87	2,466.55	4,212.00	6,732.51
2Z-02		85.00	68.85	187.16	2,222.91	7,371.04	9,593.94
2Z-03		49.00	72.35	140.21	701.95	7,371.03	8,072.98
3Z-01	3	184.00	215.18	65.07	5,367.79	20,006.83	25,407.41
3Z-02		191.00	151.10	136.07	4,628.51	1,052.99	5,699.26
3Z-03		120.00	79.90	182.04	2,302.56	18,954.00	21,256.56
3Z-04		75.00	87.38	150.96	2,555.28	1,053.00	3,608.28
4Z-01	4	87.00	118.59	60.53	2,901.63	1,052.92	3,954.54
4Z-02		109.00	87.73	177.84	1,052.89	9,477.01	10,529.90
4Z-03		93.39	68.33	201.28	2,162.16	17,901.10	20,063.26
4Z-04		309.00	241.93	175.63	7,469.21	87,399.15	94,868.36
4Z-05		109.00	80.01	124.32	3,341.54	51,597.11	54,938.65
Roof	Roof	2,048.23	2,048.23	2.87	0.00	0.00	27.65

หมายเหตุ : บริเวณพื้นที่ 1Z-02, 1Z-03 และหลังคา ไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องคอมพิวเตอร์
จึงมีค่า Energy Consumption of Equipment เท่ากับ 0

ภาพที่ 4.27: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของอาคาร
สถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน มากรอกลงในโปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน



จากการนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เท่ากับ 145.86 W/m² และหลังคาของอาคาร (RTTV) เท่ากับ 2.87 W/m²

4.8.2 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 1 นำข้อมูลมากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และหลังคาของอาคาร (RTTV) ตามรายละเอียดตาราง

ตารางที่ 4.16: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 1

Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m ²)	Wall/ Roof Area (m ²)	OTTV/RTTV (W/m ²)	Energy Consumption of Lighting System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Equipment (kWhr/Year)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1Z-01	1	140.00	311.90	90.59	3,931.20	1,052.91	5,045.88
1Z-02		164.00	186.03	145.24	1,792.54	0.00	1,792.54
1Z-03		23.00	79.88	62.98	397.78	0.00	397.78
2Z-01	2	192.00	206.23	57.63	2,466.55	3,158.89	5,661.58
2Z-02		85.00	68.85	101.97	2,222.91	6,318.06	8,540.96
2Z-03		49.00	72.35	78.74	701.95	6,318.00	7,019.94
3Z-01	3	184.00	215.18	41.58	5,367.79	17,900.96	23,301.29
3Z-02		191.00	151.10	76.86	4,628.51	1,052.99	5,686.12
3Z-03		120.00	79.90	99.64	2,302.56	16,848.00	19,159.56
3Z-04		75.00	87.38	83.73	2,555.28	1,053.00	3,599.28
4Z-01	4	87.00	118.59	39.80	2,901.63	1,052.92	3,954.54
4Z-02		109.00	87.73	97.31	1,052.89	8,424.12	9,477.01
4Z-03		93.39	68.33	108.81	2,162.16	16,847.99	19,010.15
4Z-04		309.00	241.93	96.25	7,469.21	84,240.11	91,709.32
4Z-05		109.00	80.01	71.05	3,341.54	47,385.05	50,726.59
Roof	Roof	2,048.23	2,048.23	2.87	0.00	0.00	27.65

หมายเหตุ : บริเวณพื้นที่ 1Z-02, 1Z-03 และหลังคา ไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ จึงมีค่า Energy Consumption of Equipment เท่ากับ 0

ภาพที่ 4.28: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 1 มากรอกลงในโปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน

Report : Envelope System

Table OTTV/RTTV Report

OTTV (A/C Zones)	81.529	W/m ²
Code OTTV	50.00	W/m ²
OTTV (All Zones)	82.907	W/m ²
RTTV (A/C Zones)	2.870	W/m ²
Code RTTV	15.00	W/m ²

Building OTTV Status: **Failed**

Building RTTV Status: **Passed**

Table OTTV/RTTV by Wall Report

Select a Wall: **12-01A**

WVR: **0.09**

Wall Name	OTTV/RTTV by Section	Opaque Components in Wall	Transparent Components in Wall	Component Area per Wall
1 12-01A	Wall	33.76	0.09	

Main Menu:

- Database
 - Envelope
 - Material
 - Component of Section
 - Section of Wall
 - Wall
 - Lighting System
 - Lighting Equipment
 - A/C System
 - Sole Type & Window Type
 - Packaged Air-Cooled Unit
 - Packaged Water-Cooled Unit
 - Central Air-Conditioning System
 - PV System
 - PV Equipment
 - Hot Water System
 - Hot Water Equipment
 - Other
 - Other Equipment
- Building Model
 - Building Zone
- Report
 - Envelope System
 - Lighting System
 - DX Air-Conditioning Unit
 - Central Air-Conditioning System
 - PV System
 - Hot Water System
 - Whole Building Energy

จากการนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 1 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เท่ากับ 81.529 W/m^2 และหลังคาของอาคาร (RTTV) เท่ากับ 2.87 W/m^2

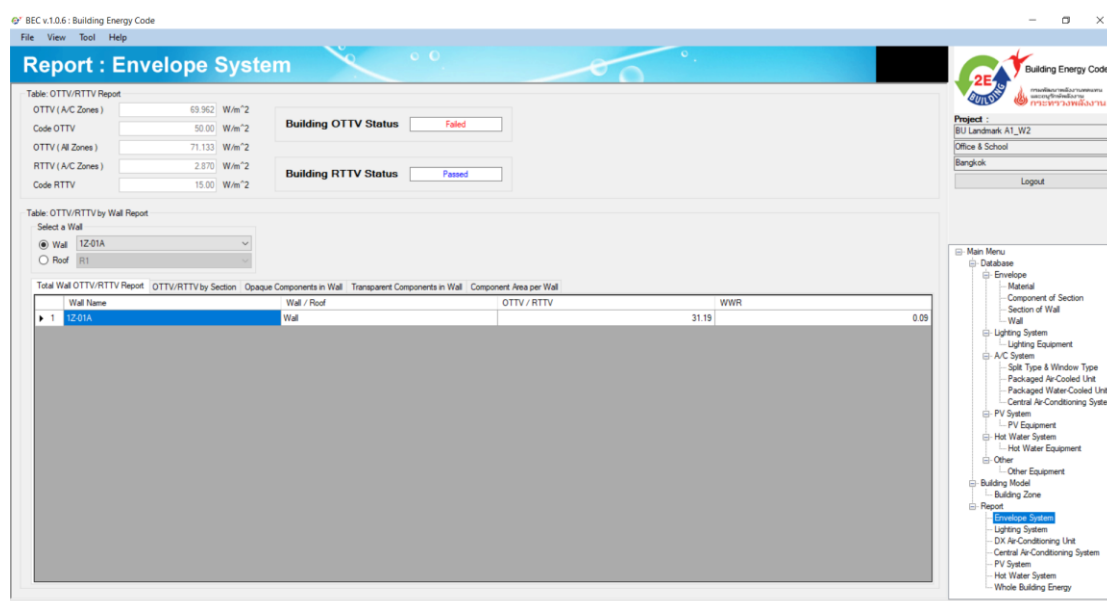
4.8.3 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 2 นำข้อมูลมากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และหลังคาของอาคาร (RTTV) ตามรายละเอียดตาราง

ตารางที่ 4.17: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 2

Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m ²)	Wall/ Roof Area (m ²)	OTTV/RTTV (W/m ²)	Energy Consumption of Lighting System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Equipment (kWhr/Year)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1Z-01	1	140.00	311.90	77.76	3,931.20	1,052.91	5,038.26
1Z-02		164.00	186.03	121.85	1,792.54	0.00	1,792.54
1Z-03		23.00	79.88	54.72	397.78	0.00	397.78
2Z-01	2	192.00	206.23	50.67	2,466.55	3,158.89	5,658.57
2Z-02		85.00	68.85	87.29	2,222.91	6,318.06	8,540.96
2Z-03		49.00	72.35	66.26	701.95	6,318.00	7,019.94
3Z-01	3	184.00	215.18	37.12	5,367.79	16,847.81	22,246.47
3Z-02		191.00	151.10	65.86	4,628.51	1,052.99	5,684.98
3Z-03		120.00	79.90	85.79	2,302.56	16,848.00	19,159.56
3Z-04		75.00	87.38	71.48	2,555.28	1,053.00	3,599.28
4Z-01	4	87.00	118.59	36.16	2,901.63	1,052.92	3,954.54
4Z-02		109.00	87.73	82.98	1,052.89	8,424.12	9,477.01
4Z-03		93.39	68.33	92.42	2,162.16	16,847.99	19,010.15
4Z-04		309.00	241.93	82.10	7,469.21	84,240.11	91,709.32
4Z-05		109.00	80.01	60.95	3,341.54	47,385.05	50,726.59
Roof	Roof	2,048.23	2,048.23	2.87	0.00	0.00	27.65

หมายเหตุ : บริเวณพื้นที่ 1Z-02, 1Z-03 และหลังคา ไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องคอมพิวเตอร์
จึงมีค่า Energy Consumption of Equipment เท่ากับ 0

ภาพที่ 4.29: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 2 มากรอกลงในโปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน



จากการนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 2 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เท่ากับ 69.962 W/m^2 และหลังคาของอาคาร (RTTV) เท่ากับ 2.87 W/m^2

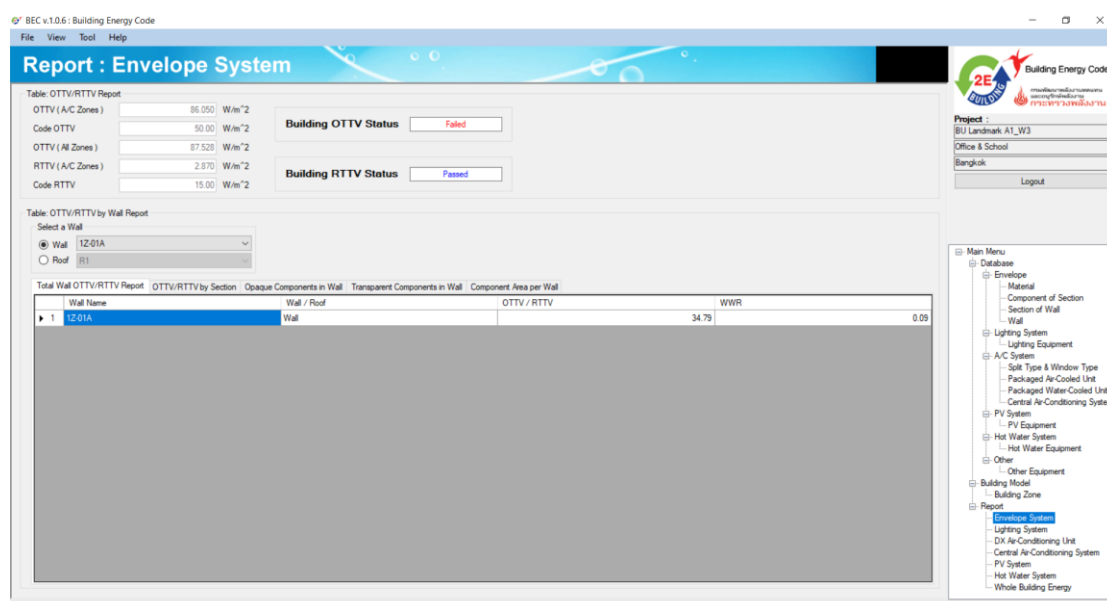
4.8.4 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 3 นำข้อมูลมากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และหลังคาของอาคาร (RTTV) ตามรายละเอียดตาราง

ตารางที่ 4.18: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 3

Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m ²)	Wall/ Roof Area (m ²)	OTTV/RTTV (W/m ²)	Energy Consumption of Lighting System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Equipment (kWhr/Year)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1Z-01	1	140.00	311.90	95.78	3,931.20	1,052.91	5,048.96
1Z-02		164.00	186.03	154.40	1,792.54	0.00	1,792.54
1Z-03		23.00	79.88	66.28	397.78	0.00	397.78
2Z-01	2	192.00	206.23	60.39	2,466.55	3,158.89	5,662.78
2Z-02		85.00	68.85	108.00	2,222.91	6,318.06	8,520.96
2Z-03		49.00	72.35	82.98	701.95	6,318.00	7,019.94
3Z-01	3	184.00	215.18	43.22	5,367.79	17,900.96	23,301.73
3Z-02		191.00	151.10	81.00	4,628.51	1,052.99	5,686.55
3Z-03		120.00	79.90	105.49	2,302.56	16,848.00	19,159.56
3Z-04		75.00	87.38	88.44	2,555.28	1,053.00	3,599.28
4Z-01	4	87.00	118.59	41.26	2,901.63	1,052.92	3,954.54
4Z-02		109.00	87.73	102.98	1,052.89	8,424.12	9,457.01
4Z-03		93.39	68.33	115.32	2,162.16	16,847.99	19,010.15
4Z-04		309.00	241.93	101.83	7,469.21	84,240.11	91,709.32
4Z-05		109.00	80.01	74.76	3,341.54	47,385.05	50,726.59
Roof	Roof	2,048.23	2,048.23	2.87	0.00	0.00	27.65

หมายเหตุ : บริเวณพื้นที่ 1Z-02, 1Z-03 และหลังคา ไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ จึงมีค่า Energy Consumption of Equipment เท่ากับ 0

ภาพที่ 4.30: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 3 มากรอกลงในโปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน



จากการนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 3 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เท่ากับ 86.05 W/m² และหลังคาของอาคาร (RTTV) เท่ากับ 2.87 W/m²

4.8.5 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 4 นำข้อมูลมากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และหลังคาของอาคาร (RTTV) ตามรายละเอียดตาราง

ตารางที่ 4.19: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 4

Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m ²)	Wall/ Roof Area (m ²)	OTTV/RTTV (W/m ²)	Energy Consumption of Lighting System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Equipment (kWhr/Year)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1Z-01	1	140.00	311.90	63.91	3,931.20	1,052.91	5,030.03
1Z-02		164.00	186.03	96.95	1,792.54	0.00	1,792.54
1Z-03		23.00	79.88	45.85	397.78	0.00	397.78
2Z-01	2	192.00	206.23	43.21	2,466.55	3,158.89	5,655.33
2Z-02		85.00	68.85	71.33	2,222.91	6,318.06	8,540.96
2Z-03		49.00	72.35	53.76	701.95	6,318.00	7,019.94
3Z-01	3	184.00	215.18	32.51	5,367.79	16,847.81	22,245.24
3Z-02		191.00	151.10	54.35	4,628.51	1,052.99	5,683.79
3Z-03		120.00	79.90	70.53	2,302.56	15,795.00	18,106.56
3Z-04		75.00	87.38	58.54	2,555.28	1,053.00	3,599.28
4Z-01	4	87.00	118.59	32.24	2,901.63	1,052.92	3,954.54
4Z-02		109.00	87.73	67.66	1,052.89	8,424.12	9,477.01
4Z-03		93.39	68.33	74.86	2,162.16	16,847.99	19,010.15
4Z-04		309.00	241.93	66.98	7,469.21	84,240.11	91,709.32
4Z-05		109.00	80.01	50.49	3,341.54	47,385.05	50,726.59
Roof	Roof	2,048.23	2,048.23	2.87	0.00	0.00	27.65

หมายเหตุ : บริเวณพื้นที่ 1Z-02, 1Z-03 และหลังคา ไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องคอมพิวเตอร์
จึงมีค่า Energy Consumption of Equipment เท่ากับ 0

ภาพที่ 4.31: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 4 มากรอกลงในโปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน

Report : Envelope System

Table: OTTV/RTTV Report

OTTV (A/C Zones)	57.658	W/m ²
Code OTTV	50.00	W/m ²
OTTV (All Zones)	58.585	W/m ²
RTTV (A/C Zones)	2.870	W/m ²
Code RTTV	15.00	W/m ²

Building OTTV Status: **Failed**

Building RTTV Status: **Passed**

Table: OTTV/RTTV by Wall Report

Select a Wall: **12-01A**

● Wall
○ Roof

Wall Name	OTTV/RTTV by Section	Opaque Components in Wall	Transparent Components in Wall	Component Area per Wall	OTTV / RTTV	WWR
1 12-01A	Wall				28.43	0.09

Project: BU Landmark A1_W4
Office & School
Bangkok
Logout

Main Menu:
Database
Envelope
Material
Component of Section
Section of Wall
Wall
Lighting System
Lighting Equipment
A/C System
Split Type & Window Type
Packaged Air-Cooled Unit
Packaged Water-Cooled Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
PV Equipment
Hot Water System
Hot Water Equipment
Other
Other Equipment
Building Model
Building Zone
Report
Envelope System
Lighting System
DX Air-Conditioning Unit
Central Air-Conditioning System
PV System
Hot Water System
Whole Building Energy

จากการนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 4 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เท่ากับ 57.658 W/m^2 และหลังคาของอาคาร (RTTV) เท่ากับ 2.87 W/m^2

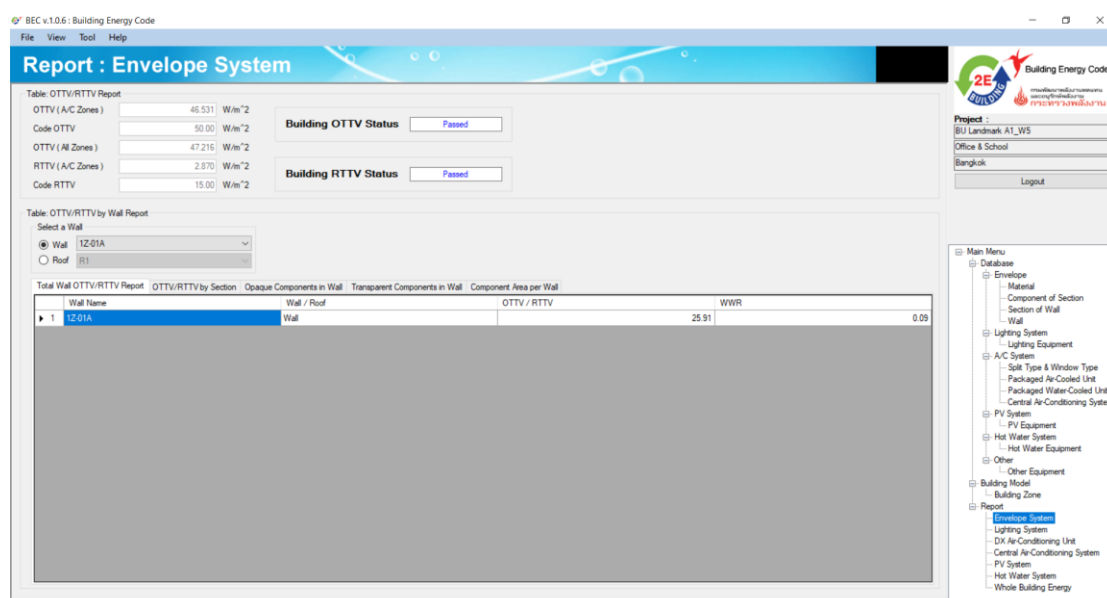
4.8.6 วัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 และกระจกชนิดที่ 5 นำข้อมูลมากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และหลังคาของอาคาร (RTTV) ตามรายละเอียดตาราง

ตารางที่ 4.20: แสดงรายละเอียดค่า OTTV, RTTV, Energy Consumption และ Total Energy Consumption ในแต่ละชั้นของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยเลือกใช้กระจกชนิดที่ 5

Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m ²)	Wall/ Roof Area (m ²)	OTTV/RTTV (W/m ²)	Energy Consumption of Lighting System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Equipment (kWhr/Year)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1Z-01	1	140.00	311.90	51.19	3,931.20	1,052.91	5,022.48
1Z-02		164.00	186.03	74.39	1,792.54	0.00	1,792.54
1Z-03		23.00	79.88	37.74	397.78	0.00	397.78
2Z-01	2	192.00	206.23	36.42	2,466.55	3,158.89	5,652.39
2Z-02		85.00	68.85	56.57	2,222.91	6,318.06	8,540.96
2Z-03		49.00	72.35	43.17	701.95	6,318.00	7,019.94
3Z-01	3	184.00	215.18	28.45	5,367.79	17,900.96	23,297.78
3Z-02		191.00	151.10	44.12	4,628.51	1,052.99	5,682.72
3Z-03		120.00	79.90	56.26	2,302.56	15,795.00	18,106.56
3Z-04		75.00	87.38	46.91	2,555.28	1,053.00	3,599.28
4Z-01	4	87.00	118.59	28.65	2,901.63	1,052.92	3,954.54
4Z-02		109.00	87.73	53.73	1,052.89	8,424.12	9,477.01
4Z-03		93.39	68.33	58.86	2,162.16	15,795.10	17,957.26
4Z-04		309.00	241.93	53.24	7,469.21	83,187.33	90,656.54
4Z-05		109.00	80.01	41.29	3,341.54	47,385.05	50,726.59
Roof	Roof	2,048.23	2,048.23	2.87	0.00	0.00	27.65

หมายเหตุ : บริเวณพื้นที่ 1Z-02, 1Z-03 และหลังคา ไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องคอมพิวเตอร์
จึงมีค่า Energy Consumption of Equipment เท่ากับ 0

ภาพที่ 4.32: แสดงการสรุปผล (Report) จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 5 มากรอกลงในโปรแกรมเพื่อจำลองการใช้พลังงาน



จากการนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน และข้อมูลของกระจกชนิดที่ 5 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เท่ากับ 46.531 W/m² และหลังคาของอาคาร (RTTV) เท่ากับ 2.87 W/m²

4.9 การประเมินอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพด้านพลังงาน

4.9.1 ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

จากการจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 272,030.14 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี ซึ่งต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิง ที่กำหนดให้ไม่เกิน 359,014.32 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ตารางที่ 4.21: แสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงกับ
อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ค่ามาตรฐาน ของอาคาร อ้างอิง (Reference Building)	ชนิดกระจก	อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (Evaluated Building)	ประเมินผล
359,014.32 kWh/year	กระจกลามิเนต (Laminated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. (กระจกที่ใช้อยู่ปัจจุบัน)	272,030.14 kWh/year	ผ่าน
359,014.32 kWh/year	กระจก SolarTAG Plus CS120 A/N #2 หนา 4 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. (กระจกชนิดที่ 1)	255,110.20 kWh/year	ผ่าน
359,014.32 kWh/year	กระจก CS130 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N 6 mm. (กระจกชนิดที่ 2)	254,040.52 kWh/year	ผ่าน
359,014.32 kWh/year	กระจก Stopray Smart51 A/N #2 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. (กระจกชนิดที่ 3)	255,072.26 kWh/year	ผ่าน
359,014.32 kWh/year	กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. A/N + PVB 0.38 mm. + Stopray Vision50 #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส	252,973.63 kWh/year	ผ่าน

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.21 (ต่อ): แสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิง
กับอาคาร

ค่ามาตรฐาน ของอาคาร อ้างอิง (Reference Building)	ชนิดกระจก	อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (Evaluated Building)	ประเมินผล
	Clear A/N หน้า 6 mm. (กระจก ชนิดที่ 4)		
359,014.32 kWh/year	กระจกใส Clear H/S หน้า 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หน้า 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หน้า 6 mm. (กระจก ชนิดที่ 5)	251,908.94 kWh/year	ผ่าน

ทั้งนี้ ในการประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา เพื่อเปรียบเทียบเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 ในส่วนของค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารพบว่าค่าการใช้พลังงานที่ได้จากโปรแกรมมีค่ามากกว่าการใช้พลังงานที่แท้จริง เนื่องจากโปรแกรมจะคำนวณจากการเปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศทั้งหมด ในขณะที่ในการใช้งานจริงจะใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพียงบางส่วนเท่านั้น

4.9.2 ผลลัพธ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) จากโปรแกรม BEC

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของกระจกปัจจุบัน และกระจกที่นำมาทดลองชนิดที่ 1 – 5 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ผลลัพธ์ปรากฏตามรายละเอียดดังตาราง ดังนี้

ตารางที่ 4.22: แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารตามเกณฑ์ใน
กฎกระทรวงฯ

ค่ามาตรฐาน การถ่ายเทความร้อนรวม ของอาคาร		ชนิดกระจก	อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	ประเมินผล
OTTV (W/m ²)	≤ 50	กระจกลามิเนต (Laminated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. (กระจกที่ใช้อยู่ปัจจุบัน)	145.86	ไม่ผ่าน
OTTV (W/m ²)	≤ 50	กระจก SolarTAG Plus CS120 A/N #2 หนา 4 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. (กระจกชนิดที่ 1)	81.529	ไม่ผ่าน
OTTV (W/m ²)	≤ 50	กระจก CS130 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N 6 mm. (กระจกชนิดที่ 2)	69.962	ไม่ผ่าน
OTTV (W/m ²)	≤ 50	กระจก Stopray Smart51 A/N #2 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจก ใส Clear A/N หนา 6 mm. (กระจกชนิดที่ 3)	86.05	ไม่ผ่าน

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.22 (ต่อ): แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารตามเกณฑ์ใน
กฎกระทรวงฯ

ค่ามาตรฐาน การถ่ายเทความร้อนรวม ของอาคาร		ชนิดกระจก	อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	ประเมินผล
OTTV (W/m ²)	≤ 50	กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. A/N + PVB 0.38 mm. + Stopray Vision50 #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. (กระจกชนิดที่ 4)	57.658	ไม่ผ่าน
OTTV (W/m ²)	≤ 50	กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. (กระจกชนิดที่ 5)	46.53	ผ่าน
RTTV (W/m ²)	≤ 15	หลังคา	2.87	ผ่าน

จากการนำข้อมูลของกระจกปัจจุบัน และกระจกที่นำมาทดลองชนิดที่ 1 – 5 มากรอกลงใน
โปรแกรม BEC v.1.0.6 และหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ผลลัพธ์ปรากฏ
ว่า กระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray
ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. มีค่าการ
ถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) เท่ากับ 46.53 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนด
ในกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการ
ออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

ในการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 พบว่า การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร มีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (มีค่าต่ำกว่า 359,014.32 kWh/year) รายละเอียดปรากฏตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 4.23: การสรุปผลการประเมินอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ด้านพลังงาน ก่อนและหลังการปรับปรุงผนังกระจก

ชนิดกระจก	พลังงานโดยรวมของอาคาร (kWh/year) (ต่ำกว่า 359,014.32 kWh/year)	ประเมินผล	OTTV (W/m ²) (เกณฑ์ต้องมีค่า ≤ 50)	ประเมินผลการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร
กระจกที่ใช้อยู่ปัจจุบัน	272,030.14	ผ่าน	145.86	ผ่าน
กระจกชนิดที่ 1	255,110.20	ผ่าน	81.529	ผ่าน
กระจกชนิดที่ 2	254,040.52	ผ่าน	69.962	ผ่าน
กระจกชนิดที่ 3	255,072.26	ผ่าน	86.05	ผ่าน
กระจกชนิดที่ 4	252,973.63	ผ่าน	57.658	ผ่าน
กระจกชนิดที่ 5	251,908.94	ผ่าน	46.53	ผ่าน

4.10 การปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนที่เป็นผนังกระจก

4.10.1 ด้านการลดพลังงาน

ในการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนที่เป็นผนังกระจก ผู้วิจัยเลือกใช้กระจกสองชั้นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้ในอาคารสูง โดยเลือกกระจกจำนวน 5 ชนิด มาทำการทดลอง โดยใส่ค่าเฉพาะต่าง ๆ ของกระจกแต่ละชนิดลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงฯ โดยกระจกเดิมมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) เท่ากับ 145.86 W/m²

ตารางที่ 4.24: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) หลังมีการปรับปรุงผนัง
โปร่งแสงด้วยกระจกที่นำมาทดลอง

ลำดับ	กระจกที่นำมาทดลอง	OTTV หลังปรับปรุง (W/m ²)	OTTV ที่ลดลง (W/m ²)
1.	กระจก SolarTAG Plus CS120 A/N #2 หนา 4 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. (กระจกชนิดที่ 1)	81.529	64.331
2.	กระจก CS130 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N 6 mm. (กระจกชนิดที่ 2)	69.962	75.898
3.	กระจก Stopray Smart51 A/N #2 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. (กระจกชนิดที่ 3)	86.05	59.81
4.	กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. A/N + PVB 0.38 mm. + Stopray Vision50 #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. (กระจกชนิดที่ 4)	57.658	88.202
5.	กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. (กระจกชนิดที่ 5)	46.531	99.329

หมายเหตุ : ค่า OTTV หลังปรับปรุงอาคาร มาจากการปรับปรุงผนังกระจกเพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงในส่วนของผนังทึบ

จากตารางที่ 4.24 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) หลังมีการปรับปรุงผนังโปร่งแสงด้วยกระจกที่นำมาทดลอง พบว่า กระจกชนิดที่ 1 มีค่า OTTV 81.529 W/m² และมีค่า OTTV ที่ลดลง 64.331 W/m², กระจกชนิดที่ 2 มีค่า OTTV 69.962 W/m² และมีค่า OTTV ที่ลดลง 75.898 W/m², กระจกชนิดที่ 3 มีค่า OTTV 86.05 W/m² และมีค่า OTTV ที่ลดลง 59.81 W/m², กระจกชนิดที่ 4 มีค่า OTTV 57.658 W/m² และมีค่า OTTV ที่ลดลง 88.202 W/m² และกระจกชนิดที่ 5 มีค่า OTTV 46.531 W/m² และมีค่า OTTV ที่ลดลง 99.329 W/m²

ดังนั้น กระจกที่นำมาทดลองกับอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ แล้วสามารถลดค่า OTTV จากเดิมที่มีค่า 145.86 W/m² ได้มากที่สุดคือ กระจกชนิดที่ 5 (กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm.) ซึ่งสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) จากเดิมได้ถึง 99.329 W/m²

4.10.2 ด้านการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้า

ในด้านการคำนวณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยกรุงเทพ ผู้วิจัยได้ขออนุเคราะห์ข้อมูลจากฝ่ายอาคาร มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ทำให้ทราบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคาร A1 คือ 96,692 kWh/year ซึ่งมีความแตกต่างจากค่าพลังงานโดยรวมของอาคารเมื่อคำนวณจากโปรแกรม BEC v.1.0.6 ที่คำนวณได้ 272,030.14 kWh/year เนื่องจากโปรแกรมจะคำนวณจากการเปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศทั้งหมด ในขณะที่ในการใช้งานจริงจะใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพียงบางส่วนเท่านั้น

เมื่อทำการทดลองโดยใส่ข้อมูลกระจกชนิดที่ 1 – 5 ลงในโปรแกรมแล้ว ทำให้ทราบผลการทดลองว่ากระจกแต่ละชนิดสามารถทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงจากเดิมแตกต่างกัน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ตามตารางที่ 38 จากนั้น นำค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (%) มาเปรียบเทียบกับปริมาณไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคาร คือ 96,692 kWh/year ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.25: ข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่ลดลงของกระจกชนิดต่าง ๆ

กระจก	ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง	ไฟฟ้าที่ลดได้(หน่วย)	ไฟฟ้าที่ลดเมื่อเทียบจากการใช้งานจริง (kWh/year)
กระจกชนิดที่ 1	6.22%	6,014.24	90,677.76
กระจกชนิดที่ 2	6.61%	6,391.34	90,300.66

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 4.25 (ต่อ): ข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่ลดลงของกระจกชนิดต่าง ๆ

กระจก	ปริมาณไฟฟ้า ที่ลดลง	ไฟฟ้าที่ลดได้(หน่วย)	ไฟฟ้าที่ลดเมื่อเทียบจากการ ใช้งานจริง (kWh/year)
กระจกชนิดที่ 3	6.23%	6,023.91	90,668.09
กระจกชนิดที่ 4	7.01%	6,778.11	89,913.89
กระจกชนิดที่ 5	7.40%	7,155.21	89,536.80

จากตารางที่ 4.25 แสดงถึงความสามารถในการลดค่าไฟฟ้าของกระจกแต่ละชนิดที่นำมาทดลอง ซึ่งกระจกชนิดที่ 1 สามารถทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง 6.22% ลดไฟฟ้าได้ 6,014.24 หน่วย, กระจกชนิดที่ 2 สามารถทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง 6.61% ลดไฟฟ้าได้ 6,391.34 หน่วย, กระจกชนิดที่ 3 สามารถทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง 6.23% ลดไฟฟ้าได้ 6,023.91 หน่วย, กระจกชนิดที่ 4 สามารถทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง 7.01% ลดไฟฟ้าได้ 6,778.11 หน่วย และกระจกชนิดที่ 5 สามารถทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง 7.40% ลดไฟฟ้าได้ 7,155.21 หน่วย โดยกระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลेट (กระจก Stopray ACE30T #4) สามารถลดปริมาณไฟฟ้าของอาคารสถานศึกษา A1 ได้มากที่สุด

4.11 การคำนวณค่าไฟฟ้าอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

4.11.1 การคำนวณค่าไฟฟ้าอาคารสถานศึกษา A1 ก่อนทำการปรับปรุง

ตารางที่ 4.26: แสดงรายการค่าไฟฟ้าอาคารสถานศึกษา A1 ก่อนทำการปรับปรุง

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
ปริมาณไฟฟ้า (หน่วย/ปี)	96,692
ค่าไฟฟ้า ^[1]	352,925.80
ค่า F_t ^[2]	14,813.21
ค่าบริการ ^[3]	3,746.88
ภาษีมูลค่าเพิ่ม (7%)	26004.01
รวมค่าไฟฟ้ายรายปี	397,489.91

หมายเหตุ: ^[1] อัตราค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยกรุงเทพประมาณ 3.5-3.8 บาทต่อหน่วย ในกรณีนี้คิดค่าไฟเฉลี่ยที่ 3.65 บาท

^[2] การศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า F_t เท่ากับ 0.1532 บาท/หน่วย คงที่ทั้ง 12 เดือน

^[3] ค่าบริการ เท่ากับ 312.24 บาท/เดือน หรือเท่ากับ 3,746.88 บาท/ปี

4.11.2 การคำนวณค่าไฟฟ้าอาคารสถานศึกษา A1 หลังทำการปรับปรุง

ในการพิจารณาค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ค่าไฟฟ้าฐาน สามารถคำนวณจาก (จำนวนพลังงานไฟฟ้า $\times$ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า) + ค่าบริการ = ค่าไฟฟ้าฐาน
2. ค่าไฟฟ้าผันแปร (F_t) สามารถคำนวณจาก จำนวนพลังงานไฟฟ้า $\times$ ค่า F_t = ค่าไฟฟ้าผันแปร
3. ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% สามารถคำนวณจาก (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร) $\times$ 7/100 = ภาษีมูลค่าเพิ่ม

ดังนั้น ค่าไฟฟ้ารวม คำนวณได้จาก ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร + ภาษีมูลค่าเพิ่ม

กระจกที่นำมาทดลองชนิดที่ 1 – 5 มีรายละเอียดค่าไฟฟ้ายปีตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.27: แสดงรายการค่าไฟฟ้าอาคารสถานศึกษา A1 หลังทำการปรับปรุง

กระจก	ปริมาณไฟฟ้า (หน่วย/ปี)	ค่าไฟฟ้า ^[1] (บาท)	ค่า F_t ^[2] (บาท)	ค่าบริการ ^[3] (บาท/ปี)	ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (บาท)	รวมค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)
ชนิดที่ 1	90,677.76	330,973.82	13,891.83	3,746.88	24402.88	373,015.41
ชนิดที่ 2	90,300.66	329,597.409	13,834.06	3,746.88	24302.48	371,480.83
ชนิดที่ 3	90,668.09	330,938.5285	13,890.35	3,746.88	24400.3	372,976.06
ชนิดที่ 4	89,913.89	328,185.6985	13,774.81	3,746.88	24199.52	369,906.90
ชนิดที่ 5	89,536.80	326,809.32	13,717.04	3,746.88	24099.13	368,372.36

หมายเหตุ: ^[1] อัตราค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยกรุงเทพประมาณ 3.5 - 3.8 บาทต่อหน่วย ในกรณีนี้คิดค่าไฟเฉลี่ยที่ 3.65 บาท

^[2] การศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า F_t เท่ากับ 0.1532 บาท/หน่วย คงที่ทั้ง 12 เดือน

^[3] ค่าบริการ เท่ากับ 312.24 บาท/เดือน หรือเท่ากับ 3,746.88 บาท/ปี

ตารางที่ 4.28: แสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าเมื่อเทียบจากการใช้งานจริง 96,692 kWh/year

กระจก	จำนวนพลังงานไฟฟ้า (kWh/year)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)
กระจกชนิดที่ 1	90,677.76	373,015.41	24,474.49
กระจกชนิดที่ 2	90,300.66	371,480.83	26,009.07
กระจกชนิดที่ 3	90,677.76	372,976.06	24,513.84
กระจกชนิดที่ 4	89,913.89	369,906.90	27,583.00
กระจกชนิดที่ 5	89,536.80	368,372.36	29,117.54

จากตารางที่ 4.28 แสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าเมื่อเทียบจากการใช้งานจริงของกระจกที่นำมาทดลองชนิดที่ 1 – 5 พบว่า กระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลेट (กระจก Stopray ACE30T #4) สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดถึง 29,117.54 บาท/ปี ซึ่งมากกว่ากระจกชนิดอื่นที่นำมาทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี ซึ่งใช้กระจกเป็นส่วนประกอบของผนังอาคารเป็นส่วนใหญ่ พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากวัสดุกรอบอาคารมีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ ส่งผลให้ความร้อนที่อยู่ภายนอกอาคารเข้าสู่อาคารและเป็นภาระของระบบปรับอากาศจำนวนมาก การปรับปรุงในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนที่เป็นผนังโปร่งแสงให้ผลออกมามีค่าการต้านทานความร้อนที่สูงขึ้น โดยการเลือกใช้วัสดุกระจกต่างชนิดกัน และคำนึงถึงปัจจัยด้านช่องว่างระหว่างกระจกอีกด้วย โดยนำข้อมูลของกระจกชนิดต่าง ๆ มาทำการทดลองผ่านโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อประเมินว่ากระจกชนิดใดเมื่อนำมาใช้กับอาคารกรณีศึกษา แล้วผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

ผนังกระจกของอาคารกรณีศึกษา คือกระจกลามิเนต หนา 8.38 mm. ที่ประกอบด้วยกระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. มีฟิล์ม PVB 0.38 และประกบด้วยกระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. โดยที่มีค่า U-value 5.14 watt/m^2 และค่า SHGC 0.77 ในการปรับปรุงเพื่อประหยัดพลังงาน จึงเลือกชนิดของกระจกที่มีค่า U-value และค่า SHGC ที่ต่ำลง เพื่อลดค่าการนำความร้อนที่ผ่านกระจกเข้าสู่ตัวอาคาร โดยกระจกที่เลือกนำมาทำการทดลองเป็นกระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงเหมาะสมกับการใช้ในอาคารขนาดใหญ่เท่านั้น โดยกระจกที่เลือกนำมาทดลอง ได้แก่

กระจกชนิดที่ 1 คือ กระจกลามิเนต (Laminated) ประกอบด้วย กระจก SolarTAG Plus CS120 A/N #2 หนา 4 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. โดยที่มีค่า U-value 5.14 watt/m^2 และค่า SHGC 0.37

กระจกชนิดที่ 2 คือ กระจกลามิเนต (Laminated) ประกอบด้วย กระจก SolarTAG Plus CS130 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 2.78 watt/m^2 และค่า SHGC 0.33

กระจกชนิดที่ 3 คือ กระจกลามิเนต (Laminated) ประกอบด้วย กระจก Stopray Smart51 A/N #2 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 5.00 watt/m^2 และค่า SHGC 0.40

กระจกชนิดที่ 4 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลเลท (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจก Stopray Vision50 A/N #4

หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 1.56 watt/m² และค่า SHGC 0.27

กระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลेट (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 1.62 watt/m² และค่า SHGC 0.20

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องกับกระจกสองชั้น และสำรวจศึกษาปัญหาความร้อนจากผนังกระจก และบริเวณที่มีสภาวะไม่สบายเพื่อออกแบบปรับปรุงกรอบอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงผนังโปร่งแสง เพื่อให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า กระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถช่วยลดการแผ่รังสีความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคารสถานศึกษา A1มหาวิทยาลัยกรุงเทพได้ แต่ควรคำนึงถึงความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ด้วย โดยรายละเอียดของผลสรุปจากการทดลอง มีดังต่อไปนี้

5.1 กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารผ่านเกณฑ์

กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลेट (กระจก Stopray ACE30T #4) เมื่อนำมาทดลองผ่านโปรแกรม BEC v.1.0.6 ของกระทรวงพลังงานแล้ว ปรากฏว่า กระจกดังกล่าวมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

ตารางที่ 5.1: สรุปผลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร
ผ่านโปรแกรม BEC v.1.0.6

กระจก	ค่าการใช้พลังงาน โดยรวมของอาคาร (kWh/year)	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV) (W/m ²)	ค่า OTTV ที่ลดลง (W/m ²)
กระจกเดิม	272,030.14 (ผ่าน)	145.86 (ไม่ผ่าน)	-
กระจกชนิดที่ 1	255,110.20 (ผ่าน)	81.529 (ไม่ผ่าน)	64.331
กระจกชนิดที่ 2	254,040.52 (ผ่าน)	69.962 (ไม่ผ่าน)	75.898
กระจกชนิดที่ 3	255,072.26 (ผ่าน)	86.05 (ไม่ผ่าน)	59.81
กระจกชนิดที่ 4	252,973.63 (ผ่าน)	57.658 (ไม่ผ่าน)	88.202
กระจกชนิดที่ 5	251,908.94 (ผ่าน)	46.53 (ผ่าน)	99.329

หมายเหตุ: ค่า OTTV หลังปรับปรุงอาคาร มาจากการปรับปรุงผนังกระจกเพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงส่วนของผนังทึบ

จากตารางที่ 5.1 พบว่ากระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลเลท (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยมีค่า U-value 1.62 watt/m² และค่า SHGC 0.20 เมื่อนำมาทดลองใช้เป็นผนังโปร่งแสงกับอาคาร A1 แล้ว ทำให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารผ่านเกณฑ์ที่กำหนดตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

ทั้งนี้ ในการประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา เพื่อเปรียบเทียบเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 ในส่วนของค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร พบว่าค่าการใช้พลังงานที่ได้จากโปรแกรมมีค่ามากกว่าการใช้พลังงานที่ใช้จริง เนื่องจากโปรแกรมจะคำนวณจากการเปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศทั้งหมด ในขณะที่ในการใช้งานจริงจะใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงคิดปริมาณไฟฟ้าที่ลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาคำนวณค่าไฟฟ้ารายปีต่อไป

5.2 กระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงที่นำมาทดลอง มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

5.2.1 ด้านการคำนวณค่าไฟฟ้าอาคาร A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ในปี พ.ศ. 2563 อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ มีข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 96,692 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี (อ้างอิงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร จากฝ่ายอาคาร มหาวิทยาลัยกรุงเทพ) และคิดค่าไฟฟ้ารายปีของอาคารสถานศึกษา A1 ก่อนทำการปรับปรุงรวม 397,489.91 บาท

ตารางที่ 5.2: สรุปค่าไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี หลังทำการปรับปรุงอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

กระจก	ปริมาณไฟฟ้า (หน่วย/ปี)	ค่าไฟฟ้าฐาน (บาท)	ค่าไฟฟ้าผันแปร (บาท)	ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (บาท)	รวมค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)
เดิม	96,692.00	356,672.68	14,813.21	26,004.01	397,489.91	-
ชนิดที่ 1	90,677.76	334,720.70	13,891.83	24,402.88	373,015.41	24,474.49
ชนิดที่ 2	90,300.66	333,344.29	13,834.06	24,302.48	371,480.83	26,009.07
ชนิดที่ 3	90,668.09	334,685.41	13,890.35	24,400.3	372,976.06	24,513.84
ชนิดที่ 4	89,913.89	331,932.58	13,774.81	24,199.52	369,906.90	27,583.00
ชนิดที่ 5	89,536.80	330,556.20	13,717.04	24,099.13	368,372.36	29,117.54

หมายเหตุ: อัตราค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยกรุงเทพประมาณ 3.5-3.8 บาทต่อหน่วย ในกรณีนี้คิดค่าไฟเฉลี่ยที่ 3.65 บาท โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า F_t เท่ากับ 0.1532 บาท/หน่วย คงที่ทั้ง 12 เดือน และมีค่าบริการ เท่ากับ 312.24 บาท/เดือน หรือเท่ากับ 3,746.88 บาท/ปี

5.2.2 ด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

อาคารสถานศึกษา A1 มีพื้นที่ที่เป็นผนังโปร่งแสงที่ต้องทำการปรับปรุง คิดเป็นพื้นที่ 906.03 ตร.ม. โดยในการทดลองจะนำกระจกชนิดต่างๆ มาคำนวณความคุ้มค่าด้านการลงทุน เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการปรับปรุงผนังกระจก

ตารางที่ 5.3: แสดงการคำนวณราคาการปรับปรุงผนังโปรงแสง

การปรับปรุงผนังโปรงแสง	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	ค่ารื้อถอนและ ค่าติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)	ราคาปรับปรุงรวม (บาท/ตร.ม.)
กระจกชนิดที่ 1	2096.77	365.00	2461.77
กระจกชนิดที่ 2	4354.84	725.00	5079.84
กระจกชนิดที่ 3	3387.10	510.00	3897.1
กระจกชนิดที่ 4	4784.95	725.00	5509.95
กระจกชนิดที่ 5	6989.25	725.00	7714.25

หมายเหตุ: รวมค่าติดตั้งและค่ารื้อถอนกระจก

ในการพิจารณาความคุ้มค่าทางการลงทุน ใช้วิธีคำนวณแบบระยะคืนทุน ดังนี้

$$\text{ระยะคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าปรับปรุง (บาท)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี)}}$$

ตารางที่ 5.4: แสดงความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจกอาคารแต่ละชนิด

ชนิดกระจก	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	ค่ารื้อถอนและ ค่าติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)	ค่าไฟฟ้าที่ ลดลง (บาท/ปี)	ค่าปรับปรุงรวม (บาท)	คืนทุน (ปี)
กระจกเดิม	1,800.00	365.00	-	1,961,554.95	-
กระจกชนิดที่ 1	2,098.96	365.00	24,474.49	2,232,423.97	91
กระจกชนิดที่ 2	4,359.38	725.00	26,009.07	4,606,604.18	177
กระจกชนิดที่ 3	3,390.63	510.00	24,513.84	3,534,089.41	144
กระจกชนิดที่ 4	4,789.94	725.00	27,583.00	4,996,701.21	181
กระจกชนิดที่ 5	6,996.54	725.00	29,117.54	6,995,948.49	240

จากตารางการคำนวณความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด การหาจำนวนปี
คุ้มค่า คำนวณได้จากการนำค่าปรับปรุงรวมมาหารด้วยค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี

นอกจากการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้านการลงทุนแล้ว ผู้วิจัยยังคำนึงถึงการ
คำนวณจุดคุ้มทุนในกรณีที่มีการประหยัดไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นต่อปี, วัสดุกระจกเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
มีราคาสูงขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย และเรื่องอัตราเงินเพื่อเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นต้น โดยแบ่งเป็นกรณีต่าง ๆ
มีรายละเอียดปรากฏตามตารางดังนี้

ตารางที่ 5.5: ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด กรณีที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2% ต่อปี

กระจก	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ฟ.)	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	ค่ารื้อถอนและ ค่าติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)	ค่าปรับปรุงรวม (บาท)	คุ้มค่า (ปี)
กระจกชนิดที่ 1	195.00	2,098.96	365.00	2,232,423.97	52
กระจกชนิดที่ 2	405.00	4,359.38	725.00	4,606,604.18	76
กระจกชนิดที่ 3	315.00	3,390.63	510.00	3,534,089.41	68
กระจกชนิดที่ 4	445.00	4,789.94	725.00	4,996,701.21	77
กระจกชนิดที่ 5	650.00	6,996.54	725.00	6,995,948.49	88

จากตารางที่ 5.5 การคำนวณความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด กรณีที่
ประหยัดไฟฟ้าได้ 2% ต่อปี คำนวณได้จาก ค่าไฟที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้นในแต่ละปีเท่ากับ 2% จะทำให้
สามารถคำนวณการประหยัดค่าไฟฟ้าสะสมได้เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนกระจกเดิม นำไปสู่
การคำนวณระยะคืนทุน

ตารางที่ 5.6: ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด กรณีที่เป็นการลงทุนเพิ่มเติม
เมื่อเทียบจากการใช้กระจกธรรมดา

ชนิดกระจก	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	ค่ารีดลอนและ ค่าติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)	ค่าไฟฟ้าที่ ลดลง (บาท/ปี)	ค่าปรับปรุง รวม (บาท)	คุ้มค่า (ปี)
กระจกชนิดที่ 1	2,098.96	365.00	24,474.49	270,869.02	11.1
กระจกชนิดที่ 2	4,359.38	725.00	26,009.07	2,645,049.23	101.7
กระจกชนิดที่ 3	3,390.63	510.00	24,513.84	1,572,534.46	64.1
กระจกชนิดที่ 4	4,789.94	725.00	27,583.00	3,035,146.26	110.0
กระจกชนิดที่ 5	6,996.54	725.00	29,117.54	5,034,393.54	172.9

จากตารางที่ 5.6 การคำนวณความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด ในกรณีที่เป็นการลงทุนเพิ่มเติมเมื่อเทียบจากการใช้กระจกธรรมดา คำนวณได้จากการนำค่าปรับปรุงที่มีการลงทุนเพิ่มเติม มาหารด้วยค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี

ตารางที่ 5.7: ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด กรณีราคาวัสดุกระจกเดิม
มากกว่า 1,800 บาท/ตร.ม. และมีการประหยัดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 ทุกปี

กระจก	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	ค่ารีดลอนและ ค่าติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)	ค่าปรับปรุงรวม (บาท)	ลงทุนเพิ่มเติม (บาท)	คุ้มค่า (ปี)
กระจกเดิม	1,900	365.00	2,052,157.95	-	-
กระจกชนิดที่ 1	2,098.96	365.00	2,232,423.97	180,266.02	5.00
กระจกชนิดที่ 2	4,359.38	725.00	4,606,604.18	2,554,446.23	24.00
กระจกชนิดที่ 3	3,390.63	510.00	3,534,089.41	1,481,931.46	20.00
กระจกชนิดที่ 4	4,789.94	725.00	4,996,701.21	2,944,543.26	25.00
กระจกชนิดที่ 5	6,996.54	725.00	6,995,948.49	4,943,790.54	30.00

จากตารางที่ 5.7 การคำนวณความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละชนิด ในกรณีที่ราคาวัสดุกระจกชนิดเดิมมีราคาสูงกว่า 1,800 บาท/ตร.ม. (กำหนดให้มีราคา 1,900 บาท/ตร.ม.) ประกอบกับมีการประหยัดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 ทุกปี คำนวณได้จากค่าไฟที่สามารถประหยัดได้ในแต่ละปี ปีละ 10% สะสม มาเทียบกับการลงทุนเพิ่มเติมเพื่อคำนวณหาจุดคุ้มทุน

จากตารางที่ 5.4 – 5.7 สรุปได้ว่า กระจกแต่ละชนิดมีระยะเวลาคู่ทุนแตกต่างกันเนื่องจากราคาของวัสดุกระจก โดยวัสดุที่มีคุณภาพสูงจะมีราคาสูงตามไปด้วย และในส่วนของค่าแรงติดตั้งและรื้อถอนกระจก จะมีค่าดำเนินการที่ขึ้นอยู่กับความหนาของกระจก อีกทั้ง ยังต้องคำนึงถึงค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี และค่าไฟที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยจากการคำนวณความคุ้มค่ากระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูเลต (กระจก Stopray ACE30T #4) ซึ่งสามารถทำให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารผ่านเกณฑ์ที่กำหนด มีระยะคุ้มทุนระหว่าง 30 - 240 ปี แล้วแต่กรณี

5.3 ห้องที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ Netatmo

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ Netatmo โดยวางอุปกรณ์ในชั้นที่ 2 - 4 ภายในอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งแต่วันที่ 12 มีนาคม 2564 ถึง 12 เมษายน 2564 รวมระยะเวลา 1 เดือน พบว่าห้องที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ ชั้นที่ 4 ศูนย์บ่มเพาะนักพัฒนาซอฟต์แวร์ Innovation โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 31.1 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.7 °C ซึ่งถือเป็นปัญหาของอาคารเนื่องจากทำให้มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

5.4 แนวทางการปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ในแต่ละกรณี มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5.8: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
กรณีใช้กระจกชนิดที่ 1 คือ กระจกลามิเนต (กระจก SolarTAG Plus CS120 A/N #2)

รายละเอียด	ผลที่ได้
1. ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร	81.529 kWh/year (ไม่ผ่าน) ค่า OTTV ลดลง 64.331 W/m ²
2. ค่าไฟฟ้ารายปี และค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	ค่าไฟฟ้า 373,015.41 บาท/ปี ค่าไฟฟ้าลดลง 24,474.49 บาท/ปี
3. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก	ค่าปรับปรุงรวม 2,232,423.97 บาท คุ้มค่า 91 ปี
4. คุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2% ต่อปี	ค่าปรับปรุงรวม 2,232,423.97 บาท คุ้มค่า 52 ปี
5. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีที่เป็นการลงทุนเพิ่มเติม	ค่าปรับปรุงรวม 270,869.02 บาท คุ้มค่า 11.1 ปี
6. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีราคาวัสดุกระจกเดิมสูงขึ้นเล็กน้อย และมีการประหยัดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 ทุกปี	ค่าปรับปรุงรวม 180,266.02 บาท คุ้มค่า 5 ปี

ตารางที่ 5.9: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
กรณีใช้กระจกชนิดที่ 2 คือ กระจกลามิเนต (กระจก SolarTAG Plus CS130)

รายละเอียด	ผลที่ได้
1. ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร	69.962 kWh/year (ไม่ผ่าน) ค่า OTTV ลดลง 75.898 W/m ²
2. ค่าไฟฟ้ารายปี และค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	ค่าไฟฟ้า 371,480.83 บาท/ปี ค่าไฟฟ้าลดลง 26,009.07 บาท/ปี

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 5.9 (ต่อ): สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
กรณีใช้กระจกชนิดที่ 2 คือ กระจกลามิเนต (กระจก SolarTAG Plus CS130)

รายละเอียด	ผลที่ได้
3. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก	ค่าปรับปรุงรวม 4,606,604.18 บาท คุ้มทุน 177 ปี
4. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2% ต่อปี	ค่าปรับปรุงรวม 4,606,604.18 บาท คุ้มทุน 76 ปี
5. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณี ที่เป็นการลงทุนเพิ่มเติม	ค่าปรับปรุงรวม 2,645,049.23 บาท คุ้มทุน 101.7 ปี
6. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณี ราคาวัสดุกระจกเดิมสูงขึ้นเล็กน้อย และมีการ ประหยัดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 ทุกปี	ค่าปรับปรุงรวม 2,554,446.23 บาท คุ้มทุน 24 ปี

ตารางที่ 5.10: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
กรณีใช้กระจกชนิดที่ 3 คือ กระจกลามิเนต (กระจก Stopray Smart51 A/N #2)

รายละเอียด	ผลที่ได้
1. ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร	86.05 kWh/year (ไม่ผ่าน) ค่า OTTV ลดลง 59.81 W/m ²
2. ค่าไฟฟ้ายears และค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	ค่าไฟฟ้า 372,976.06 บาท/ปี ค่าไฟฟ้าลดลง 24,513.84 บาท/ปี
3. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก	ค่าปรับปรุงรวม 3,534,089.41 บาท คุ้มทุน 144 ปี
4. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2% ต่อปี	ค่าปรับปรุงรวม 3,534,089.41 บาท คุ้มทุน 68 ปี
5. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณี ที่เป็นการลงทุนเพิ่มเติม	ค่าปรับปรุงรวม 1,572,534.46 บาท คุ้มทุน 64.1 ปี

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 5.10 (ต่อ): สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
กรณีใช้กระจกชนิดที่ 3 คือ กระจกลามิเนต (กระจก Stopray Smart51 A/N #2)

รายละเอียด	ผลที่ได้
6. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณี ราคาวัสดุกระจกเดิมสูงขึ้นเล็กน้อย และมีการ ประหยัดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 ทุกปี	ค่าปรับปรุงรวม 1,481,931.46 บาท คุ้มทุน 20 ปี

ตารางที่ 5.11: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
กรณีใช้กระจกชนิดที่ 4 คือ กระจกลามิเนต-อินซูเลท (กระจก Stopray Vision50
A/N #4)

รายละเอียด	ผลที่ได้
1. ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร	57.658 kWh/year (ไม่ผ่าน) ค่า OTTV ลดลง 88.202 W/m ²
2. ค่าไฟฟ้ารายปี และค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	ค่าไฟฟ้า 369,906.90 บาท/ปี ค่าไฟฟ้าลดลง 27,583.00 บาท/ปี
3. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก	ค่าปรับปรุงรวม 4,996,701.21 บาท คุ้มทุน 181 ปี
4. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2% ต่อปี	ค่าปรับปรุงรวม 4,996,701.21 บาท คุ้มทุน 77 ปี
5. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณี ที่เป็นการลงทุนเพิ่มเติม	ค่าปรับปรุงรวม 3,035,146.26 บาท คุ้มทุน 110 ปี
6. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณี ราคาวัสดุกระจกเดิมสูงขึ้นเล็กน้อย และมีการ ประหยัดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 ทุกปี	ค่าปรับปรุงรวม 2,944,543.26 บาท คุ้มทุน 25 ปี

ตารางที่ 5.12: สรุปแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
กรณีใช้กระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูเลท (กระจก Stopray ACE30T #4)

รายละเอียด	ผลที่ได้
1. ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร	46.53 kWh/year (ผ่าน) ค่า OTTV ลดลง 99.329 W/m ²
2. ค่าไฟฟ้ารายปี และค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	ค่าไฟฟ้า 368,372.36 บาท/ปี ค่าไฟฟ้าลดลง 29,117.54 บาท/ปี
3. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก	ค่าปรับปรุงรวม 6,995,948.49 บาท คุ้มทุน 240 ปี
4. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2% ต่อปี	ค่าปรับปรุงรวม 6,995,948.49 บาท คุ้มทุน 88 ปี
5. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีที่เป็นการลงทุนเพิ่มเติม	ค่าปรับปรุงรวม 5,034,393.54 บาท คุ้มทุน 172.9 ปี
6. ความคุ้มค่าในการปรับปรุงผนังกระจก กรณีราคาวัสดุกระจกเดิมสูงขึ้นเล็กน้อย และมีการประหยัดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 ทุกปี	ค่าปรับปรุงรวม 4,943,790.54 บาท คุ้มทุน 30 ปี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางปรับปรุงผนังกระจกของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ในกรณีที่คำนึงถึงค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี อีกทั้งค่าไฟฟ้าและอัตราเงินเฟ้อที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต ผู้วิจัยเสนอกระจกชนิดที่ 1 (กระจก SolarTAG Plus CS120 A/N #2) ซึ่งมีค่าปรับปรุงรวม 180,266.02 บาท และระยะคุ้มทุน 5 ปี ซึ่งคืนทุนเร็วที่สุด, อันดับที่ 2 คือ กระจกชนิดที่ 3 (กระจก Stopray Smart51 A/N #2) ซึ่งมีค่าปรับปรุงรวม 1,481,931.46 บาท และระยะคุ้มทุน 20 ปี, อันดับที่ 3 คือ กระจกชนิดที่ 2 (กระจก SolarTAG Plus CS130) ซึ่งมีค่าปรับปรุงรวม 2,554,446.23 บาท และระยะคุ้มทุน 24 ปี, อันดับที่ 4 คือ กระจกชนิดที่ 4 (กระจก Stopray Vision50 A/N #4) ซึ่งมีค่าปรับปรุงรวม 2,944,543.26 บาท คุ้มทุน 25 ปี และสุดท้ายอันดับที่ 5 คือ กระจกชนิดที่ 5 (กระจก Stopray ACE30T #4) ซึ่งมีค่าปรับปรุงรวม 4,943,790.54 บาท และระยะคุ้มทุน 30 ปี ซึ่งมีระยะคุ้มทุนนานที่สุด

อย่างไรก็ตาม ในอนาคตหากมีการปรับปรุงอาคารขนาดใหญ่ที่มีขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องปรับปรุงอาคารให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมตามที่กฎหมายกำหนดและบังคับใช้เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอเสนอกระจกชนิดที่ 5 (กระจก Stopray ACE30T #4) ซึ่งเป็นเพียงกระจกชนิดเดียวในบรรดากระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงที่นำมาทดลองทั้งหมด ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเกณฑ์ เป็นวัสดุในการปรับปรุงกรอบอาคารในภายภาคหน้าต่อไป

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 ด้านแนวทางการปรับปรุง

1. เมื่อนำกระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลเลท (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 1.62 watt/m^2 และค่า SHGC 0.20 มาทำการทดลองกับอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ผ่านโปรแกรม BEC v.1.0.6 แล้ว พบว่ากรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เท่ากับ 46.53 W/m^2 ซึ่งผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ กำหนดตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

2. แนวทางการปรับปรุงผนังกระจก ในแง่ของความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยกระจกแต่ละชนิดมีราคาวัสดุ และค่าแรงติดตั้งและรื้อถอนกระจกที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีระยะเวลาคุ้มทุนที่แตกต่างกันด้วย และในการคำนวณผู้วิจัยคำนึงถึงค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี และค่าไฟที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต จึงแบ่งการคำนวณออกเป็นแต่ละกรณี โดยจากการคำนวณความคุ้มค่ากระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลเลท (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 1.62 watt/m^2 และค่า SHGC 0.20 หากราคาวัสดุสูงกว่าที่กำหนดเล็กน้อย และอาคารลดการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 10 ทุกปี ประกอบกับค่าไฟฟ้าที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต จะทำให้อาคาร A1 มีระยะคืนทุนอยู่ที่ 30 ปี

3. จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ด้วยเครื่องมือ Netatmo ทำให้ทราบว่าทิศที่ทำให้อาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้นคือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และชั้นที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดของอาคารคือชั้น 4 โดยห้องที่อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 32.7°C โดยจากการเก็บข้อมูลในส่วนนี้ ทำให้ทราบส่วนที่เป็นปัญหาของอาคาร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความร้อนเข้ามาปริมาณมากทำให้เป็นภาระ

ต่อระบบปรับอากาศ ส่งผลให้การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารสูงขึ้น ข้อมูลส่วนนี้จะเป็นประโยชน์กรณีที่มีการปรับปรุงอาคารโดยพิจารณาปรับปรุงในส่วนที่เป็นปัญหาเฉพาะส่วน

5.5.2 ด้านการศึกษาวิจัยต่อไป

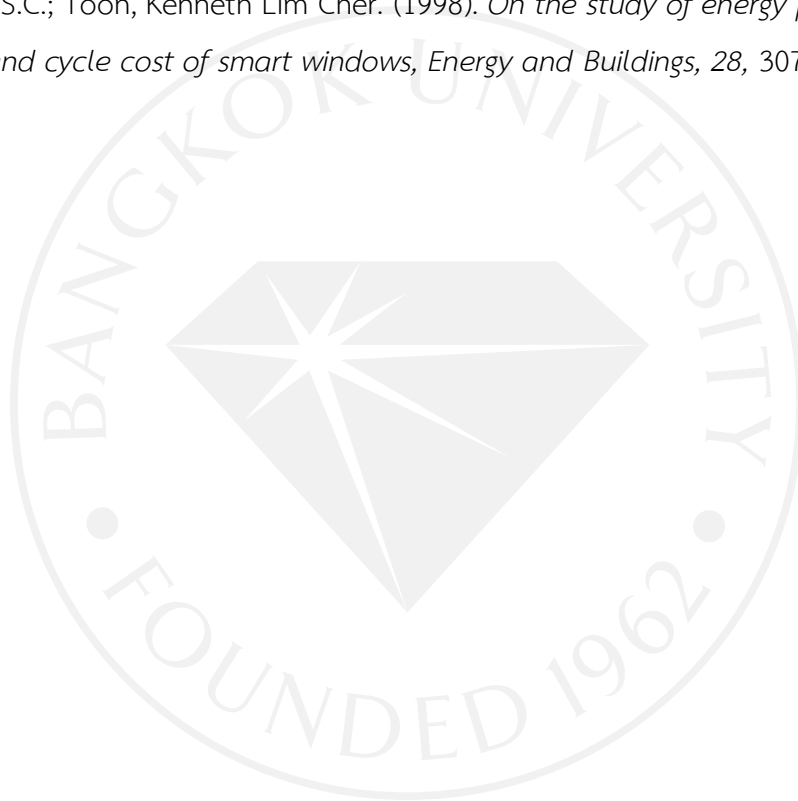
1. การคำนวณระยะคืนทุนหรือจุดคุ้มทุน ด้านราคาจริงของวัสดุกระจกและราคาค่าแรงในการติดตั้งกระจกอาจแตกต่างไปจากการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากราคาวัสดุที่ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ หรือการสั่งซื้อวัสดุในปริมาณมากอาจทำให้วัสดุมีราคาถูกลง
2. การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนที่เป็นผนังโปร่งแสง เพื่อลดภาระการใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศ ส่วนแนวทางในการลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น การลดการรั่วซึมของอากาศในห้องปรับอากาศ หรือการแยกอุปกรณ์ที่มีความร้อนออกจากพื้นที่ปรับอากาศ ก็จะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้เช่นกัน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาแนวทางปรับปรุงเหล่านี้ร่วมกับการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อให้อาคารมีการประหยัดพลังงานมากขึ้น
3. ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงผนังโปร่งแสงของอาคารกรณีศึกษา โดยนำข้อมูลกระจกสองชั้นที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะกับการใช้ในอาคารขนาดใหญ่ มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อหากระจกที่ทำให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎกระทรวงฯ กำหนดเท่านั้น ไม่ได้นำเรื่องของการลดสัดส่วนพื้นที่กระจก หรือการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง
4. ราคาวัสดุ และราคาค่าแรง ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มาจากการสอบถามราคาจากบริษัทผู้ผลิตและบริษัทที่รับติดตั้งกระจก ในช่วงปี พ.ศ. 2563 - 2564 ซึ่งในอนาคตอาจมีการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุให้มีความต้านทานความร้อนที่ดีขึ้น หรือมีการเปลี่ยนแปลงด้านราคา จึงควรมีการศึกษาผลการประหยัดพลังงานและความเหมาะสมด้านการลงทุนหรือความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

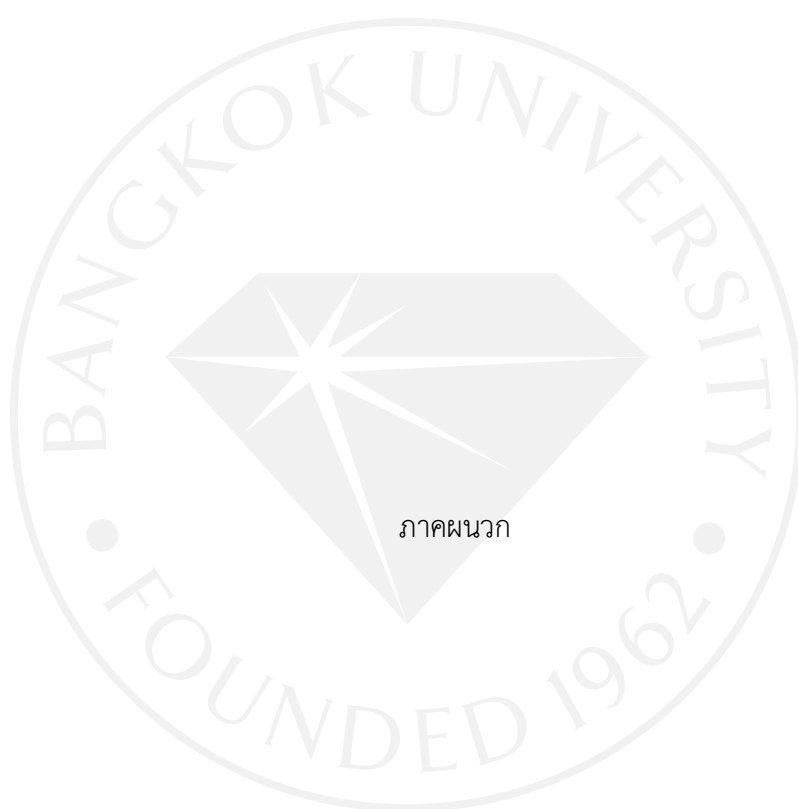
บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (2560). *คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2564 จาก <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/guidelinrBEC2017.pdf>
- กระทรวงพลังงาน ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (2557). *ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2564 จาก <http://www.2ebuilding.com/article.php?cat=knowledge&id=173>.
- กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2550). *กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการ ออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2564 จาก www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/704-act2550.
- กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2565). *โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร BEC v.1.0.6* จาก <http://mail.97qfm.com/article.php?cat=download&id=126>.
- กระทรวงพลังงาน สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน.(ม.ป.ป.). *หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าผลตอบแทน ทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 29 มกราคม 2565 จาก <http://www2.dede.go.th/webpage/frame.htm>
- กระทรวงมหาดไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง . (2562). *คู่มือการออกแบบอาคารภาครัฐ ที่จะก่อสร้างใหม่ให้เป็นอาคารเขียวภาครัฐ*. สืบค้นจาก www.yotathai.com/yotanews/g-goods-rv.
- พีระพงษ์ โมลิกา. (2546). *การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทหอสมุดในสถาบันการศึกษาเพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา: อาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.*
- สุรพล เดชพล. (2552). *แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานราชการ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*

- กุลวิษณุ นัยเพชร. (2558). ความคุ้มค่าในการลงทุนปรับปรุงอาคารพาณิชย์เก่าเขตพื้นที่ย่านธุรกิจ (CBD) ให้เป็นโฮมออฟฟิศเชิงอนุรักษ์พลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สุรพล เดชพล. (2552). แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานราชการ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดลยา ศิริปฐ. (2548). แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โสพิศ ชัยชนะ. (2558). แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สวิษฐา ดาวประกายมงคล. (2552). แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เชษฐพรรณ สันเจิมสิริ. (2552). ประสิทธิภาพของระบบผนังกระจกสองชั้นแบบใช้ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชยพล เพียรชอบธรรม. (2559). ประสิทธิภาพในการกักความร้อนของระบบผนังกระจกสองชั้นระบายอากาศด้วยวิธีกลพร้อมติดตั้งม่าน ในภูมิอากาศร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล. (2555). การศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนของอาคารในเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สิริพรรณ ภัสสัประเสริฐ. (2559). การศึกษาต้นทุน ผลประโยชน์ เศรษฐกิจสีเขียว กรณีศึกษากฎหมาย Green Building ในประเทศไทย. การค้นคว้าอิสระมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- นพรัตน์ คำพร. (2544). การศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาพร สกฤตพัฒนะ. (2550). การศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจกสองชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- Cordoba, Julia; Macias, Manuel; and Espionsa, J. Manuecl. (1998). *Study of the potential Saving energy demand and HVAC energy consumption by using coated glazing for office building in Madrid*, *Energy and Buildings*, 27, 13-19.
- Harrison, S.J.: And Dubraus., F.M. (1992). *Uncertainties in the Evaluation of Window SHGC. And U-Values Measured Using Indoor Solar Simulator Facility*, *ASHRAE Transactions*, 96, 947-953.
- Sckhar, S.C.; Toon, Kenneth Lim Cher. (1998). *On the study of energy performance and cycle cost of smart windows*, *Energy and Buildings*, 28, 307-316.







จากการนำข้อมูลวัสดุรวมถึงข้อมูลกระจกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของอาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และข้อมูลของกระจกสองชั้นที่นำมาทดลอง จำนวน 5 ชนิด มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เพื่อพิจารณาว่ากระจกชนิดใดมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎกระทรวงฯ กำหนด (ค่า OTTV ต่ำกว่า 50 W/m^2) โดยทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับปรุงผนังกระจกอาคาร ปรากฏรายละเอียดตามตารางดังนี้

ตารางที่ 5.13: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของอาคาร A1 เมื่อนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 ในปัจจุบัน มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ชั้น	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	OTTV (W/m^2)
2	326.00	347.43	123.79
3	570.00	533.56	116.76
4	707.39	596.59	149.13
ค่า OTTV (W/m^2) ของกรอบอาคารโดยใช้กระจกปัจจุบัน (ไม่ผ่าน)			145.86

ตารางที่ 5.14: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของอาคาร A1 เมื่อนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 เมื่อนำข้อมูลของกระจกชนิดที่ 1 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ชั้น	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	OTTV (W/m^2)
2	326.00	347.43	70.81
3	570.00	533.56	67.17
4	707.39	596.59	83.24
ค่า OTTV (W/m^2) ของกรอบอาคารโดยใช้กระจกชนิดที่ 1 (ไม่ผ่าน)			81.529

ตารางที่ 5.15: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของอาคาร A1 เมื่อนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 เมื่อนำข้อมูลของกระจกชนิดที่ 2 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ชั้น	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	OTTV (W/m ²)
2	326.00	347.43	61.17
3	570.00	533.56	58.17
4	707.39	596.59	71.44
ค่า OTTV (W/m ²) ของกรอบอาคารโดยใช้กระจกชนิดที่ 2 (ไม่ผ่าน)			69.962

ตารางที่ 5.16: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของอาคาร A1 เมื่อนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 เมื่อนำข้อมูลของกระจกชนิดที่ 3 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ชั้น	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	OTTV (W/m ²)
2	326.00	347.43	74.53
3	570.00	533.56	70.65
4	707.39	596.59	87.87
ค่า OTTV (W/m ²) ของกรอบอาคารโดยใช้กระจกชนิดที่ 3 (ไม่ผ่าน)			86.05

ตารางที่ 5.17: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของอาคาร A1 เมื่อนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 เมื่อนำข้อมูลของกระจกชนิดที่ 4 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ชั้น	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	OTTV (W/m ²)
2	326.00	347.43	50.98
3	570.00	533.56	48.65
4	707.39	596.59	58.86
ค่า OTTV (W/m ²) ของกรอบอาคารโดยใช้กระจกชนิดที่ 4 (ไม่ผ่าน)			57.658

ตารางที่ 5.18: แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ชั้นที่ 2 – 4 ของอาคาร A1 เมื่อนำข้อมูลวัสดุของอาคารสถานศึกษา A1 เมื่อนำข้อมูลของกระจกชนิดที่ 5 มากรอกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ชั้น	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	OTTV (W/m ²)
2	326.00	347.43	41.82
3	570.00	533.56	40.07
4	707.39	596.59	47.47
ค่า OTTV (W/m ²) ของกรอบอาคารโดยใช้กระจกชนิดที่ 5 (ผ่าน)			46.53

จากตารางที่ 5.13 – 5.18 สรุปได้ว่า ก่อนทำการปรับปรุงผนังกระจกอาคารค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) มีค่า 145.86 W/m² ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎกระทรวงฯ กำหนด (ค่า OTTV ต้องต่ำกว่า 50 W/m²) โดยชั้นที่ 4 มีค่า OTTV มากถึง 149.13 W/m² และหลังทำการปรับปรุงผนังกระจกอาคาร พบว่า

กระจกชนิดที่ 1 มีค่า OTTV เท่ากับ 81.529 W/m² โดยชั้นที่ 4 มีค่า OTTV มากถึง 83.24 W/m², กระจกชนิดที่ 2 มีค่า OTTV เท่ากับ 69.962 W/m² โดยชั้นที่ 4 มีค่า OTTV มากถึง 71.44 W/m², กระจกชนิดที่ 3 มีค่า OTTV เท่ากับ 86.05 W/m² โดยชั้นที่ 4 มีค่า OTTV มากถึง 87.87 W/m²,

กระจกชนิดที่ 4 มีค่า OTTV เท่ากับ 57.658 W/m^2 โดยชั้นที่ 4 มีค่า OTTV มากถึง 58.86 W/m^2
และกระจกชนิดที่ 5 มีค่า OTTV เท่ากับ 46.53 W/m^2 โดยชั้นที่ 4 มีค่า OTTV มากถึง 47.47 W/m^2



ภาคผนวก ข

รายละเอียดด้านราคาของกระจกที่นำมาทำการทดลองกับอาคารกรณีศึกษา



ในส่วน of ข้อมูลกระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงที่นำมาศึกษา ผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์ ข้อมูลจากบริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) (ข้อมูลเดือน มิถุนายน 2565) และราคาในการติดตั้งและรื้อถอนกระจก ผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากบริษัท กัมพูฮ้างส์ค้า กระจก จำกัด (ข้อมูลเดือน มิถุนายน 2565)

ข้อมูลกระจกสองชั้นประสิทธิภาพสูงที่นำมาทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กระจกชนิดที่ 1 คือ กระจกลามิเนต (Laminated) ประกอบด้วย กระจก SolarTAG Plus CS120 A/N #2 หนา 4 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 4 mm. โดยที่มีค่า U-value 5.14 watt/m^2 และค่า SHGC 0.37

กระจกชนิดที่ 2 คือ กระจกลามิเนต (Laminated) ประกอบด้วย กระจก SolarTAG Plus CS130 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 2.78 watt/m^2 และค่า SHGC 0.33

กระจกชนิดที่ 3 คือ กระจกลามิเนต (Laminated) ประกอบด้วย กระจก Stopray Smart51 A/N #2 หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 5.00 watt/m^2 และค่า SHGC 0.40

กระจกชนิดที่ 4 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลเลท (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. + PVB 0.38 mm. + กระจก Stopray Vision50 A/N #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 1.56 watt/m^2 และค่า SHGC 0.27

กระจกชนิดที่ 5 คือ กระจกลามิเนต-อินซูลเลท (Laminated Insulated) ประกอบด้วย กระจกใส Clear H/S หนา 6 mm. + PVB 1.52 mm. + กระจก Stopray ACE30T #4 หนา 6 mm. + Air Gap 12 mm. + กระจกใส Clear A/N หนา 6 mm. โดยที่มีค่า U-value 1.62 watt/m^2 และค่า SHGC 0.20

ตารางที่ 5.19: รายละเอียดด้านราคาของกระจกที่นำมาทำการทดลองกับอาคารกรณีศึกษา

ชนิดกระจก	ความหนา (mm.)	ค่า U-Value (W/m ² °C)	ค่า SHGC	ค่า VLT	ราคากระจก (บาท)/ตร.ฟ.
กระจกชนิดที่ 1	8.38	5.17	0.37	23	195
กระจกชนิดที่ 2	30.38	2.78	0.33	30	405
กระจกชนิดที่ 3	12.38	5.00	0.40	48	315
กระจกชนิดที่ 4	30.38	1.56	0.27	47	445
กระจกชนิดที่ 5	31.52	1.62	0.20	31	650

หมายเหตุ : ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุและราคากระจกมาจากบริษัท เอจีซี แพลทกลาส (ประเทศไทย)
จำกัด (มหาชน) (ข้อมูลเดือน มิถุนายน 2565)

ตารางที่ 5.20: แสดงข้อมูลราคาวัสดุกระจก และราคาค่าแรงของการเปลี่ยนกระจก

ชนิดกระจก	ราคากระจก (บาท)/ตร.ฟ.	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	ค่าติดตั้ง - รื้อถอน (บาท/ตร.ม.)
กระจกชนิดที่ 1	195	2,096.77	365.00
กระจกชนิดที่ 2	405	4,354.84	725.00
กระจกชนิดที่ 3	315	3,387.10	510.00
กระจกชนิดที่ 4	445	4,784.95	725.00
กระจกชนิดที่ 5	650	6,989.25	725.00

หมายเหตุ: ข้อมูลค่าติดตั้งและค่ารื้อถอนกระจกมาจากบริษัท กัมพูเฝ้ากระจก จำกัด (ข้อมูลเดือน
มิถุนายน 2565)

ประวัติเจ้าของผลงาน

ชื่อ-นามสกุล	วรัญญา มรรคนันท์
อีเมล	varunya.mukk@bumail.net, varunyamukkanun@gmail.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2562	ศึกษาต่อระดับปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาการจัดการออกแบบภายใน มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
พ.ศ. 2559	สำเร็จการศึกษานิเทศศาสตรบัณฑิต สาขาวิชานิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2559	สำเร็จการศึกษารัฐประศาสนศาสตรบัณฑิต โรงเรียนนายร้อยตำรวจ
ผลงานวิชาการ	การศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังกระจกสองชั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา : อาคารสถานศึกษา A1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ. งานประชุมวิชาการระดับชาติ BUILDING TECHNOLOGY ALLIANCE CONFERENCE ON ENERGY AND ENVIRONMENT 2022 ครั้งที่ 7 ประจำปี 2565 (17 th BTAC, 2022) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น