การปรับปรุงห้องเรียนชั้นมัธยมศึกษาตามมาตรฐานอาคารเขียว: กรณีศึกษาอาคารเรียนโรงเรียนนาคประสิทธิ์ จังหวัดนครปฐม

โดย
นางสาวสุพัตรา คุมพล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(ออกแบบสถาปัตยกรรม)
ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การปรับปรุงห้องเรียนชั้นมัธยมศึกษาตามมาตรฐานอาคารเขียว: กรณีศึกษาอาคารเรียนโรงเรียนนาคประสิทธิ์ จังหวัดนครปฐม

โดย
นางสาวสุพัตรา คุมพล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(ออกแบบสถาปัตยกรรม)
ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

OPTIMIZING THE DESIGN OF SECONDARY CLASSROOMS IN COMPLIANCE WITH GREEN BUILDING STANDARDS: A CASE STUDY OF NAKPRASITH SCHOOL, NAKHON PATHOM PROVINCE

By

MISS Supattra KUMPHOL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Architecture (Architecture)

Department of Architecture

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2021

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การปรับปรุงห้องเรียนชั้นมัธยมศึกษาตามมาตรฐานอาคารเขียว: กรณีศึกษาอาคารเรียนโรงเรียนนาคประสิทธิ์ จังหวัดนครปฐม
โดย	นางสาวสุพัตรา คุมพล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (ออกแบบสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

พิจารณาเห็นชอบโดย

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. นวลวรรณ ทวยเจริญ)

60054210 : สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(ออกแบบสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : โรงเรียน, แสงธรรมชาติ, การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร, ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก, ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

นางสาว สุพัตรา คุมพล: การปรับปรุงห้องเรียนชั้นมัธยมศึกษาตามมาตรฐานอาคารเขียว: กรณีศึกษาอาคารเรียนโรงเรียนนาคประสิทธิ์ จังหวัดนครปฐม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงอาคารเรียนมัธยมศึกษาโรงเรียนนาคประสิทธิ์ จังหวัดนครปฐม ให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จากการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารและมีความส่องสว่างตามมาตรฐานขั้นต่ำ การศึกษาปริมาณแสงสว่างทำโดยโปรแกรม Dialux Evo 9.2 และการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร (OTTV,RTTV) ทำโดยโปรแกรม BEC V.1.0.6 พบว่าการใช้กระจก LOW-E สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังด้านนอก (OTTV) ได้ดีที่สุดซึ่งลดได้ 44 % และการติดตั้งฉนวนใยแก้วใต้หลังคาสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (RTTV) ได้ดีที่สุด ลดได้ 64 %

การปรับปรุงด้านแสงสว่างโดยการทาสีขาวภายในห้องเรียนและการเลือกใช้เฟอร์นิเจอร์สีขาวสามารถทำได้กับห้องเรียนทุกรูปแบบเป็นวิธีที่ดีที่สุด สามารถเพิ่มปริมาณแสงสว่างธรรมชาติของห้องเรียนตามลำดับดังนี้ ห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ได้ 18% และการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 50% เพิ่มแสงสว่างได้ 96% ห้องเรียนรูปแบบที่ 2 การเพิ่มแสงสว่างธรรมชาติไม่แตกต่างจากสภาพอาคารเดิม แต่สามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้ และการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 30% สามารถเพิ่มปริมาณแสงสว่างได้ 26% ห้องเรียนรูปแบบที่ 3 การปรับปรุงทำให้ลดค่าความส่องสว่างลงจากเดิม 14% แต่การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ทั้งหมด สามารถเพิ่มปริมาณแสงสว่างได้ 49% และการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4 สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างโดยการใช้แสงสว่างธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 100% ได้เพียงวิธีเดียว ซึ่งเพิ่มได้ 100% ห้องเรียนที่ปรับปรุงมีขนาด 8x8 m ความสูง 3.5 m และลักษณะหน้าต่างใกล้เคียงกับแบบมาตรฐานอาคารเรียนโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน สามารถใช้เป็นแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับแบบอาคารเรียน 324 ล./55 ก. มาตรฐานของสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐานได้

60054210 : Major (Architecture)
Keyword : School, Natural light, Heat transfer, OTTV, RTTV

MISS SUPATTRA KUMPHOL : OPTIMIZING THE DESIGN OF SECONDARY CLASSROOMS IN COMPLIANCE WITH GREEN BUILDING STANDARDS: A CASE STUDY OF NAKPRASITH SCHOOL, NAKHON PATHOM PROVINCE THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR THARINEE RAMASOOT, Ph.D.

This research to propose renovation options for Nakprasith school in Nakhon Pathom Province for energy efficiency and lighting quality. The study of light and heat transfer through the building envelope was carried out using Dialux Evo 9.2 and BEC V.1.0.6 software. It was found that the proposed renovation options can use Low-E glass reduce heat transfer value well. The values of heat transfer through the wall and roof were reduced 44% and 64 % accordingly.

In term of lighting quality, the application of white paint on classroom walls and the use of white furniture can increase the illuminance level in classrooms significantly for Classroom 1, after the renovation, the amount of natural light is increased by 18% When natural light was combined with 50% artificial light, the amount of light is increase by 96% for classroom 2, the renovation does not increase the amount of natural light but when combined with artificial light, the illuminance is increased by 26% thus using only 30% of the current lighting load. For Classroom 3, the amount of light is reduced by 14% after the renovation for thermal performance but the lighting quantity when using artificial light is increased by 49%. For Classroom 4, where natural light is obstruced by adjacent building the renovation can increase the amount of light by 100% using artificial lighting 100% of the base case lighting load. The classrooms being studied measures 8.0*8.0*3.5 which represents the typical size of standard school classrooms. Therefore, the renovation options being explored in this study could be applicable for Office of Basic Education standard school building.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต อาจารย์ที่ปรึกษา และ รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวทางในการดำเนินการศึกษางานวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดจน ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ และขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจงสาร และรองศาสตราจารย์ ดร. นวลวรรณ ทวยเจริญ ที่สละเวลาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงเนื้อหาการเขียนวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ อาจารย์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ

ขอขอบคุณ นางสาวชนารดี สำเภาเงิน นางสาวธัญวรัตม์ ศิลวัฒนาวงศ์ และเพื่อนๆ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชาสถาปัตยกรรม (การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร) ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณ ผู้ที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่มีส่วนช่วยเหลือในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณตา เคลื่อน คุมพล, คุณยาย ฉวี คุมพล, คุณลุง พนภัสส์ คุมพล, คุณป้า รัตวนันท์ คุมพล, คุณแม่ สราญทิพย์ คุมพล, คุณน้า วาสนา คุมพล และนางสาววิรสวี คุมพล ที่ให้การสนับสนุน และคอยเป็นกำลังใจสำคัญให้ข้าพเจ้าตลอดมา

นางสาว สุพัตรา คุมพล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ทางการศึกษา 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา 2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุกรอบอาคารและคุณสมบัติด้านความร้อน 6

2.2 แนวคิด ทฤษฎีแสงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.3 กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 15

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 20

3.1 การศึกษาข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา 20

3.2 ขั้นตอนในการศึกษา 44

3.3 เครื่องมือในการศึกษา 56

3.4 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร 61
บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 70
4.1 ผลการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร 70
4.2 การศึกษาการปรับปรุงด้านแสงสว่างในอาคาร 82
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 130
5.1 สรุปผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารและแสงสว่างในอาคาร 130
5.2 อุปสรรคหรือข้อจำกัดในการศึกษา 135
5.3 ข้อเสนอแนะ 135
รายการอ้างอิง 138
ประวัติผู้เขียน 141

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแบบอาคารเรียน 324 ล./55 ก. กับแบบอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร 4

ตารางที่ 2 ตัวแปรที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV/RTTV) โดยวิเคราะห์จากสมการ 10

ตารางที่ 3 ระดับความส่องสว่างที่แนะนำ 11

ตารางที่ 4 ค่าการสะท้อนแสงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ต่างๆ 12

ตารางที่ 5 วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงต่างๆกัน 12

ตารางที่ 6 ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุของอาคารประเภทโรงเรียน 12

ตารางที่ 7 ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุในมาตรฐาน IES (David, 2011) 12

ตารางที่ 8 เกณฑ์การออกแบบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร 16

ตารางที่ 9 เกณฑ์การออกแบบค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด 16

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของแสงสว่าง 16

ตารางที่ 11 เกณฑ์คุณภาพแสงสว่างที่ต้องการ (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2016) 17

ตารางที่ 12 มาตรฐานแสงสว่าง IES Lighting Handbook 10th Edition 19

ตารางที่ 13 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 1 25

ตารางที่ 14 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 2 26

ตารางที่ 15 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 3 26

ตารางที่ 16 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 4 26

ตารางที่ 17 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 5 27

ตารางที่ 18 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 6 27

ตารางที่ 19 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 7 28

ตารางที่ 20 จำนวนผู้ใช้อาคารที่เป็นนักเรียน ปีการศึกษา 2562 33

ตารางที่ 21 จำนวนผู้ใช้อาคารที่เป็นบุคลากรปีการศึกษา 2562 33
ตารางที่ 22 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ 36
ตารางที่ 23 ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศ 37
ตารางที่ 24 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างแบ่งเป็นรายห้อง 41
ตารางที่ 25 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างแบ่งเป็นรายห้อง (ต่อ) 42
ตารางที่ 26 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างแบ่งเป็นรายชั้น 42
ตารางที่ 27 รายละเอียดเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ห้องต่างๆ 42
ตารางที่ 28 การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า 43
ตารางที่ 29 รายละเอียดการตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามการวัดในสถานการณ์จริง 46
ตารางที่ 30 รายละเอียดการตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามสภาพห้องเรียนจริง 47
ตารางที่ 31 ค่าทางสถิติของข้อมูลความส่องสว่างในช่วงเวลา 9.00-10.00 น. 51
ตารางที่ 32 ค่าทางสถิติของข้อมูลความส่องสว่างในช่วงเวลา 13.30-14.30 น. 52
ตารางที่ 33 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำผนังทึบ 62
ตารางที่ 34 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำผนังโปร่งแสง 62
ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่ผนังทึบของห้องปรับอากาศกับพื้นที่ผนังทั้งหมด 62
ตารางที่ 36 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV/RTTV) และอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR) 64
ตารางที่ 37 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์กันแดด 64
ตารางที่ 38 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำหลังคากระเบื้องลอนคู่ 65
ตารางที่ 39 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำหลังคาคอนกรีตปูกระเบื้อง 66
ตารางที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานสุทธิของอาคารอ้างอิงกับอาคารพิทักษ์สุนทร 66
ตารางที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของอาคารพิทักษ์สุนทรกับเกณฑ์ที่กำหนด 67

ตารางที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของอาคารอ้างอิงกับอาคารพิทักษ์สุนทร 67
ตารางที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของอาคารอ้างอิงกับอาคารพิทักษ์สุนทร 67
ตารางที่ 44 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารพิทักษ์สุนทร 68
ตารางที่ 45 ผลการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารด้วยโปรแกรม BEC V.1.0.6 70
ตารางที่ 46 ผลการเปลี่ยนรายละเอียดชนิดกระจกในโปรแกรม BEC V.1.0.6 72
ตารางที่ 47 ผลการจำลองการปรับปรุงอาคารในโปรแกรม BEC V.1.0.6 75
ตารางที่ 48 คุณสมบัติของวัสดุต้านทานความร้อน 79
ตารางที่ 49 ผลการจำลองการปรับปรุงหลังคาอาคารในโปรแกรม BEC V.1.0.6 79
ตารางที่ 50 รายละเอียดขนาดห้องแต่ละรูปแบบและจำนวนห้องเรียนในแต่ละชั้น 84
ตารางที่ 51 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง 86
ตารางที่ 52 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามสภาพห้องเรียนจริง 86
ตารางที่ 53 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 1 88
ตารางที่ 54 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุง 89
ตารางที่ 55 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุง 89
ตารางที่ 56 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างตามแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารครั้งที่ 1 90
ตารางที่ 57 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างตามแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารครั้งที่ 2 91
ตารางที่ 58 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างตามแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารครั้งที่ 3 94
ตารางที่ 59 กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความส่องสว่างห้องเรียนรูปแบบที่ 1 95
ตารางที่ 60 ผลการศึกษาการใช้แสงสว่างธรรมชาติร่วมกับการเปิดแสงประดิษฐ์ 50% 99
ตารางที่ 61 ผลการจำลองการศึกษาแสงในแนวตั้งของโต๊ะเรียน 100
ตารางที่ 62 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง 102
ตารางที่ 63 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง 102

ตารางที่ 64 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 2..... 104
ตารางที่ 65 การตั้งค่าในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน 105
ตารางที่ 66 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทาง การศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน 105
ตารางที่ 67 ผลการศึกษาความส่องสว่างหลังการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 2 107
ตารางที่ 68 กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความส่องสว่างห้องเรียนรูปแบบที่ 1 108
ตารางที่ 69 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง 109
ตารางที่ 70 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง 110
ตารางที่ 71 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 3..... 112
ตารางที่ 72 การตั้งค่าในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน 113
ตารางที่ 73 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทาง การศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน 113
ตารางที่ 74 ผลการศึกษาความส่องสว่างหลังการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 3 116
ตารางที่ 75 กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความส่องสว่างห้องเรียนรูปแบบที่ 1 116
ตารางที่ 76 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง 119
ตารางที่ 77 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง 119
ตารางที่ 78 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 4..... 121
ตารางที่ 79 การตั้งค่าในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน 122
ตารางที่ 80 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทาง การศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน 122
ตารางที่ 81 ผลการศึกษาความส่องสว่างหลังการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 4 124
ตารางที่ 82 กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความส่องสว่างห้องเรียนรูปแบบที่ 1 125

ตารางที่ 83 การตั้งค่าหลอดไฟที่ใช้ในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 126
ตารางที่ 84 การตั้งค่าในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 126
ตารางที่ 85 ผลการศึกษาการจำลองการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ทั้งหมด..... 128
ตารางที่ 86 สรุปผลการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารด้วยโปรแกรม BEC V.1.0.6..... 130
ตารางที่ 87 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานสุทธิของอาคารอ้างอิงกับอาคารพิทักษ์สุนทรก่อนและหลังการปรับปรุง..... 131
ตารางที่ 88 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเมื่อลดการใช้แสงประดิษฐ์..... 132
ตารางที่ 89 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอด LED..... 132

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 รูปตัวอย่างอาคารเรียนที่ก่อสร้างด้วยแบบ 324 ล./55 ก. 3

ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบขนาดของห้องเรียนของแบบอาคาร 324 ล./55 ก. กับอาคารพิทักษ์สุนทร 5

ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความสูงห้องเรียนของแบบอาคาร 324 ล./55 ก. กับแบบอาคารพิทักษ์สุนทร 5

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะอาคารกรณีตัวอย่างงานวิจัยของ (Chiradeja, 2019) 13

ภาพที่ 5 รูปโรงเรียนนาคประสิทธิ์ 20

ภาพที่ 6 ทิศเหนือ (ด้านหลังอาคาร) ติดกับ ถนนสามพราน ซอย 1 20

ภาพที่ 7 ทิศใต้ (ด้านหน้าอาคาร) ติดกับ ลานกิจกรรม 21

ภาพที่ 8 ทิศตะวันออก (ด้านข้างอาคาร) ติดกับ ทางออกของโรงเรียนนาคประสิทธิ์ 21

ภาพที่ 9 ทิศตะวันตก (ด้านข้างอาคาร) ติดกับ โรงอาหาร 21

ภาพที่ 10 ผังบริเวณอาคารพิทักษ์สุนทร โรงเรียนนาคประสิทธิ์ 22

ภาพที่ 11 ลักษณะภายนอกของอาคารพิทักษ์สุนทร 22

ภาพที่ 12 พื้นที่ปรับอากาศของผังพื้นชั้นที่ 1 23

ภาพที่ 13 พื้นที่ปรับอากาศของผังพื้นชั้นที่ 2 24

ภาพที่ 14 พื้นที่ปรับอากาศของผังพื้นชั้นที่ 3-6 24

ภาพที่ 15 พื้นที่ปรับอากาศของผังพื้นชั้นที่ 7 25

ภาพที่ 16 รูปตัด A 29

ภาพที่ 17 รูปตัด B 29

ภาพที่ 18 รูปด้าน 1 ทิศใต้ 30

ภาพที่ 19 รูปด้าน 2 ทิศตะวันออก 30

ภาพที่ 20 รูปด้าน 3 ทิศเหนือ 31

ภาพที่ 21 รูปด้าน 4 ทิศตะวันตก 31
ภาพที่ 22 ลักษณะภายนอกด้านทิศใต้ของอาคารพิทักษ์สุนทร 32
ภาพที่ 23 ลักษณะภายนอกด้านทิศเหนือของอาคารพิทักษ์สุนทร 32
ภาพที่ 24 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 1 34
ภาพที่ 25 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 2 34
ภาพที่ 26 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 3 35
ภาพที่ 27 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 4 35
ภาพที่ 28 ลักษณะการติดตั้งคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น 36
ภาพที่ 29 ตำแหน่งการติดตั้งคอยล์เย็นในห้องเรียน 36
ภาพที่ 30 ตำแหน่งการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง 38
ภาพที่ 31 ผังการจัดวางดวงโคมชั้นที่ 1 39
ภาพที่ 32 ผังการจัดวางดวงโคมชั้นที่ 2 39
ภาพที่ 33 ผังการจัดวางดวงโคมชั้นที่ 3-6 40
ภาพที่ 34 ผังการจัดวางดวงโคมชั้นที่ 7 40
ภาพที่ 35 แสดงการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า 43
ภาพที่ 36 แสดงตำแหน่งห้องที่นำมาจำลองเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง 45
ภาพที่ 37 ผลการวัดแสงด้วยเครื่องมือวัดแสงแบบพกพาเวลา 9.00-10.00 น. 45
ภาพที่ 38 ผลการวัดแสงด้วยเครื่องมือวัดแสงแบบพกพาเวลา 13.30-15.30 น. 46
ภาพที่ 39 ผลการจำลองแสงเวลา 9.30 น.ในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 48
ภาพที่ 40 ผลการจำลองแสงเวลา 14.00 น. ในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 49
ภาพที่ 41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดแสงสว่างด้วยเครื่องมือกับการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ที่เวลา 9.30 น. เดือนกรกฎาคม 51
ภาพที่ 42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดแสงสว่างด้วยเครื่องมือกับการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo ที่เวลา 14.00 น. เดือนกรกฎาคม 52

ภาพที่ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดแสงสว่างด้วยเครื่องมือกับการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ที่เวลา 9.30 น.และ 14.00 น. เดือนกรกฎาคม 53
ภาพที่ 44 ขั้นตอนก่อนการนำแบบจำลองแสงในอาคารมาใช้ในการศึกษา 54
ภาพที่ 45 สรุปขั้นตอนในการศึกษา 56
ภาพที่ 46 แสดงเครื่องมือวัดแสงลักซ์แบบพกพา รุ่น Testo 545 57
ภาพที่ 47 แสดงแบบบันทึกผลวัดแสงสว่าง 57
ภาพที่ 48 แสดงรูปถ่ายการบันทึกผลและวัดแสงสว่าง 58
ภาพที่ 49 แสดงเมนูหลักที่ใช้ป้อนข้อมูลอาคาร (ที่มา : โปรแกรม BEC V.1.0.6) 58
ภาพที่ 50 แสดงส่วนอธิบายรายลายละเอียดภายใน (ที่มา : โปรแกรม BEC V.1.0.6) 59
ภาพที่ 51 แสดงส่วนการประเมินผลการใช้พลังงาน (ที่มา : โปรแกรม BEC V.1.0.6) 60
ภาพที่ 52 แสดงโปรแกรม Dialux Evo 9.2 (ที่มา : โปรแกรม Dialux Evo 9.2) 60
ภาพที่ 53 แสดงลักษณะหน้าต่างและแผงกันแดดของอาคารพิทักษ์สุนทร 64
ภาพที่ 54 ผลการจำลองโปรแกรม V.1.0.6 เมื่อทาสีขาว 71
ภาพที่ 55 รายละเอียดการจำลองการเปลี่ยนเป็นกระจก (Low-E) 73
ภาพที่ 56 ผลการจำลองโปรแกรม V.1.0.6 เมื่อเปลี่ยนเป็นกระจก (Low-E) 74
ภาพที่ 57 บริเวณที่เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ด้านทิศเหนือ 74
ภาพที่ 58 บริเวณที่เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ด้านทิศใต้ 75
ภาพที่ 59 บริเวณที่เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ด้านทิศตะวันตก 75
ภาพที่ 60 ผลการจำลองโปรแกรม V.1.0.6 เมื่อทาสีขาวที่ผนังด้านนอกร่วมกับการเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E 77
ภาพที่ 61 รูปแบบหลังคาอาคารพิทักษ์สุนทร 78
ภาพที่ 62 บริเวณที่จำลองการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 80
ภาพที่ 63 รายละเอียดการจำลองการปรับปรุงหลังคากระเบื้องลอนคู่ 81
ภาพที่ 64 ผลการจำลองโปรแกรม V.1.0.6 เมื่อติดตั้งฉนวนใยแก้วร่วมกับการทาสีขาวที่หลังคา 81

ภาพที่ 65 สภาพแสงสว่างภายนอกอาคารด้านทิศใต้ 82
ภาพที่ 66 สภาพแสงสว่างภายนอกอาคารด้านทิศเหนือ 83
ภาพที่ 67 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 1 85
ภาพที่ 68 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 1 เวลา 10.30 น. วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2564 85
ภาพที่ 69 ผลการจำลองแสงภายในห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ก่อนการปรับปรุง 88
ภาพที่ 70 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเมื่อติดตั้งหน้าต่างที่ระดับต่างๆ 92
ภาพที่ 71 การเจาะช่องเปิดขนาด 1.00x3.00 m บริเวณทิศใต้ของอาคาร 92
ภาพที่ 72 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 1 หลังการปรับปรุงครั้งที่ 3 วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2563 เวลา 10.30 น. 93
ภาพที่ 73 ผลการจำลองแสงภายในห้องเรียนรูปแบบที่ 1 หลังการปรับปรุงครั้งที่ 3 93
ภาพที่ 74 มาตรฐานที่กำหนดภายในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 96
ภาพที่ 75 ผลการจำลองการใช้งานแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว 97
ภาพที่ 76 ลักษณะแสงสว่างหลังการปรับปรุงโดยใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 100% 97
ภาพที่ 77 ลักษณะแสงสว่างหลังการปรับปรุงโดยใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 50% 98
ภาพที่ 78 ผลการจำลองการใช้งานแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 50% 98
ภาพที่ 79 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 2 101
ภาพที่ 80 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 2 วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 101
ภาพที่ 81 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 2 ก่อนการปรับปรุง 104
ภาพที่ 82 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 2 หลังการปรับปรุง วันที่ 21 มีนาคม 106
ภาพที่ 83 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 2 หลังการปรับปรุง 107
ภาพที่ 84 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 3 109
ภาพที่ 85 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 3 วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 109
ภาพที่ 86 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 3 ก่อนการปรับปรุง 112

ภาพที่ 87 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 3 หลังการปรับปรุง เวลา 10.30 น. วันที่ 21 มีนาคม 2564 115
ภาพที่ 88 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 3 หลังการปรับปรุง 115
ภาพที่ 89 บริเวณโดยรอบห้องเรียนรูปแบบที่ 4 117
ภาพที่ 90 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 4 118
ภาพที่ 91 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 4 เวลา วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 118
ภาพที่ 92 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 4 ก่อนการปรับปรุง 121
ภาพที่ 93 ลักษณะแสงธรรมชาติวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2564 ตอน 10.30 น. หลังการปรับปรุงในห้องเรียนรูปแบบที่ 4 123
ภาพที่ 94 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 4 หลังการปรับปรุง 124
ภาพที่ 95 การจำลองสภาพแสงประดิษฐ์โดยโปรแกรม Dialux Evo 9.2 127
ภาพที่ 96 ลักษณะแสงสว่างหลังการปรับปรุงโดยใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ทั้งหมด วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 10.30 น. 127
ภาพที่ 97 ผลการศึกษาการจำลองการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ทั้งหมด 128

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบอาคารเรียนให้มีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ และคำนึงถึงสุขภาพของผู้ใช้มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานอาคาร แต่ปัจจุบันอาคารเรียนส่วนมากใช้แบบมาตรฐานของกระทรวงศึกษาและเป็นห้องปรับอากาศ ซึ่งไม่ได้ออกแบบมาเพื่อการปรับอากาศ ทำให้เมื่อมีการเรียนการสอนผู้ใช้งานจะปิดหน้าต่าง ปิดม่าน ปิดประตู เปิดไฟ และเปิดเครื่องปรับอากาศ ไม่คำนึงถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการออกแบบแสงสว่างที่เพียงพอสำหรับอาคารเรียน ซึ่งแสงสว่างมีความสำคัญอย่างมากต่อการเรียน การอ่านหนังสือ การทำงานศิลปะ และกิจกรรมต่างๆในห้องเรียน ถ้าหากห้องเรียนมีแสงสว่างน้อยเกินไป จะส่งผลเสียต่อดวงตา ทำให้ต้องใช้กล้ามเนื้อตาในการมองในระยะเวลาที่นาน ทำให้มีอาการปวดตา ปวดศีรษะ การมองเห็นแย่ลง ประสิทธิภาพในการเรียนลดน้อยลง หรือทำให้เกิดอุบัติเหตุระหว่างทำการทดลองในวิชาวิทยาศาสตร์ (โรงพยาบาลจะนะ, 2558)

วิทยานิพนธ์นี้ต้องการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารพิทักษ์สุนทร โรงเรียนนาคประสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาคารเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแบบอาคารเรียนมาตรฐาน จากการสอบถามผู้ใช้ภายในอาคารโดยผู้วิจัย พบว่าสภาพปัญหาคือห้องเรียนมีอากาศร้อน ทำให้แสงสว่างภายในห้องเรียนไม่เพียงพอ ทำให้นักเรียนต้องเพ่งสายตาเวลามองกระดานไวท์บอร์ด ซึ่งการปรับปรุงเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และคุณภาพแสงสว่างที่ดี โดยอ้างอิงมาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง Building Energy Code (BEC) ซึ่งเป็นข้อบังคับตามกฎหมายของอาคารในปัจจุบัน และคำแนะนำด้านมาตรฐานแสงสว่าง IES Lighting Handbook 10th Edition เพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับอาคารเรียนที่มีลักษณะแบบอาคารที่ใกล้เคียง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงอาคาร เพื่อให้ประหยัดพลังงานและแสงสว่างเพียงพอสำหรับการเรียน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ทางการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเรียนพิทักษ์สุนทรให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC)

1.2.2 เพื่อปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างให้เพียงพอสำหรับอาคารเรียน โดยพยายามใช้แสงจากธรรมชาติให้ได้มากที่สุด เพื่อลดความต้องการใช้แสงประดิษฐ์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

อาคารเรียนพิทักษ์สุนทรสามารถปรับปรุงให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงรายระบบ (BEC) ได้โดยที่ยังคงคุณภาพแสงสว่าง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาการปรับปรุงเฉพาะอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร โรงเรียนนาคประสิทธิ์ 7 ชั้น มีจำนวนห้องเรียนประมาณ 41 ห้อง และมีจำนวนที่นั่งห้องละ 36-50 ที่นั่ง ห้องเรียนสูง 3.50 m เป็นโครงการที่มีการก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ และมีการใช้งานในปัจจุบัน

1.4.2 ประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเมินโดยเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC)

1.4.3 คุณภาพแสงสว่างที่ดีในอาคารประเมินโดยมาตรฐานแสงสว่าง (IES) ได้แก่ การออกแบบสภาพแสง (Visual Lighting Design) ซึ่งเป็นเกณฑ์บังคับ เกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย และผ่านกฎกระทรวงฉบับที่ 39 พ.ศ.2537

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลศึกษาแบบอาคารเรียนและกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน เช่น เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) หลักเกณฑ์ในการออกแบบระบบกรอบอาคาร และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

1.5.2 ศึกษาประสิทธิภาพพลังงานของอาคารเรียนในปัจจุบัน โดยการจำลองโปรแกรม BEC V.1.0.6

1.5.3 ศึกษาคุณภาพแสงสว่างของอาคารโดยการวัด การถ่ายภาพ และการจดบันทึก

1.5.4 วิเคราะห์ปัญหากรอบอาคาร และแนวทางการปรับปรุงที่ไม่ส่งผลเสียด้านคุณภาพแสงสว่าง และปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) โดยวิธีการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม BEC V.1.0.6

1.5.5 วิเคราะห์ปัญหาแสงสว่างและศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างโดยการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Dialux Evo 9.2

1.5.6 สรุปผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคาร และอภิปรายผล

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารเรียนเก่า ให้เป็นอาคารที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC)

1.8.2 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพแสง ของแบบอาคารเรียน 324 ล./55 ก. มาตรฐานของสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐาน ปัจจุบันโรงเรียนที่อยู่ภายใต้การดูแลของภาครัฐ มีการนำแบบอาคารเรียน 324 ล./55 ก. มาใช้ก่อสร้างโดยลักษณะเป็นอาคาร 4 ชั้น ใต้ถุนโล่ง มูลค่าการก่อสร้างประมาณ 23,000,000 - 27,900,000 บาท จากการศึกษาแบบอาคารเรียน 324 ล./55 ก. พบว่า ขนาดห้องเรียน ความสูง และขนาดช่องเปิดมีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร แต่อาจจะแตกต่างกันตามทิศทางการวางตัวของอาคาร ทำให้การศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร สามารถนำแนวทางการปรับปรุงมาประยุกต์ใช้กับอาคารเรียนของภาครัฐได้

1)

2)

3)

4)

ภาพที่ 1 รูปตัวอย่างอาคารเรียนที่ก่อสร้างด้วยแบบ 324 ล./55 ก.

1) อาคารของโรงเรียนบดินทรเดชา 4 ปีที่สร้างเสร็จ 2559

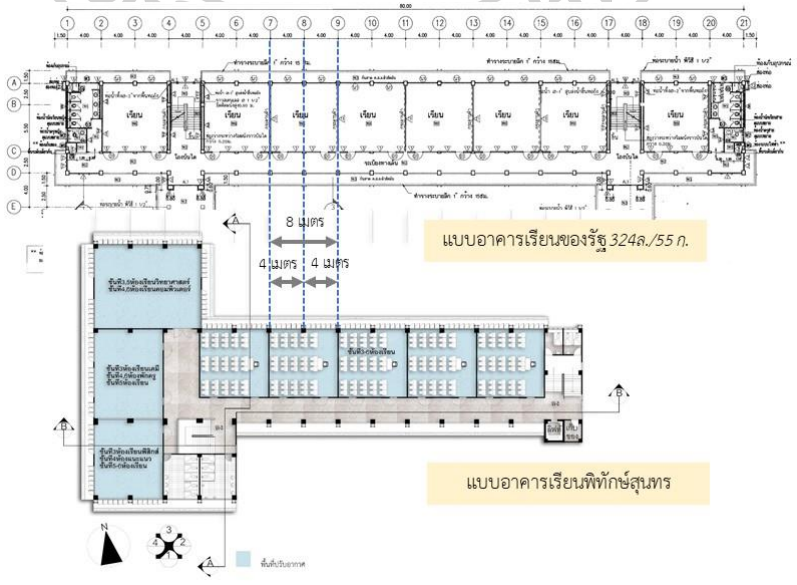
2) อาคารของโรงเรียนสุรธรรมพิทักษ์ ปีที่สร้างเสร็จ 2561

3) อาคารของโรงเรียนสตรีประเสริฐศิลป์ ปีที่สร้างเสร็จ 2561

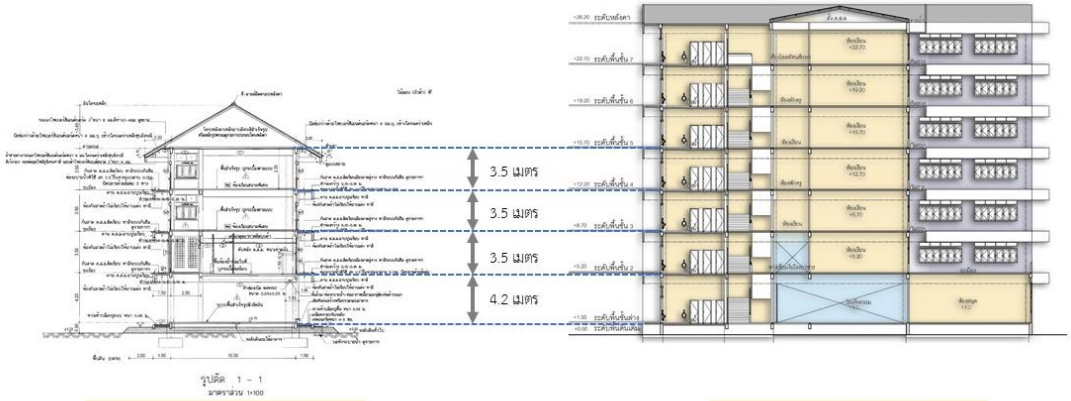
4) อาคารของโรงเรียนสายธรรมจันทร์ ปีที่สร้างเสร็จ 2562

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแบบอาคารเรียน 324 ล./55 ก. กับแบบอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร

ลักษณะทางกายภาพ	แบบอาคารเรียน 324 ล./55 ก.	แบบอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร
1) ขนาดห้องเรียน	กว้าง 8 m ,ยาว 8 m	กว้าง 8 m ,ยาว 8 m
2) ความสูงห้องเรียน	3.5 m	3.5 m
3) ลักษณะและขนาดช่องเปิด	ช่องเปิดด้านเดียว สูงจากพื้น 0.9 m ความสูงช่องเปิดประมาณ 1.15 m ความสูงช่องแสงด้านบน 0.8 m	ช่องเปิดด้านเดียว สูงจากพื้น 0.9 m ความสูงช่องเปิดประมาณ 1.2 m ความสูงช่องแสงด้านบน 0.8 m
4) ชนิดกระจกที่ใช้	กระจกสีเขียวน้ำทะเล หนา 5 mm ค่าการส่องผ่านของแสง (VT) 0.78	กระจกใส หนา 4 mm ค่าการส่องผ่านของแสง (VT) 0.89



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบขนาดของห้องเรียนของแบบอาคาร 324 ล./55 ก. กับอาคารพิทักษ์สุนทร



แบบอาคารเรียนของรัฐ *324ล./55 ก.*

แบบอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร

ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความสูงห้องเรียนของแบบอาคาร 324 ล./55 ก. กับแบบอาคารพิทักษ์สุนทร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบอาคารสถานศึกษามีความสำคัญ เนื่องจากมีผู้ใช้งานประจำและใช้งานระยะเวลานาน จึงต้องออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานและคุณภาพแสงสว่างที่ดี เพื่อประหยัดค่าใช้ไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ เพื่อสุขภาพสายตาที่ดี และการเรียนที่ได้ประสิทธิภาพที่ดี จากการศึกษางานวิจัยเรื่องการศึกษาระดับความเข้มแสงสว่างในห้องเรียน และลักษณะทางกายภาพของห้องที่มีผลต่อความรู้สึกเมื่อยล้าทางสายตาของนักเรียน พบว่า แสงสว่างมีส่วนเกี่ยวข้องกับสุขภาพสายตา ถ้าแสงสว่างน้อย หรือมากเกินไปกล้ามเนื้อตาต้องทำงานหนัก ทำให้เกิดปัญหาทางสายตาขึ้น (ปัทมพร กิตติก้อง, 2560) และจากการศึกษาหลักการบริหารจัดการชั้นเรียน (พวงรัตน์ เกษรแพทย์) ได้ระบุไว้ว่าอากาศภายในห้องเรียนต้องสบายไม่ร้อนจนทำให้ผู้เรียนเสียสมาธิ ซึ่งแนวทางการออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าต้องสัมพันธ์กับทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุกรอบอาคารและคุณสมบัติด้านความร้อน

2.1.1 ตัวแปรที่มีอิทธิผลต่อความร้อนในอาคาร

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient U value ; U) คือ ปริมาณความร้อนภายนอกที่ไหลผ่านฟิล์มอากาศด้านนอกมาถึงฟิล์มอากาศด้านใน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส (W/ $m^2 \cdot {}^\circ C$)

2) ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance ; R value) คือ ค่าความความต้านทานความร้อนของวัสดุใด ๆ มีหน่วยเปนตารางเมตร - องศาเซลเซียสตอวัตต (($m^2 \cdot {}^\circ C$)/W)

3) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity ; k) คือ ค่าคงที่ของวัสดุ ที่บอกถึงความสามารถโดยการยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามาต่อหนึ่งหน่วยมาตรฐาน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส (W/m $\cdot {}^\circ C$)

4) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณบังแดด (Shading Coefficient ; SC) คือ อัตราส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดต่อรังสีทั้งหมดไปตกกระทบยังกระจก

5) คาสัมประสิทธิ์การถายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient ; SHGC) เป็นค่าความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ในลักษณะคลื่น และเมื่อคลื่นมากระทบกระจก กระจกจะยอมให้คลื่นความร้อนผ่านกระจกได้กี่เปอร์เซ็นต์

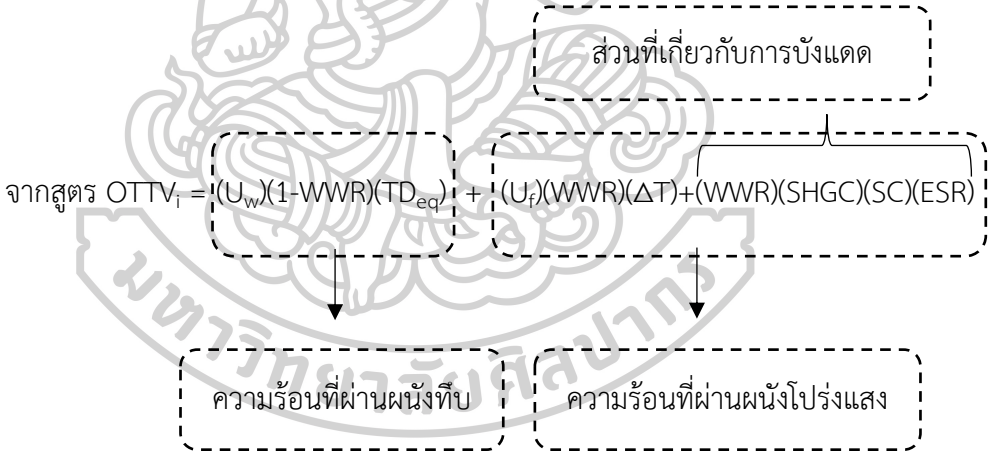
6) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value ; OTTV) คือ ดัชนีที่แสดงค่าความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของกรอบอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

7) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value ; RTTV) คือ ดัชนีที่แสดงค่าความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของหลังคาอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

2.1.2 สมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV,RTTV)

ในประเทศไทยได้มีการกำหนดอาคารควบคุมให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) เพราะฉะนั้นการออกแบบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิในอาคารจึงจำเป็นจะต้องคำนึงถึงสิ่งที่อาจมีผลกับความร้อนในอาคาร สามารถศึกษาได้จากสมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1) สมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$)



เมื่อ

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา, W/m^2

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ, $W/m^2{\cdot}°C$

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, °C

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบแสง, W/m^2

2) สมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) รวมกันให้คำนวณจากสมการดังนี้ (OTTV)

จากสูตร $OTTV = \dfrac{(A_{w1})(OTTV_1)+(A_{w2})(OTTV_2)+\cdots+(A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1}+A_{w2}+\cdots+A_{wi}}$

เมื่อ

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

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

2.1.3 สมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_i$)

จากสูตร $RTTV_i = (Ur)(1-SRR)(TDeq) + (Us)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR)$

- (Ur)(1-SRR)(TDeq) → ความร้อนที่ผ่านหลังคา
- (Us)(SRR)(Δ T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) → ความร้อนที่ผ่านช่องรับแสง

เมื่อ

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา, W/m^2

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Temperature Different Equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, ℃

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง, $W/m^2 \cdot ℃$

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ รังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน หรือปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบแสง, W/m^2 (กระทรวงพลังงาน, 2553)

2.1.4 สมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

จากสูตร $RTTV = \dfrac{(A_{w1})\,(RTTV_1)+(A_{w2})(RTTV_2)+\cdots+(A_{wi})(RTTV_i)}{A_{w1+}A_{w2}+\cdots+A_{wi}}$

เมื่อ

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

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

2.1.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการถายเทความรอนรวมของกรอบอาคาร (OTTV,RTTV)

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงจำเป็นจะต้องคำนึงถึงตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิในอาคาร เพื่อนำมาพิจารณาในการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับส่วนประกอบต่างๆของอาคาร ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV/RTTV) โดยวิเคราะห์จากสมการ

ส่วนประกอบ	แสดงตัวแปรที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV/RTTV)
ผนังทึบ	ควรมีค่าการถ่ายเทความร้อน (U_w) ต่ำ ควรมีค่าความต้านทาน (R) สูง ควรมีค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) สูง
ผนังโปร่งแสง	ควรมีค่าการถ่ายเทความร้อน (U_f) ต่ำ ควรมีค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง (SHGC) ต่ำ ควรมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ต่ำ
หลังคาส่วนทึบ	ควรมีค่าการถ่ายเทความร้อน (U_r) ต่ำ ควรมีค่าความต้านทาน (R) สูง
หลังคาส่วนโปร่งแสง	ควรมีค่าการถ่ายเทความร้อน (U_s) ต่ำ ควรมีค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง (SHGC) ต่ำ ควรมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ต่ำ

2.2 แนวคิด ทฤษฎีแสงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แนวคิด ทฤษฎีแสงที่เกี่ยวข้อง

แสงธรรมชาติ (Daylight) คือ แสงจากดวงอาทิตย์ซึ่งมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Sunlight) คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังผิวโลกเป็นเส้นตรง และแสงกระจายจากท้องฟ้า (Skylight) คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่มีการกระเจิงเนื่องจากเคลื่อนที่ผ่านฝุ่นละอองเมฆ ทำให้มีทิศทางไม่แน่นอน โดยรังสีส่วนหนึ่งกระจายตกกระทบมายังผิวโลก (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2559) ในงานวิจัยนี้ได้จำลองแสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ โดยอ้างอิงจากสภาพท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear Sky)

ความส่องสว่าง (Illuminance) คือ ปริมาณของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ต่อตารางเมตร มีหน่วยเป็น Lux ความส่องสว่างมีผลต่อการรับรู้พื้นที่ต่างๆ เช่น พื้นที่ทำงาน พื้นที่ใกล้ชิดโดยรอบ และพื้นที่พื้นหลัง ต้องมีการออกแบบที่มีระดับความสว่างที่เหมาะสมและสัมพันธ์กัน เพื่อคุณภาพแสงสว่างที่ดี และยังเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การกำหนดค่าความส่องสว่างขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน ซึ่งพื้นที่การทำงานอาจอยู่ในแนวระนาบ แนวตั้ง หรือแนวเอียง (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2559)

ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Illuminance uniformity ; U_o) คือ อัตราส่วนระหว่างความส่องสว่างต่ำสุดบนพื้นผิวต่อความส่องสว่างเฉลี่ยของทั้งพื้นผิว

การกระจายแสงสว่าง (Luminance Distribution) คือ การกระจายของแสงเมื่อกระทบถูกผิวของตัวกลาง เช่น การกระจายความสว่างบนพื้นผิวต่างๆภายในอาคาร ซึ่งเราใช้ประโยชน์จากการกระจายตัวของลำแสงเมื่อกระทบตัวกลาง ทำให้การมองเห็นมีประสิทธิภาพและเกิดความสบายตา โดยต้องอาศัยความส่องสว่างบนพื้นผิวและความสม่ำเสมอของแสงที่เหมาะสมตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความส่องสว่างที่แนะนำ

พื้นผิว	ความส่องสว่างบนพื้นผิวต่างๆ
เพดาน	$\bar{E}m \geq 30$ ลักซ์ โดยมีความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง U_o ไม่น้อยกว่า 0.1
ผนัง	$\bar{E}m \geq 50$ ลักซ์ โดยมีความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง U_o ไม่น้อยกว่า 0.1

ที่มา : สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

แสงจ้า (Glare) แสงจ้าเป็นความรู้สึกจากการมองพื้นผิวที่มีความสว่างที่จ้าเกินเมื่อเทียบกับพื้นหลัง และในกรณีที่เกิดความเปรียบต่างของความสว่างระหว่างพื้นที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดความเมื่อยล้าต่อการมองเห็น และอาจเกิดอุบัติเหตุ แต่ในทางกลับกันถ้าความเปรียบต่างต่ำเกินไปจะทำให้พื้นที่บริเวณนั้นดูน่าเบื่อ ไม่น่าสนใจ แสงจ้าอาจเกิดได้หลายลักษณะจากแสงไฟฟ้าหรือแสงธรรมชาติ เช่น เกิดจากการมองเห็นจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง เรียกว่า แสงจ้าโดยตรง และเกิดจากแสงสะท้อนบนพื้นผิวมันวาว เรียกว่า แสงจ้าสะท้อน (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2559)

การสะท้อนแสง (Reflection) คือ เมื่อแสงตกกระทบลงบนพื้นผิววัตถุ แล้วสะท้อนกลับมายังทิศทางของวัตถุแรก โดยแสงที่สะท้อนออกมาจะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะพื้นผิว ถ้าพื้นผิวเรียบจะให้แสงสะท้อนที่เป็นระเบียบ แต่ถ้าพื้นผิวขรุขระจะให้แสงสะท้อนที่กระจัดกระจาย และเกิดการสะท้อนกลับออกไปในหลายทิศทาง การสะท้อนของแสงออกจากพื้นผิวต่อแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นผิว มีค่า 0-1 หรือ 0-100% (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2559) ซึ่งนำข้อมูลส่วนค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่างๆมาช่วยในการพิจารณาการเลือกวัสดุมาใช้เพื่อส่งเสริมคุณภาพแสงที่ดีในอาคารตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการสะท้อนแสงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ต่างๆ

พื้นผิว	ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว(%)
เพดาน	70-90
ผนัง	50-80
พื้น	20-40

ที่มา : สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 5 วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงต่างๆกัน

ตัวอย่างวัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง(%)
กระเบื้องสีเทาเข้ม	17
กระเบื้องสีขาว	70
กระเบื้องสีเบจ	62
ฝ้าเพดานสีเทาอ่อน	70
บล็อคแก้ว	15
คอนกรีต	62
ฝ้าเพดานสีอ่อน	70

ที่มา : โปรแกรม Dialux evo 9.2

สำหรับพื้นที่ที่ต้องใช้สายตาเป็นเวลานาน เช่น โรงเรียน ควรพิจารณาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ โดยให้มีความสว่างที่เพดานและผนังให้สูงขึ้นดังนี้ (David, 2011)

ตารางที่ 6 ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุของอาคารประเภทโรงเรียน

พื้นผิว	ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว (%)	ความส่องสว่างของพื้นผิว (Lux)
เพดาน	80	75
ผนัง	60	150

ที่มา : มาตรฐาน IES (David, 2011)

ตารางที่ 7 ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุในมาตรฐาน IES (David, 2011)

พื้นผิว	ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว (%)
เพดาน	90 หรือดีกว่า
ผนัง	60 หรือดีกว่า
พื้น	20 หรือดีกว่า
ฉากกั้น	40 หรือดีกว่า

ที่มา : มาตรฐาน IES (David, 2011)

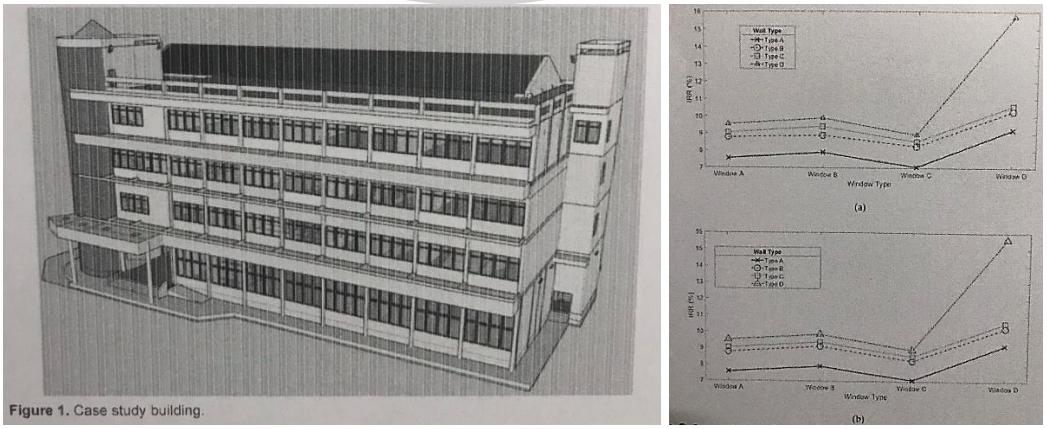
การส่องผ่านของแสง (Visible Transmittance (VT or Tvis) คือ การส่องผ่านของแสงที่มองเห็นได้จะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (0-100%) หรือเป็นทศนิยม (0-1.0) ค่านี้แสดงถึงฟลักซ์ตกกระทบที่มาถึงมุมตกกระทบปกติ (ตรงไปยังพื้นผิว) ที่ไหลผ่านวัสดุ ในการออกแบบแสงสว่างธรรมชาติควรออกแบบให้ค่าการส่องผ่านของแสงที่กระจกมีค่าสูงขึ้นเพื่อนำไปสู่ประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติที่มากขึ้น เนื่องจากโดยทั่วไปช่องเปิดเป็นจุดสำคัญสำหรับการเพิ่มความร้อนภายในอาคาร การส่องผ่านแสงที่สูงขึ้นและพื้นที่กระจกที่เล็กลงอาจลดความสม่ำเสมอของแสงแดดและเพิ่มแสงสะท้อน เนื่องจากความเปรียบต่างที่สูงขึ้นกับพื้นผิวโดยรอบ ในทางกลับกัน การส่องผ่านแสงของกระจกต่ำ (ต่ำกว่าประมาณ 25-35%) อาจทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และทำให้ภายในอาคารมืดเกินไปในสภาพแวดล้อมที่มีท้องฟ้าแจ่มใสเป็นเวลานาน การออกแบบค่าการส่องผ่านของแสงในอาคารควรออกแบบให้มีค่าการส่องผ่านของแสงที่ต่ำ (David, 2011)

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งออกเป็น 2 หมวดหมู่ดังนี้

1) งานวิจัยด้านวัสดุกรอบอาคารและคุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสมสามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร เช่น การใช้กระจก Low-E (Chiradeja, 2019) ,ฉนวนใยแก้ว (โสพิศ ชัยชนะ, 2558) และสี (ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2556)

จากการศึกษา (Chiradeja, 2019) การเลือกใช้กระจก Low-e และการติดตั้งฉนวนบนหลังคาอาคาร ในระยะยาวจะให้ความคุ้มค่าในการลงทุน และสามารถลดการใช้พลังงานลง 65 %

จากการพิจารณาผลการวิจัยทำให้ทราบถึงทางเลือกในการแก้ปัญหาอุณหภูมิภายในอาคารพิทักษ์สุนทรที่เพิ่มขึ้นจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคา ทำให้อาคารสิ้นเปลืองพลังงาน



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะอาคารกรณีตัวอย่างงานวิจัยของ (Chiradeja, 2019)

จากการศึกษาวิทยานิพนธ์ของ (โสพิศ ชัยชนะ, 2558) ประเด็นที่น่าสนใจคือเหตุผลในการเลือกใช้ฉนวนใยแก้วแบบม้วนมาลดอุณหภูมิภายในอาคาร ซึ่งสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคารลงจาก 27.64 W/m^2 เป็น 6.07 W/m^2

จากการศึกษาเรื่องสีและการลดความร้อนในอาคาร (ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2556) พบว่าภายนอกมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบเมื่อใช้สีอ่อน (สีขาว) ทาภายนอกทำให้อุณหภูมิภายในลดลง 7-12 °C เมื่อเปรียบเทียบกับการทาสีโทนเข้ม (สีเทา) และความต่างจะยิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อผนังได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์

2) งานวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างในอาคารมีการศึกษาโดยใช้ปัจจัยต่างๆ ดังนี้ พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้วยองค์ประกอบต่างๆเช่น

การเลือกใช้กระจกที่มาช่วยในการลดอุณหภูมิภายในและช่วยเพิ่มแสงสว่างในบ้าน (อำนาจ จันทน์กะพ้อ, 2550) พบว่ากระจก (Low-E) มีคาการสะทอนความรอน และคาการสองผานของแสง (Visible Transmittance (VT or Tvis) สูง และมีคาการดูดกลืนความรอนต่ำ อีกทั้งยังมีคาการเปลงรังสีต่ำกวากระจกชนิดอื่นๆ ทำให้กระจก (Low-E)มีความร้อนสะสมที่เนื้อกระจกน้อยมากทำให้สามารถประหยัดไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศได้ร้อยละ 65.17 ต่อวัน และหน้าต่างกระจก (Low-E) ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านได้โดยง่าย จึงประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณร้อยละ 89 ต่อวัน

จากการศึกษาผลการวิจัยในหัวข้อนี้สามารถนำไปช่วยในการพิจารณาแนวทางการเลือกชนิดกระจกที่นำมาใช้ศึกษาแก้ปัญหาเรื่องอุณหภูมิและแสงสว่างภายในอาคารได้

จากการศึกษาการออกแบบแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ (Setiati, 2021) เรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของการออกแบบแสงในห้องเรียนเพื่อความสบายตา ทำให้ทราบว่าการออกแบบแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ โดยเปิดหลอดไฟ 50 % ในบริเวณที่มีแสงจากช่องเปิดส่องไม่ถึงเพื่อให้ได้แสงสว่างที่ 300 Lux จะช่วยให้ค่าความส่องสว่างภายในห้องเรียนมีความสม่ำเสมอมากขึ้นจาก 140-200 Lux เป็น 238-612 Lux

จากผลการทดลองนำมาใช้พิจารณาเพื่อเป็นข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงอาคารพิทักษ์สุนทรได้

การศึกษาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์, 2544), (พัชริยา ชินฮาต, 2555) และการแยกการเปิด-ปิดหลอดไฟในแต่ละดวงโคม (Saihong, 2007)

จากการศึกษา (สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์, 2544) เรื่องอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสง ตัวแปรที่น่าสนใจและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับแนวทางการปรับปรุงอาคาร

พิทักษ์สุนทรซึ่งเป็นอาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้องเนื่องจาก ทำได้ง่าย สามารถกระจายแสงภายในห้องได้ดี โดยบางส่วนของงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้พื้นภายนอกห้องมีค่าการสะท้อนแสงที่ 0% และกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในห้อง 0-70% โดยค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor, DF) ที่ระยะห่างจากช่องเปิด 1.5 m พบว่าห้องเมื่อมีค่าการสะท้อนแสงที่ 0% จะมีค่า DF เท่ากับ 1 ส่วนห้องที่มีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยทุกระนาบที่ 50% ที่ระยะเดียวกันจะมีค่า DF เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.6 จากการศึกษาสรุปได้ว่าพื้นผิวภายในห้องมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงมากยิ่งทำให้ค่า DF มีค่ามาก และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้องยิ่งมีค่ามากยิ่งทำให้ค่าความส่องสว่างภายในห้องมีค่ามากขึ้น

จากการศึกษาวารสารวิชาการของ (พัชริยา ชินฮาต, 2555) การเพิ่มค่าการสะท้อนแสงบนพื้นผิวภายในโดยเดิมกำหนดให้เพดานมีค่าการสะท้อนแสง 70% เพิ่มเป็น 80% กำหนดให้ผนังมีค่าการสะท้อนแสง 50% เพิ่มเป็น 70% และกำหนดให้พื้นมีค่าการสะท้อนแสง 20% เป็น 50% พบว่าทำให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 26 Lux

การศึกษาในหัวข้อนี้เพื่อพิจารณาการศึกษาแนวทางการปรับปรุงโดยการเพิ่มค่าการสะท้อนแสงให้พื้นผิวภายในห้อง

จากการศึกษาเรื่องการแยกการเปิด-ปิดหลอดไฟในแต่ละดวงโคมเพื่อเพิ่มความสว่างมายังส่วนลึกของห้อง (Saihong, 2007) โดยการศึกษาจากห้องเรียนตัวอย่างที่มีช่องเปิดแสงด้านเดียวยาวตลอดแนวและอยู่ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอาคาร ขนาดห้องเรียนกว้าง 9 m ยาว 11 m สูง 3 m ผลการศึกษาการแยกการเปิด-ปิดหลอดไฟ พบว่าบริเวณส่วนที่ลึกของห้องในระยะ 7 m ในสภาพแสงธรรมชาติความส่องสว่างต่ำกว่า 300 Lux แต่เมื่อเปิดดวงโคมชุดละ 2 หลอด ทำให้ความส่องสว่างเพิ่มขึ้นเป็น 500-800 Lux (Saihong, 2007)

ผลการศึกษาในหัวข้อนี้เพื่อพิจารณาการศึกษาการออกแบบลักษณะการเลือกการเปิด-ปิดหลอดไฟในแต่ละดวงโคม

2.3 กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ด้านการใช้พลังงานในอาคาร

1) กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ 2563

ระบบกรอบอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก และหลังคา ในส่วนที่มีการปรับอากาศของอาคารเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด แต่ในขณะนี้ยังไม่มีประกาศดังนั้นจึงใช้ค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวงปี 2552 ดังนี้ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เกณฑ์การออกแบบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร

ประเภทอาคาร	**ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร W/m^2**	**ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร W/m^2**
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	50	15

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคารต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอ และอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารต้องใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละประเภทของอาคารตามค่ามาตรฐานที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด แต่ขณะนี้ยังไม่ออกประกาศวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้ตามกฎกระทรวงปี 2552 ดังนี้ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เกณฑ์การออกแบบค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด

ประเภทอาคาร	**ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด W/m^2**
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	14

2.3.2 กฎหมายด้านแสงสว่าง

1) กฎกระทรวงฉบับที่ 39 พ.ศ.2537 หมวดที่ 3 ระบบการจัดแสงสวางและการระบายอากาศตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของแสงสว่าง

ลำดับ	**สถานที่ (ประเภทการใช้)**	**หน่วยความเข้มของแสงสว่าง Lux**
1	ที่จอดรถ	50
2	ห้องน้ำ ห้องส้วมของโรงงาน โรงเรียน โรงแรม สำนักงาน หรือ อาคารอยู่อาศัยรวม	100

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของแสงสว่าง (ต่อ)

ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	หน่วยความเข้มของแสงสว่าง Lux
3	ช่องทางเดินภายในโรงงาน โรงเรียน โรงแรม สำนักงาน หรือ สถานพยาบาล	200
4	ห้องสมุด ห้องเรียน	300
5	ห้องประชุม	300
6	บริเวณที่ทำงานในสำนักงาน	300

2) เกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย “เกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างดังต่อไปนี้เป็นคำแนะนำสำหรับพื้นที่ทำงานของห้องและกิจกรรมที่หลาก หลาย ซึ่งอาจอยู่ในแนวระนาบ แนวตั้ง หรือแนวเอียง ขึ้นอยู่กับลักษณะงานโดยงานวิจัยนี้ใช้ค่าความส่องสว่าง ($\bar{E}_m$ ลักซ์) เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา” (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2559) ตามตารางที่ 11

คอลัมน์ที่ 1 เป็นรายการชนิดของงานหรือกิจกรรมภายในต่าง ๆ

คอลัมน์ที่ 2 เป็นค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำ หรือ $\bar{E}_m$ ต้องไม่ต่ำกว่านี้

คอลัมน์ที่ 3 เป็นค่าจำกัดพิกัดแสงจ้ารวม หรือ (Unified Glare Rating ; UGR_L) ซึ่งต้องไม่ให้เกินนี้

คอลัมน์ที่ 4 เป็นค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หรือ U_o ต้องไม่ต่ำกว่านี้

คอลัมน์ที่ 5 เป็นค่าดัชนีความถูกต้องของสีต่ำสุด หรือ R_a

คอลัมน์ที่ 6 แสดงคำแนะนำ ข้อยกเว้น ในคอลัมน์ที่ 1

ตารางที่ 11 เกณฑ์คุณภาพแสงสว่างที่ต้องการ (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2016)

อาคารเรียน(educational building)					
ชนิดของงานหรือกิจกรรมภายใน	**$\bar{E}_m$ ลักซ์**	**UGR_L**	**U_o**	**R_a**	**คำแนะนำเพิ่มเติม**
ห้องเรียนและห้องทั่วไป	300	19	0.6	80	

ตารางที่ 11 เกณฑ์คุณภาพแสงสว่างที่ต้องการ (ต่อ) (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2016)

อาคารเรียน(educational building)					
ชนิดของงานหรือกิจกรรมภายใน	**$\bar{E}_m$ ลักซ์**	**UGR_L**	**U_o**	**R_a**	**คำแนะนำเพิ่มเติม**
กระดานขาว (whiteboard)	300	19	0.7	80	เป็นความส่องสว่างบนแนวตั้ง ต้องระวังแสงสะท้อนบนกระดาน อาจารย์/ผู้สอนควรมีระดับความส่องสว่างในแนวตั้งที่เหมาะสม
ห้องปฏิบัติการ	500	19	0.6	80	
ห้องคอมพิวเตอร์	500	19	0.7	80	เป็นความส่องสว่างบนโต๊ะสำหรับการทำงานที่มีจอแสดงผล
ห้องพักครู	300	19	0.6	80	
โต๊ะทดลอง	500	19	0.7	80	
ห้องฝึกภาษา	300	19	0.6	80	
ชั้นวางหนังสือ	200	19	0.4	80	เป็นค่าความส่องสว่างเฉลี่ยบน สันหนังสือ
บริเวณอ่านหนังสือ	500	19	0.6	80	
โต๊ะทำงานเจ้าหน้าที่	500	19	0.6	80	

3) มาตรฐาน WELL Building Standard ™ (WELL v2) คือ มาตรฐานอาคารที่เกี่ยวกับสุขภาพ และความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์ เป็นมาตรฐานการวัดของอาคารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ มีการประเมินที่ครอบคลุมการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบร่างกายต่างๆ มาตรฐานนี้แบ่งออกเป็น 11 หมวด ได้แก่ อากาศ น้ำ อาหาร แสงสว่าง การเคลื่อนไหว สภาวะน่าสบาย เสียง วัสดุ จิตใจ ชุมชน และนวัตกรรม ซึ่งประเภทของโครงการ จัดเป็น 2 กลุ่มหลัก โดยพิจารณาจากประเภทการเป็นเจ้าของเป็นหลัก ประเภทที่ 1 โครงการส่วนใหญ่ครอบครองโดยเจ้าของโครงการ (ซึ่งอาจต่างจากเจ้าของอาคาร) และประเภทที่ 2

เจ้าของโครงการใช้พื้นที่ส่วนน้อยหรือพื้นที่ส่วนใหญ่ให้เช่าแก่ผู้เช่าตั้งแต่หนึ่งรายขึ้นไป และนำมาตรฐานมาใช้กับการหาแนวทางการปรับปรุงอาคาร

มาตรฐานที่นำมาใช้ในการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างของอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร คือ การออกแบบแสงสว่างเพื่อการมองเห็น (Visual Lighting Design) ในหัวข้อนี้กำหนดให้โครงการมีการออกแบบการส่องสว่างที่เหมาะสมบนระนาบการทำงาน สำหรับผู้ใช้ทั่วไปทุกกลุ่มอายุ ที่ใช้งานในพื้นที่นั้นๆ โดยเลือกศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างตามมาตรฐาน IES Lighting Handbook 10th Edition เป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา คิดค้นด้วยสมาคม Illuminating Engineering Society (IES) ระบุถึงข้อกำหนดการออกแบบแสงตามกลุ่มอายุ แต่ในกรณีที่กลุ่มอายุขัดแย้งกัน เช่น อาจเกิดจากชั้นเรียนสำหรับเด็กและวัยรุ่น และ ชั้นเรียนในเวลากลางคืนที่ใช้สิ่งอำนวยความสะดวกเดียวกันสำหรับผู้ใหญ่ อาจแก้ปัญหานี้ด้วยการควบคุมแสง เพื่อให้ได้แสงที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ (David, 2011) ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าความส่องสว่างในช่วงอายุ 25 และ 25-60 ปี ในแนวตั้งและแนวนอนตามตารางที่ 12

ตารางที่ 12 มาตรฐานแสงสว่าง IES Lighting Handbook 10th Edition

พื้นที่ทำงาน	**แนวนอน**				**แนวตั้ง**			
	ระยะที่ใช้ในการวัด (m)	**ความส่องสว่าง (Lux) ตามอายุผู้ใช้งาน**			**ระยะที่ใช้ในการวัด (m)**	**ความส่องสว่าง (Lux) ตามอายุผู้ใช้งาน**		
		<25ปี	**25-60ปี**	**>60ปี**		**<25ปี**	**25-60ปี**	**>60ปี**
ห้องทำงานศิลปะ	0.9	250	500	1000	1.2	150	300	600
ห้องดนตรี	1.2	150	300	600	1.2	100	200	400
ห้องเรียนรวม	-	150	300	600	-	100	200	400
โต๊ะเขียนหนังสือ	0.75	200	400	800	1.2	75	150	300
กระดานไวท์บอร์ด	-	-	-	-	-	150	300	600
ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์								
พื้นที่สาธิต	0.9	500	1000	2000	1.5	250	500	1000
ที่นั่ง	0.9	250	500	1000	0.9	150	300	600

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 การศึกษาข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา

อาคารพิทักษ์สุนทร โรงเรียนนาคประสิทธิ์ ตามภาพที่ 5 เป็นอาคารของมูลนิธิวัดบางช้างเหนือ สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษานครปฐม เขต 2 กระทรวงศึกษาธิการ ตั้งอยู่ที่ 97/1 หมู่ 3 ต.คลองใหม่ อ.สามพราน จ.นครปฐม 73110

ที่มา : https://business.facebook.com/npsch/

ภาพที่ 5 รูปโรงเรียนนาคประสิทธิ์

3.1.1 ผังบริเวณอาคารพิทักษ์สุนทร

อาคารพิทักษ์สุนทรสูงประมาณ 28 m มีทั้งหมด 7 ชั้น 90 ห้อง เป็นอาคารประเภทสถานศึกษา เวลาทำการ 8.00-16.00 น. ลักษณะอาคารเป็นรูปตัวที วางตัวในแนวแกนทิศตะวันออก-ตะวันตก และมีสภาพแวดล้อมโดยรอบดังนี้ (ภาพที่ 6-9)

ภาพที่ 6 ทิศเหนือ (ด้านหลังอาคาร) ติดกับ ถนนสามพราน ซอย 1

ภาพที่ 7 ทิศใต้ (ด้านหน้าอาคาร) ติดกับ ลานกิจกรรม

ภาพที่ 8 ทิศตะวันออก (ด้านข้างอาคาร) ติดกับ ทางออกของโรงเรียนนาคประสิทธิ์

ภาพที่ 9 ทิศตะวันตก (ด้านข้างอาคาร) ติดกับ โรงอาหาร

ภาพที่ 10 ผังบริเวณอาคารพิทักษ์สุนทร โรงเรียนนาคประสิทธิ์

มุมมองที่ 1

มุมมองที่ 2

มุมมองที่ 3

มุมมองที่ 4

ภาพที่ 11 ลักษณะภายนอกของอาคารพิทักษ์สุนทร

3.1.2 พื้นที่ภายในอาคาร

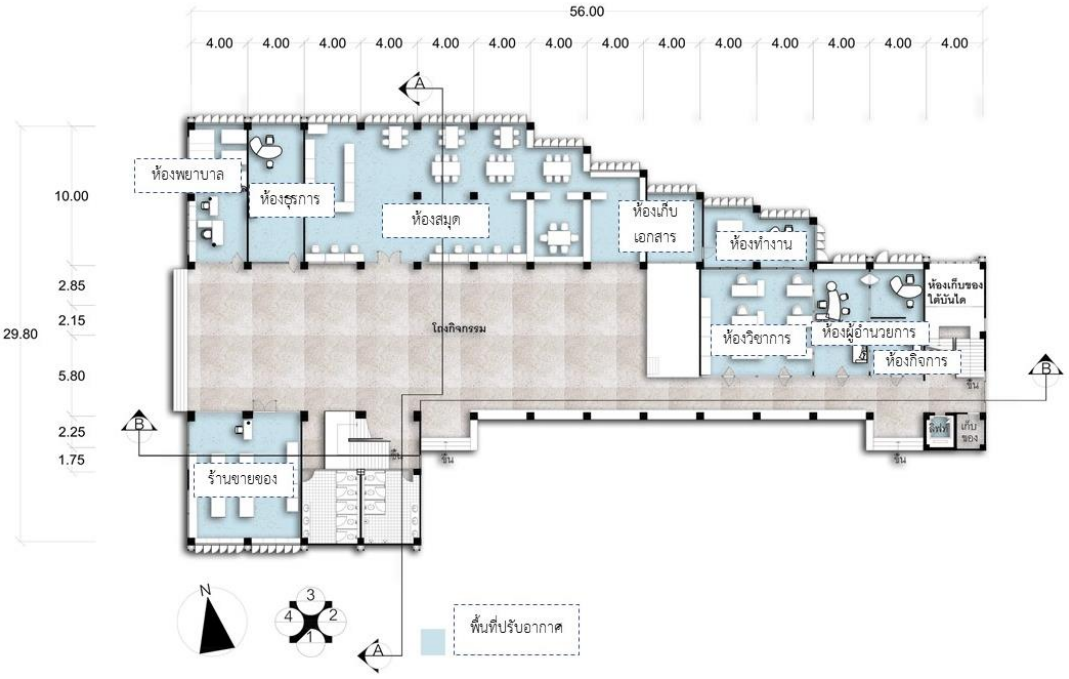
ชั้นที่ 1 ด้านหน้าเป็นโถงกิจกรรม ห้องผู้อำนวยการ ฝ่ายธุรการ ฝ่ายบริการ ห้องพยาบาล

ชั้นที่ 2 มีห้องเรียนวางแนวเป็นรูปตัวที และระเบียงด้านนอกสำหรับทำกิจกรรม

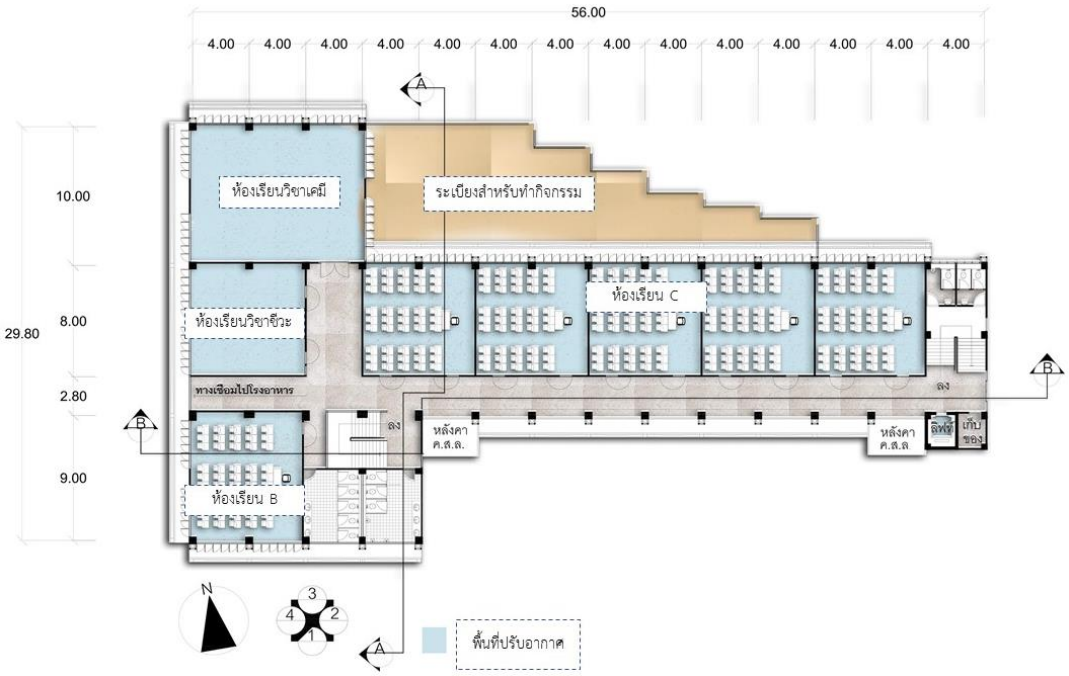
ชั้นที่ 3-6 ลักษณะการวางแนวห้องเรียนรูปตัวทีเหมือนกับชั้นที่ 2

ชั้นที่ 7 ลักษณะการวางแนวห้องเรียนรูปตัวทีเหมือนกับชั้นที่ 2-6 และมีห้องโสตศึกษา

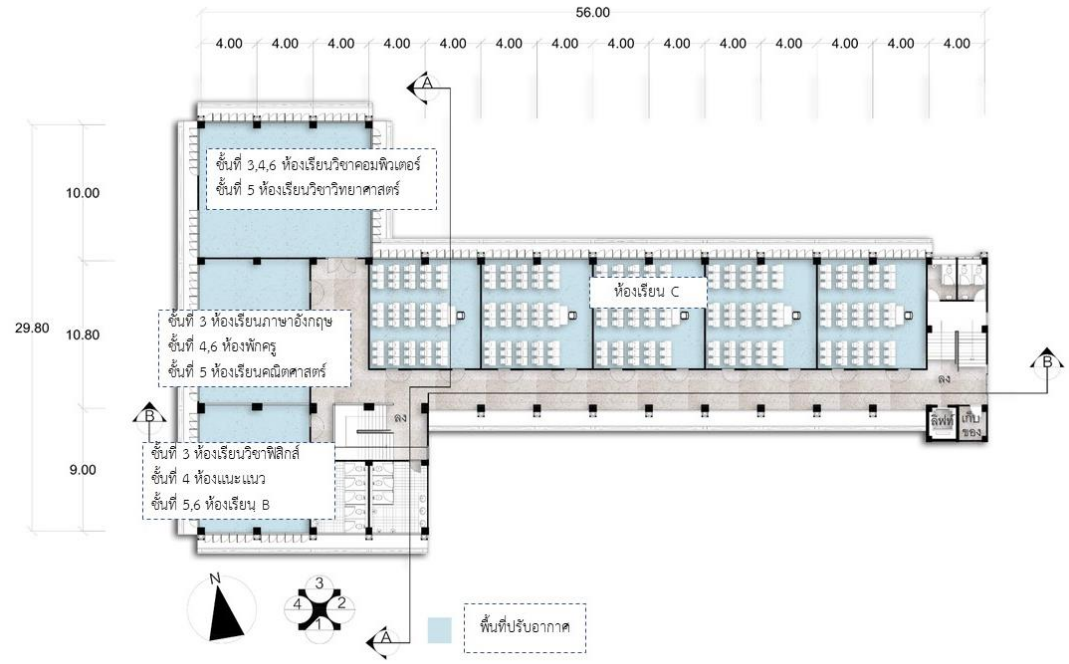
พื้นที่รวมทั้งหมดของอาคารพิทักษ์สุนทร 6,764 m^2 เป็นพื้นที่ปรับอากาศ 4,249 m^2 คิดเป็น 63% และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 2,515 m^2 คิดเป็นร้อยละ 37 ตามภาพที่ 12-15 ,ตารางที่ 13-19 และแผนภูมิที่ 1



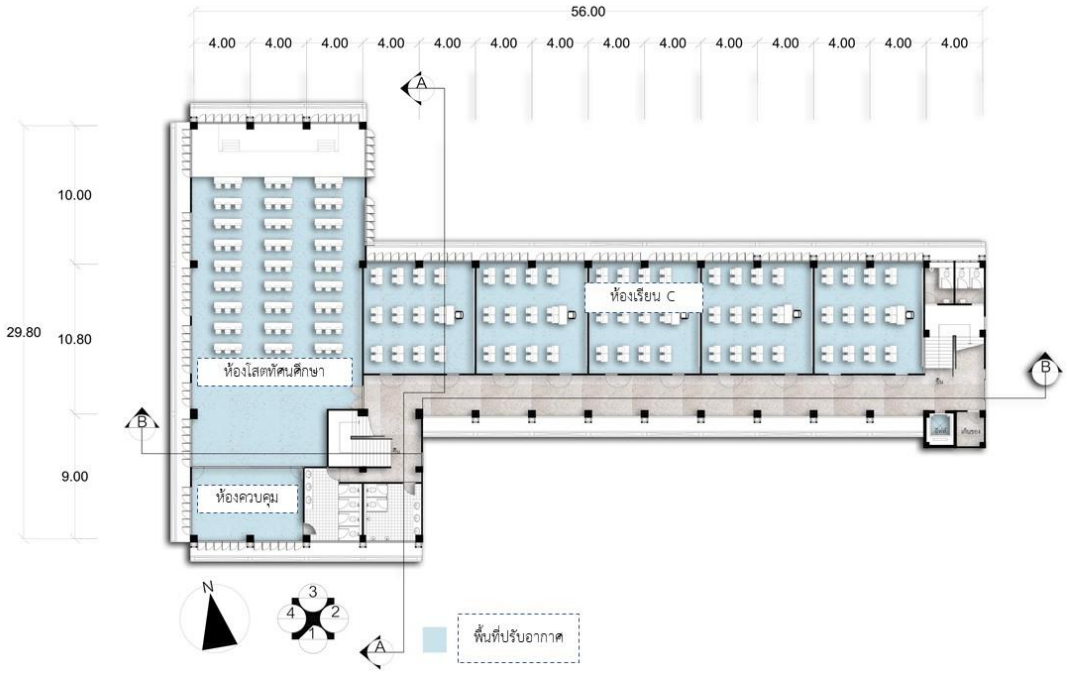
ภาพที่ 12 พื้นที่ปรับอากาศของผังพื้นชั้นที่ 1



ภาพที่ 13 พื้นที่ปรับอากาศของผังพื้นชั้นที่ 2



ภาพที่ 14 พื้นที่ปรับอากาศของผังพื้นชั้นที่ 3-6



ภาพที่ 15 พื้นที่ปรับอากาศของผังพื้นชั้นที่ 7

ตารางที่ 13 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 1

พื้นที่ปรับอากาศ	**พื้นที่ m^2**	**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**พื้นที่ m^2**
1. ห้องพยาบาล	40	10. โถงกิจกรรม	532
2. ห้องธุรการ	40	11. ห้องเก็บของ	4.5
3. ห้องสมุด	260	12. ห้องน้ำนักเรียนชาย	20
4. ห้องวิชาการ	64	13. ห้องน้ำนักเรียนหญิง	20
5. ห้องเก็บเอกสาร	32	14. ห้องเก็บของใต้บันได	24
6. ห้องผู้อำนวยการ	32		
7. ห้องกิจการ	32		
8. ร้านขายของ	72		
9. ลิฟต์	4.5		
รวม	**576.5**	**รวม**	**600.5**

ตารางที่ 14 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 2

พื้นที่ปรับอากาศ	**พื้นที่ m^2**	**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**พื้นที่ m^2**
1. ห้องเรียนวิชาเคมี	126	6. โถงทางเดิน	244
2. ห้องเรียนวิชาชีวะ	64	7. ห้องเก็บของ	4.5
3. ห้องเรียน B	72	8. ห้องน้ำครูหญิง	5.4
4. ห้องเรียน C	320	9. ห้องน้ำครูชาย	5.4
5.ลิฟต์	4.5	10. ห้องน้ำนักเรียนชาย	20
		11. ห้องน้ำนักเรียนหญิง	20
		12. ระเบียงทำกิจกรรมด้านนอก	252
รวม	**586.5**	**รวม**	**551.3**

ตารางที่ 15 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 3

พื้นที่ปรับอากาศ	**พื้นที่ m^2**	**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**พื้นที่ m^2**
1. ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	126	6. โถงทางเดิน	226
2. ห้องเรียนภาษาอังกฤษ	86	7. ห้องเก็บของ	4.5
3. ห้องเรียนวิชาฟิสิกส์	72	8. ห้องน้ำครูหญิง	5.4
4. ห้องเรียน C	320	9. ห้องน้ำครูชาย	5.4
5. ลิฟต์	4.5	10. ห้องน้ำนักเรียนชาย	20
		11. ห้องน้ำนักเรียนหญิง	20
รวม	**608.5**	**รวม**	**281.3**

ตารางที่ 16 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 4

พื้นที่ปรับอากาศ	**พื้นที่ m^2**	**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**พื้นที่ m^2**
1. ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	126	6. โถงทางเดิน	226
2. ห้องพักครู	86	7. ห้องเก็บของ	4.5
3. ห้องแนะแนว	72	8. ห้องน้ำครูหญิง	5.4
4. ห้องเรียน C	320	9. ห้องน้ำครูชาย	5.4
5. ลิฟต์	4.5	10. ห้องน้ำนักเรียนชาย	20

ตารางที่ 16 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 4 (ต่อ)

พื้นที่ปรับอากาศ	**พื้นที่ m^2**	**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**พื้นที่ m^2**
		11. ห้องน้ำนักเรียนหญิง	20
รวม	**608.5**	**รวม**	**281.3**

ตารางที่ 17 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 5

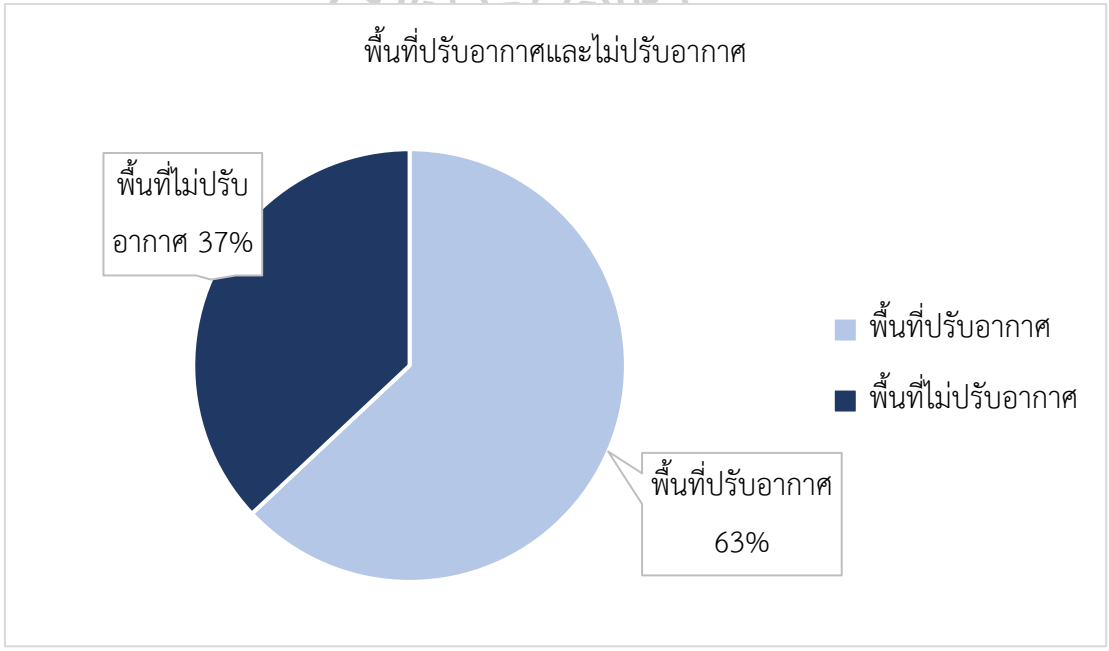
พื้นที่ปรับอากาศ	**พื้นที่ m^2**	**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**พื้นที่ m^2**
1. ห้องเรียนวิชาวิทยาศาสตร์	126	6. โถงทางเดิน	226
2. ห้องเรียนวิชาคณิตศาสตร์	86	7. ห้องเก็บของ	4.5
3. ห้องเรียน B	72	8. ห้องน้ำครูหญิง	5.4
4. ห้องเรียน C	320	9. ห้องน้ำครูชาย	5.4
5.ลิฟต์	4.5	10. ห้องน้ำนักเรียนชาย	20
		11. ห้องน้ำนักเรียนหญิง	20
รวม	**608.5**	**รวม**	**281.3**

ตารางที่ 18 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 6

พื้นที่ปรับอากาศ	**พื้นที่ m^2**	**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**พื้นที่ m^2**
1.ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	126	6. โถงทางเดิน	226
2.ห้องพักครู	86	7. ห้องเก็บของ	4.5
3.ห้องเรียน B	72	8. ห้องน้ำครูหญิง	5.4
4. ห้องเรียน C	320	9. ห้องน้ำครูชาย	5.4
5.ลิฟต์	4.5	10. ห้องน้ำนักเรียนชาย	20
		11. ห้องน้ำนักเรียนหญิง	20
รวม	**608.5**	**รวม**	**281.3**

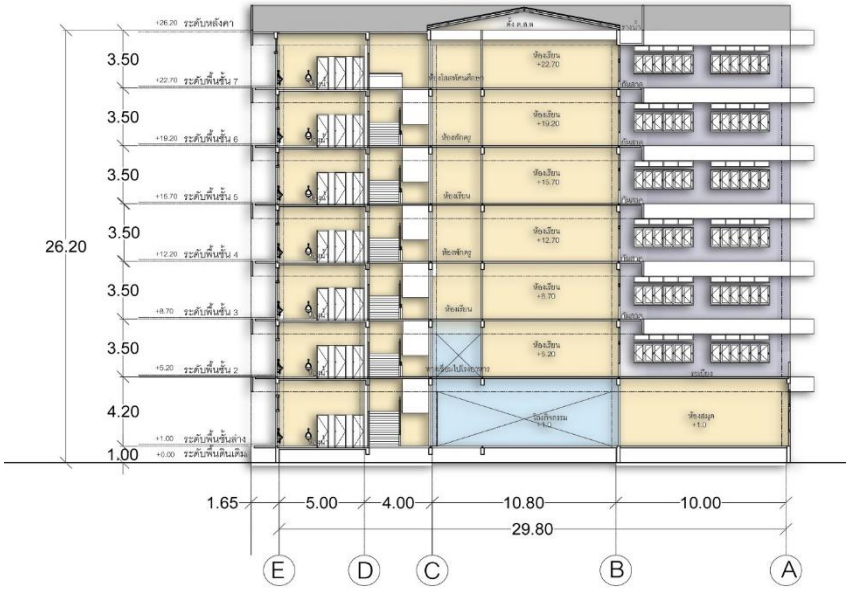
ตารางที่ 19 พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศผังพื้นชั้น 7

พื้นที่ปรับอากาศ	**พื้นที่ m^2**	**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**พื้นที่ m^2**
1. ห้องโสตทัศนศึกษา	287	6. โถงทางเดิน	183
2. ห้องควบคุม	40	7. ห้องเก็บของ	4.5
3. ห้องเรียน C	320	8. ห้องน้ำครูหญิง	5.4
4.ลิฟต์	4.5	9. ห้องน้ำครูชาย	5.4
		10. ห้องน้ำนักเรียนชาย	20
		11. ห้องน้ำนักเรียนหญิง	20
รวม	**651.5**	**รวม**	**238.3**

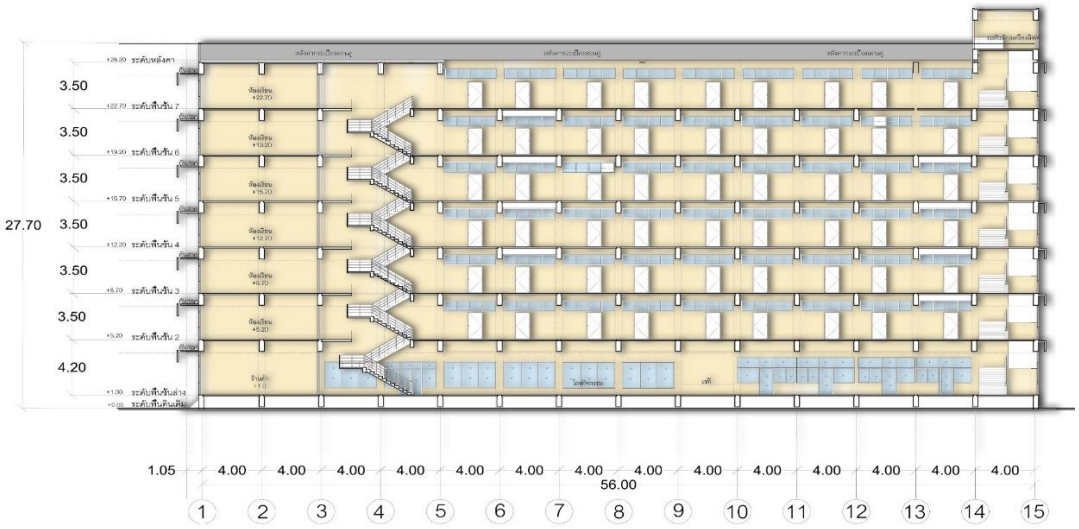


แผนภูมิที่ 1 ร้อยละของพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

อาคารพิทักษ์สุนทรเป็นอาคาร 7 ชั้น มีความสูงระดับพื้นถึงพื้นชั้นที่ 1 เท่ากับ 4.20 m และชั้นที่ 2-7 เท่ากับ 3.50 m และบริเวณห้องเรียนกว้าง 8.00 m ดังแสดงรายละเอียดในรูปตัด A และB ตามภาพที่ 16-17

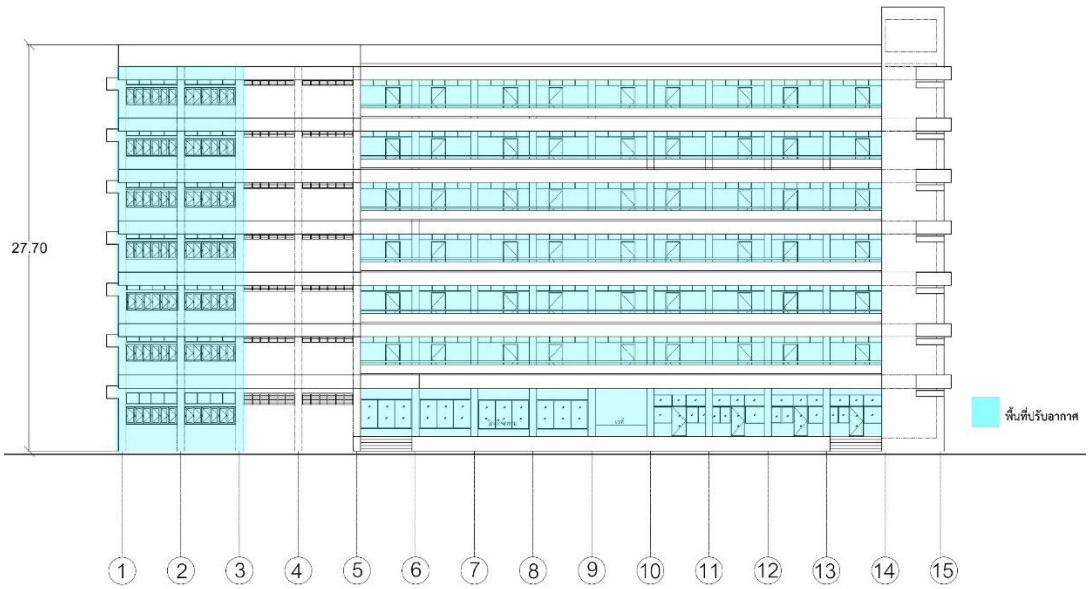


ภาพที่ 16 รูปตัด A

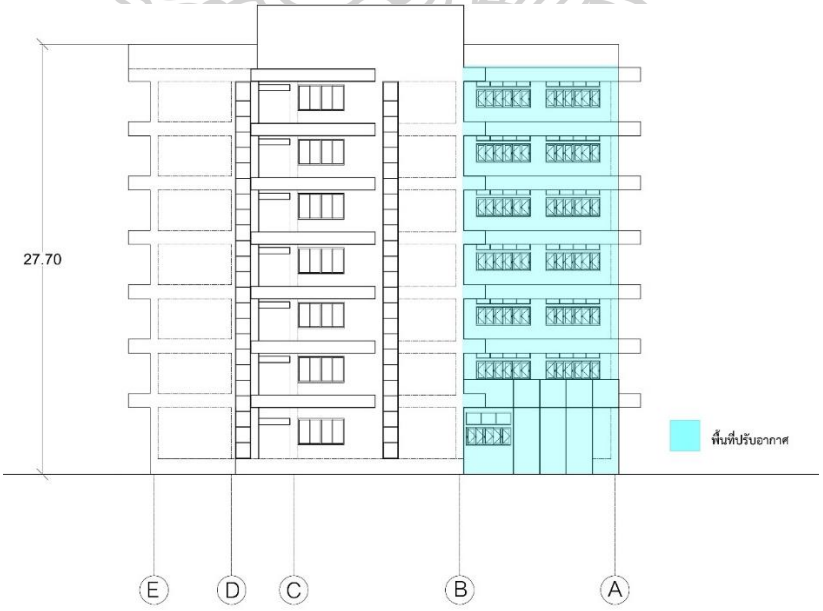


ภาพที่ 17 รูปตัด B

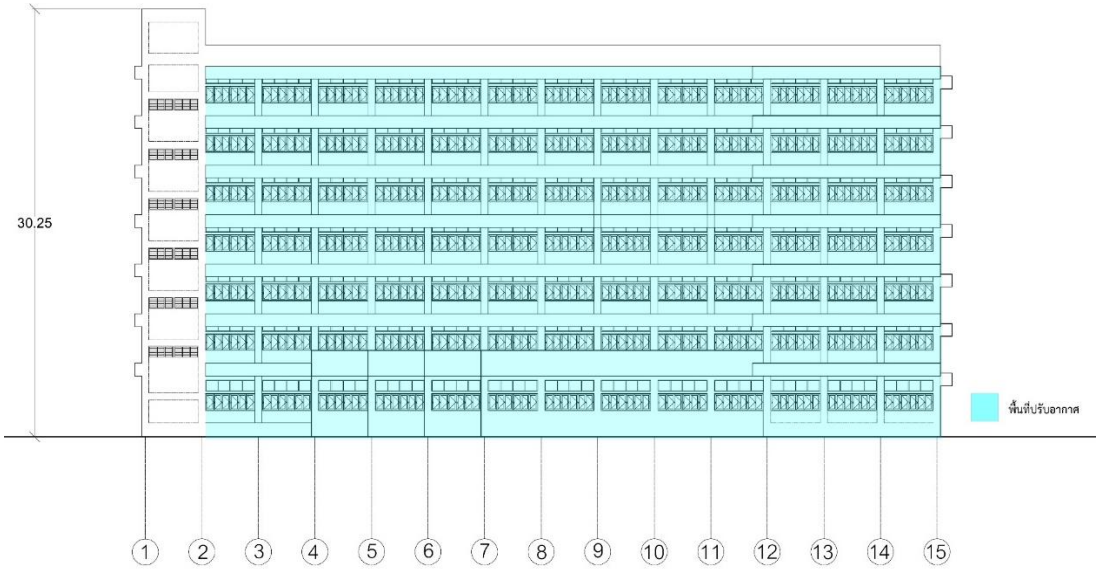
อาคารพิทักษ์สุนทรมีความสูงจากพื้นถึงสันหลังคา 27.70 m เป็นแบบหลังคาทรงปั้นหยา ด้านหน้าของอาคารอยู่ทางทิศใต้ มีบันได 2 แห่ง และลิฟต์โดยสาร 1 แห่งตามภาพที่18-23



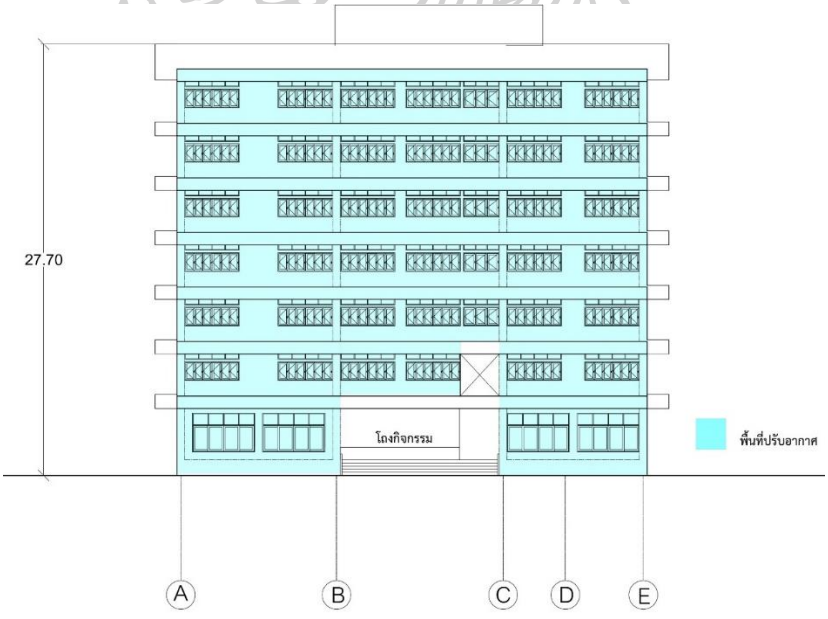
ภาพที่ 18 รูปด้าน 1 ทิศใต้



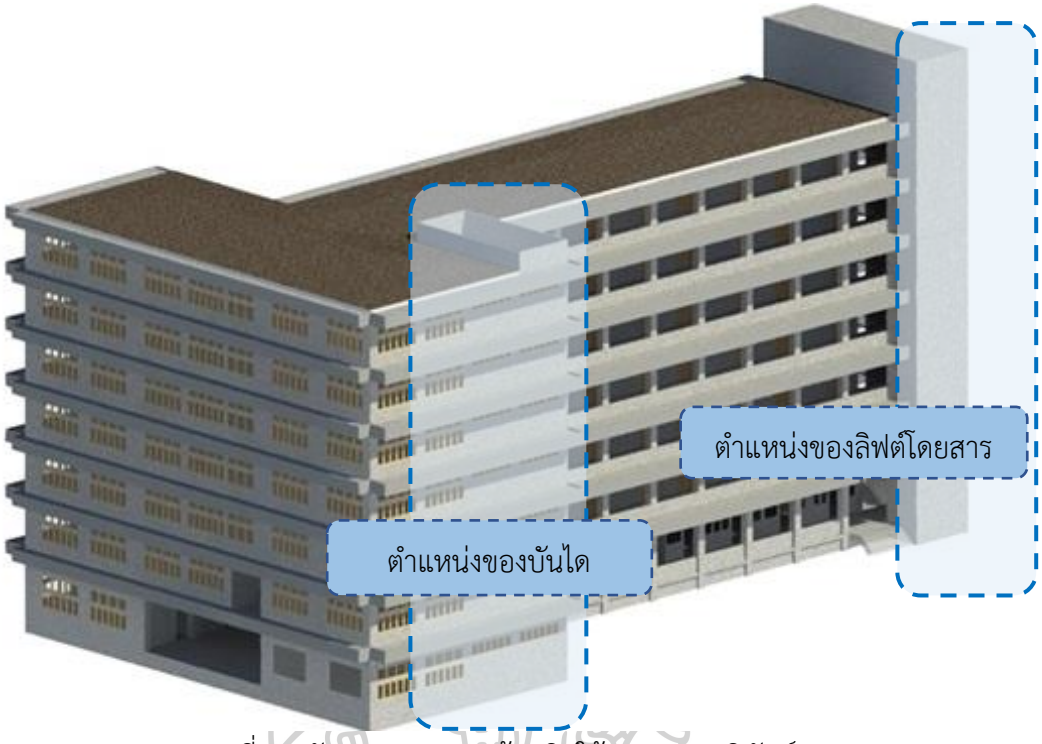
ภาพที่ 19 รูปด้าน 2 ทิศตะวันออก



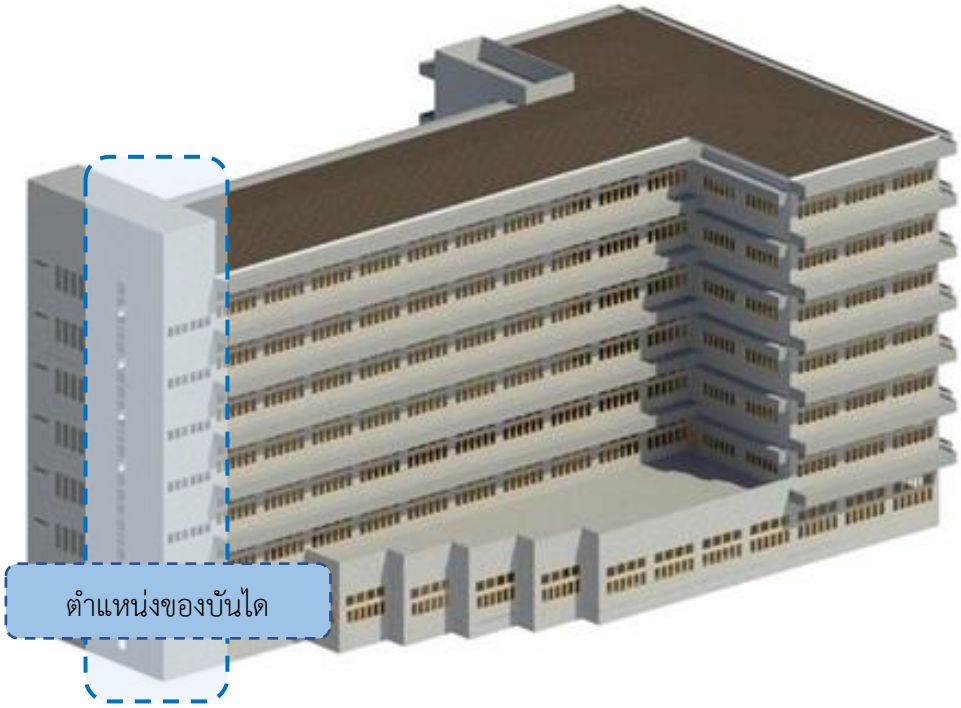
ภาพที่ 20 รูปด้าน 3 ทิศเหนือ



ภาพที่ 21 รูปด้าน 4 ทิศตะวันตก



ภาพที่ 22 ลักษณะภายนอกด้านทิศใต้ของอาคารพิทักษ์สุนทร



ภาพที่ 23 ลักษณะภายนอกด้านทิศเหนือของอาคารพิทักษ์สุนทร

3.1.3 การใช้ประโยชน์ภายในอาคาร แบ่งตามพื้นที่ 5 รูปแบบดังนี้ (ตารางที่ 20-21)

รูปแบบที่ 1 ห้องเรียน มีการใช้งานเวลา 8.20-15.50 น.

รูปแบบที่ 2 สำนักงาน มีการใช้งานเวลา 6.30-17.00 น.

รูปแบบที่ 3 ห้องสมุด มีการใช้งานเวลา 7.00-17.00 น.

รูปแบบที่ 4 ห้องโสตทัศนศึกษา มีการใช้งานเวลา 7.00-18.30 น.

รูปแบบที่ 5 ร้านค้า มีการใช้งานเวลา 7.00-16.30 น.

ตารางที่ 20 จำนวนผู้ใช้อาคารที่เป็นนักเรียน ปีการศึกษา 2562

ระดับชั้น	**จำนวนห้อง**	**จำนวนนักเรียน(คน)**		
		ชาย	**หญิง**	**รวม**
มัธยมศึกษาปีที่ 2	10	247	180	427
มัธยมศึกษาปีที่ 3	10	217	194	411
มัธยมศึกษาปีที่ 4	4	91	104	195
มัธยมศึกษาปีที่ 5	4	76	109	185
มัธยมศึกษาปีที่ 6	4	70	81	151
รวม	**31**	**701**	**668**	**1,369**

ตารางที่ 21 จำนวนผู้ใช้อาคารที่เป็นบุคลากรปีการศึกษา 2562

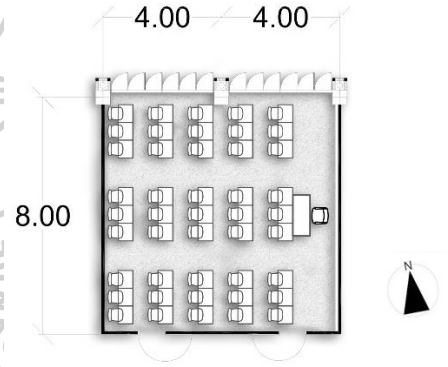
แผนกงานต่างๆ	**จำนวนบุคลากร(คน)**
กลุ่มผู้บริหาร	4
กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย	8
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	16
กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์	11
กลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนาและวัฒนธรรม	13
กลุ่มสาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	7
กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพ	4
กลุ่มสาระการเรียนรู้ศิลปะ	8
กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาต่างประเทศ	9
งานแนะแนว	4

ตารางที่ 21 จำนวนผู้ใช้อาคารที่เป็นบุคลากรปีการศึกษา 2562 (ต่อ)

แผนกงานต่างๆ	จำนวนบุคลากร(คน)
งานห้องสมุด	1
กลุ่มงานสนับสนุนการศึกษา	13
พนักงานทำความสะอาด	5
รวม	**103**

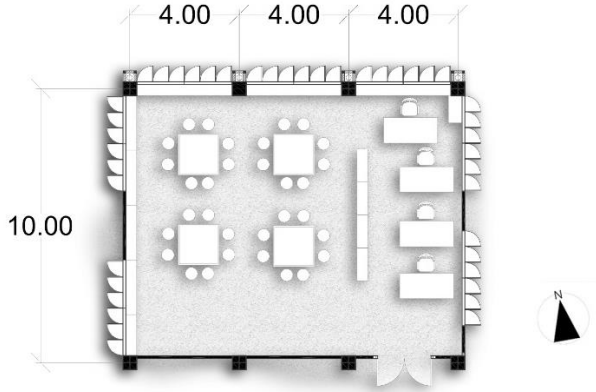
3.1.4 ข้อมูลรายละเอียดส่วนประกอบของอาคาร ประกอบด้วยห้องเรียนทั้งหมด 4 รูปแบบ

1) ห้องเรียนที่มีขนาดพื้นที่ 64 m^2 มีหน้าต่างด้านทิศเหนือ มีจำนวนมากที่สุดทั้งหมด 30 ห้อง ตามภาพที่ 24



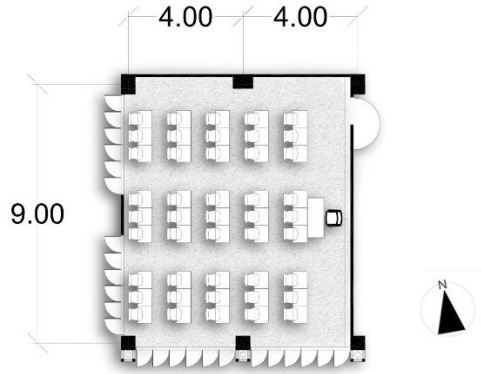
ภาพที่ 24 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 1

2) ห้องเรียนที่มีขนาดพื้นที่ 120 m^2 มีหน้าต่างด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก มีจำนวน 5 ห้อง ตามภาพที่ 25



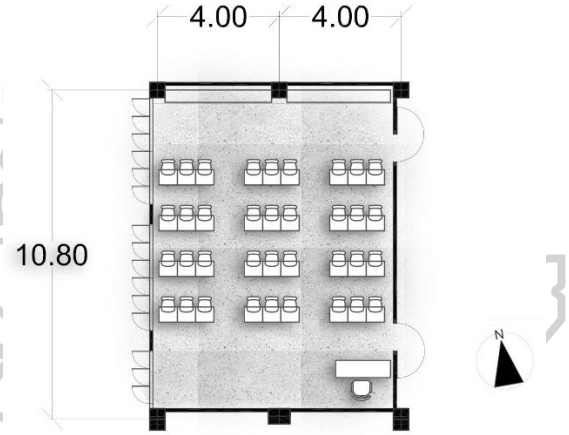
ภาพที่ 25 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 2

3) ห้องเรียนบริเวณหัวมุมที่มีขนาดพื้นที่ 72 m^2 มีหน้าต่างด้านทิศใต้ และทิศตะวันตก มีจำนวน 5ห้อง ตามภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 3

4) ห้องเรียนที่มีขนาดพื้นที่ 86 m^2 หน้าต่างด้านทิศตะวันตก มีจำนวน 5 ห้อง ตามภาพที่ 27

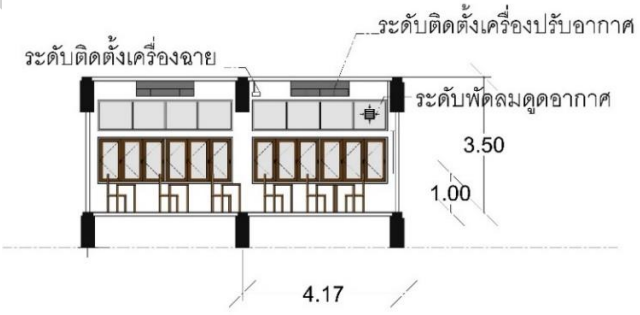


ภาพที่ 27 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 4

3.1.5 ระบบต่างๆภายในอาคาร

1) ระบบปรับอากาศภายในอาคาร ใช้เป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ได้แก่ ห้องเรียนทั้งหมดภายในอาคาร ห้องฝ่ายบริการ ห้องสมุด ร้านค้า ห้องโสตทัศนศึกษา และห้องผู้อำนวยการ มีการติดตั้งคอยล์ร้อนที่บริเวณริมหน้าต่างห้องเรียนบนแผงกันแดดด้านทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันตก ตามภาพที่ 28 มีการติดตั้งคอยล์เย็นภายในห้องเรียนบริเวณเหนือหน้าต่างทางทิศเดียวกับคอยล์ร้อน ตามภาพที่ 28-29 โดยมีรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศตามตารางที่ 22-23 และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าตามตารางที่ 23

ภาพที่ 28 ลักษณะการติดตั้งคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น



ภาพที่ 29 ตำแหน่งการติดตั้งคอยล์เย็นในห้องเรียน

ตารางที่ 22 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ

ยี่ห้อของเครื่องปรับอากาศ	**BTU**	**EER**	**ระบบไฟฟ้า**
1.Central Air	38,214	9.87	220V/1Ph/50Hz

ตารางที่ 23 ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศ

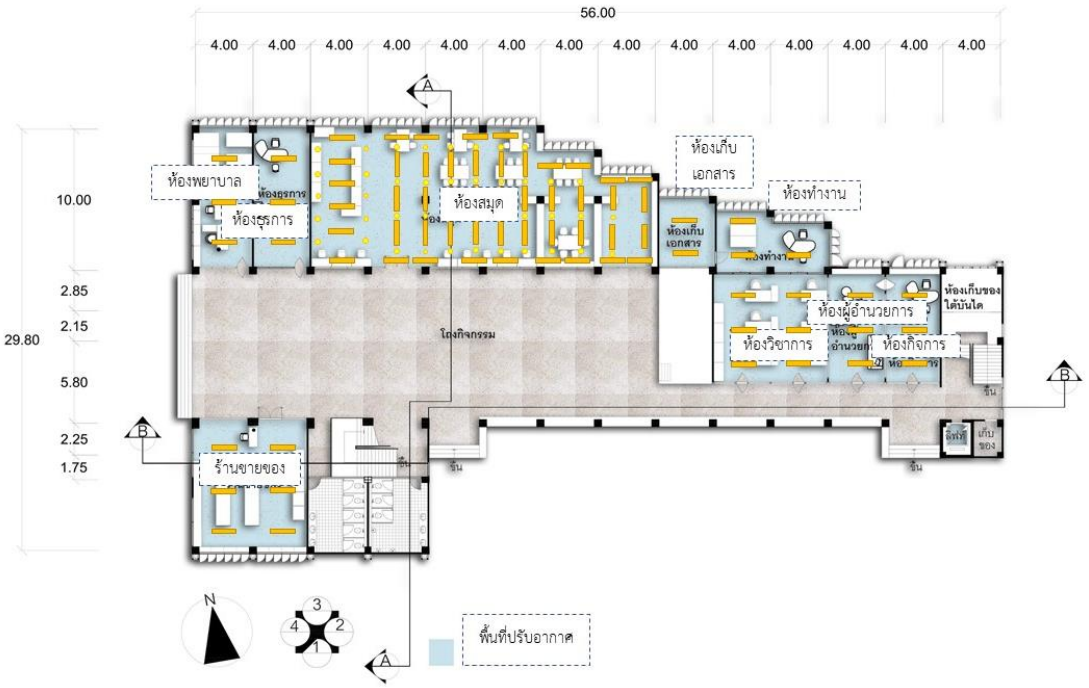
พื้นที่	ชั้นที่	จำนวน	ขนาด BTU	อัตราบริโภคพลังงาน Power Consumption (W)
1.ห้องพยาบาล	1	1	35,000	3,546
2.ห้องธุรการ	1	1	35,000	3,546
3.ห้องสมุด	1	10	327,600	33,191
4.ห้องวิชาการและห้องเก็บเอกสาร	1	3	80,640	8,170
5.ห้องผู้อำนวยการ	1	1	40,320	4,085
6.ห้องกิจการ	1	1	40,320	4,085
7.ร้านขายของ	1	2	90,720	9,192
8.ห้องเรียนวิชาเคมี	2	3	132,300	13,404
9.ห้องเรียนวิชาชีวะ	2	2	67,200	6,809
10.ห้องเรียน B	2	2	75,600	7,660
11.ห้องเรียน C	2	10	336,000	34,043
12.ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	3	3	132,300	13,404
13.ห้องเรียนวิชาภาษาอังกฤษ	3	2	90,300	9,149
14.ห้องเรียนวิชาฟิสิกส์	3	2	75,600	7,660
15.ห้องเรียน C	3	10	336,000	34,043
16.ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	4	3	132,300	13,404
17.ห้องพักครู	4	2	90,300	9,149
18.ห้องแนะแนว	4	2	75,600	7,660
19.ห้องเรียน C	4	10	33,6000	34,043
20.ห้องเรียนวิชาวิทยาศาสตร์	5	3	132,300	13,404
21.ห้องเรียนวิชาคณิตศาสตร์	5	2	90,300	9,149
22.ห้องเรียน B	5	2	75,600	7,660
23.ห้องเรียน C	5	10	336,000	34,043
24.ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	6	3	132,300	13,404
25.ห้องพักครู	6	2	90,300	9,149
26.ห้องเรียน B	6	2	75,600	7,660
27.ห้องเรียน C	6	10	336,000	34,043

ตารางที่ 23 ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศ (ต่อ)

พื้นที่	ชั้นที่	จำนวน	BTU	อัตราบริโภคพลังงาน Power Consumption (W)
25.ห้องพักครู	6	2	90,300	9,149
26.ห้องเรียน B	6	2	75,600	7,660
27.ห้องเรียน C	6	10	336,000	34,043
28.ห้องโสตทัศนศึกษา	7	8	301,350	30,532
29.ห้องควบคุม	7	1	42,000	4,255
30.ห้องเรียน C	7	10	336,000	34,043

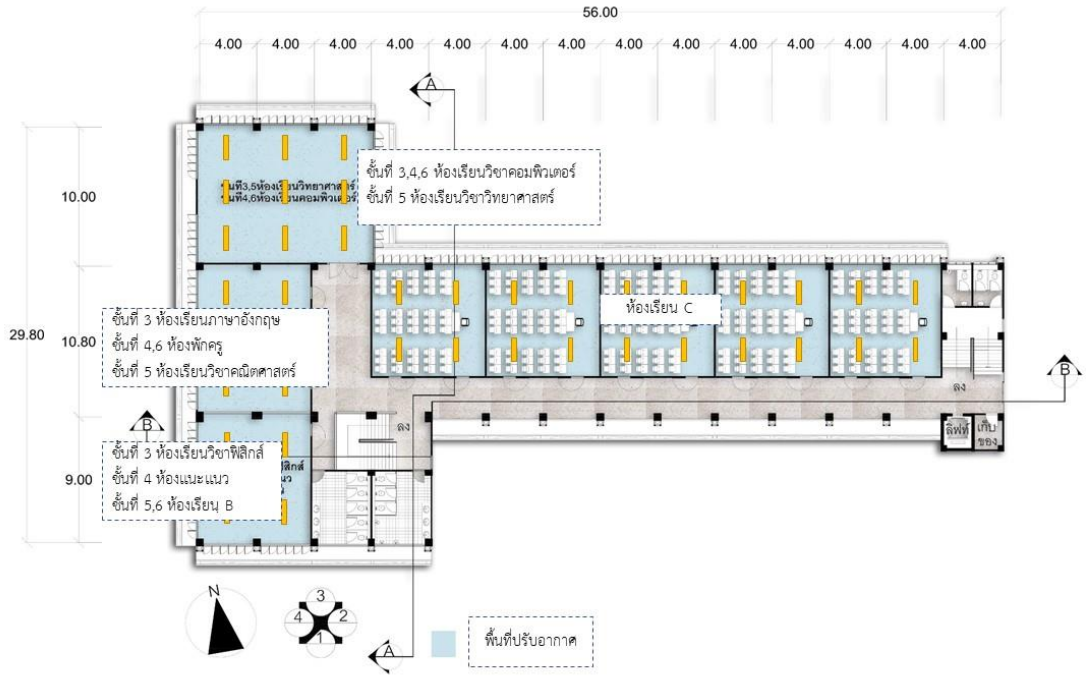
2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ภายในอาคารประกอบด้วยโคมไฟ 3 แบบ ได้แก่ โคมไฟฝังฝ้าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบมีตะแกรงป้องกันแสงขนาด 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด โคมติดเพดานหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด และโคมไฟดาวน์ไลท์ 15 วัตต์ ซึ่งโคมติดเพดานหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จะติดตั้งบริเวณที่เป็นห้องเรียนทั้งหมด ส่วนห้องสมุด ห้องโสตทัศนศึกษา ร้านค้า ห้องกิจการนักเรียน ห้องวิชาการและห้องผู้อำนวยการจะมีการติดตั้งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ครอบด้วยโคมตะแกรงอลูมิเนียม ตามภาพที่ 30-34 และตารางที่ 24-26

ภาพที่ 30 ตำแหน่งการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง



ภาพที่ 31 ผังการจัดวางดวงโคมชั้นที่ 1

ภาพที่ 32 ผังการจัดวางดวงโคมชั้นที่ 2



ภาพที่ 33 ผังการจัดวางดวงโคมชั้นที่ 3-6

ภาพที่ 34 ผังการจัดวางดวงโคมชั้นที่ 7

ตารางที่ 24 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างแบ่งเป็นรายห้อง

พื้นที่	ชั้นที่	โคม		บัลลาสต์ 6 W	กำลังไฟฟ้า W
		โคมติดเพดาน หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์T8 ขนาด 36 W X 2 หลอด	โคมไฟดาวน์ไลท์ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 15 W		
1.ห้องพยาบาล	1	3	-	6	252
2.ห้องธุรการ	1	3	-	6	252
3.ห้องสมุด	1	36	30	72	3,474
4.ห้องวิชาการและห้องเก็บเอกสาร	1	10	-	20	840
5.ห้องผู้อำนวยการ	1	3	-	6	252
6.ห้องกิจการ	1	3	-	6	252
7.ร้านขายของ	1	6	-	12	504
8.ห้องเรียนวิชาเคมี	2	9	-	18	756
9.ห้องเรียนวิชาชีวะ	2	6	-	12	504
10.ห้องเรียน B	2	4	-	8	336
11.ห้องเรียน C	2	20	-	40	1,680
12.ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	3	9	-	18	756
13.ห้องเรียนวิชาภาษาอังกฤษ	3	6	-	12	504
14.ห้องเรียนวิชาฟิสิกส์	3	4	-	8	336
15.ห้องเรียน C	3	20	-	40	1,680
16.ห้องคอมพิวเตอร์	4	9	-	18	756
17.ห้องพักครู	4	6	-	12	504
18.ห้องแนะแนว	4	4	-	8	336
19.ห้องเรียน C	4	20	-	40	1,680
20.ห้องเรียนวิชาวิทยาศาสตร์	5	9	-	18	756
21.ห้องเรียนวิชาคณิตศาสตร์	5	6	-	12	504
22.ห้องเรียน B	5	4	-	8	336
23.ห้องเรียน C	5	20	-	40	1,680
24.ห้องคอมพิวเตอร์	6	9	-	18	756
25.ห้องพักครู	6	6	-	12	504

ตารางที่ 25 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างแบ่งเป็นรายห้อง (ต่อ)

พื้นที่	ชั้นที่	หลอดไฟที่ใช้		บัลลาสต์ 6 W	กำลังไฟฟ้า W
		โคมติดเพดาน หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์T8 ขนาด 36 W X 2 หลอด	โคมไฟดาวน์ไลท์ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 15 W		
26.ห้องเรียน B	6	4	-	8	336
27.ห้องเรียน C	6	20	-	40	1,680
28.ห้องโสตทัศนศึกษา	7	16	33	32	1,839
29.ห้องควบคุม	7	2	-	4	168
30.ห้องเรียน C	7	20	-	40	1,680

ที่มา : รายละเอียดข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

ตารางที่ 26 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างแบ่งเป็นรายชั้น

ชั้นที่	พลังงานรวม (Total Power) W	พื้นที่ (Total Area) m^2	ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า (Power Density) W/m^2
1	5,826	572	10.186
2	3,276	582	5.629
3	3,528	604	5.841
4	3,528	604	5.841
5	3,528	604	5.841
6	3,528	604	5.841
7	3,687	647	5.699

ที่มา : รายละเอียดข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

3) อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร ได้แก่ พัดลมเพดาน เครื่องโปรเจคเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ ตามตารางที่ 27 และรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ ตามตารางที่ 28

ตารางที่ 27 รายละเอียดเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ห้องต่างๆ

ประเภทห้อง	เครื่องใช้ไฟฟ้า
1.ห้องธุรการ,ร้านขายของ,ห้องพยาบาล	พัดลมเพดาน,ตู้เย็น,กาต้มน้ำ
2 ห้องสมุด	เครื่องคอมพิวเตอร์,โทรทัศน์
3.ห้องเรียน	เครื่องคอมพิวเตอร์,พัดลมเพดาน

ตารางที่ 27 รายละเอียดเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ห้องต่างๆ (ต่อ)

ประเภทห้อง	เครื่องใช้ไฟฟ้า
4.ห้องโสตทัศนศึกษา	เครื่องโปรเจคเตอร์
5.ห้องควบคุม	เครื่องคอมพิวเตอร์,เครื่องขยายเสียง
6.ห้องพักครู	พัดลมเพดาน,เครื่องคอมพิวเตอร์
7.ห้องวิชาการและห้องเก็บเอกสาร	เครื่องคอมพิวเตอร์,ตู้เย็น,กาต้มน้ำ,โทรทัศน์,ไมโครเวฟ
8.ห้องกิจการและห้องผู้อำนวยการ	เครื่องคอมพิวเตอร์,อุปกรณ์สำนักงาน

ที่มา : รายละเอียดข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

ภาพที่ 35 แสดงการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 28 การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า

พื้นที่	ชั้นที่	กำลังไฟฟ้า(วัตต์)
1.ห้องพยาบาล	1	978
2.ห้องธุรการ	1	978
3.ห้องสมุด	1	4,000
4.ห้องวิชาการ+ห้องเก็บเอกสาร	1	2,000
5.ห้องผู้อำนวยการ	1	600
6.ห้องกิจการ	1	600
7.ร้านขายของ	1	1,862
8.ห้องเรียนวิชาเคมี	2	1,416
9.ห้องเรียนวิชาชีวะ	2	1,416
10.ห้องเรียน B	2	208
11.ห้องเรียน C	2	1,040
12.ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	3	25,000
13.ห้องเรียนวิชาภาษาอังกฤษ	3	1,416
14.ห้องเรียนวิชาฟิสิกส์	3	1,416

ตารางที่ 28 การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า (ต่อ)

พื้นที่	ชั้นที่	กำลังไฟฟ้า(วัตต์)
15.ห้องเรียน C	3	1,040
16.ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	4	25,000
17.ห้องพักครู	4	2,459
18.ห้องแนะแนว	4	4,186
19.ห้องเรียน C	4	1,040
20.ห้องเรียนวิชาวิทยาศาสตร์	5	1,416
21.ห้องเรียนวิชาคณิตศาสตร์	5	1,416
22.ห้องเรียน B	5	208
23.ห้องเรียน C	5	1,040
24.ห้องเรียนวิชาคอมพิวเตอร์	6	25,000
25.ห้องพักครู	6	2,459
26.ห้องเรียน B	6	208
27.ห้องเรียน C	6	1,040
28.ห้องโสตทัศนศึกษา	7	400
29.ห้องควบคุม	7	1,100
30.ห้องเรียน C	7	1,040

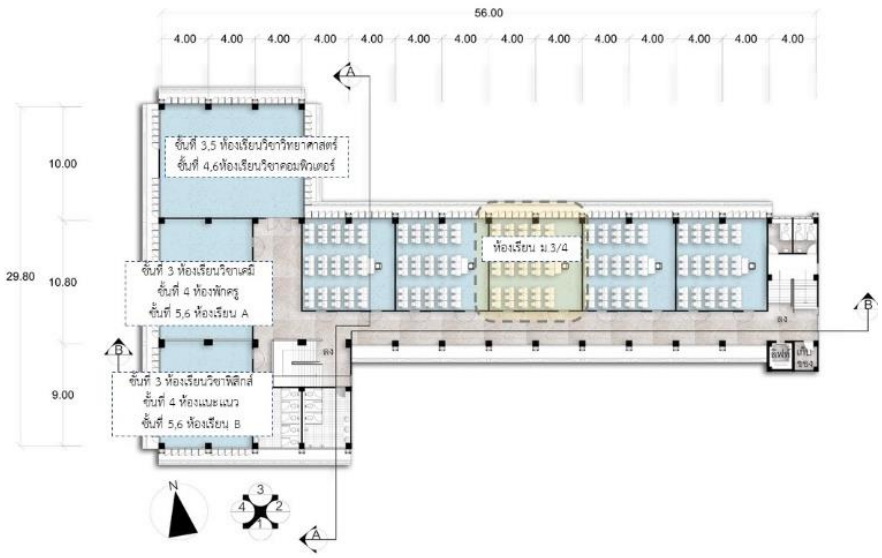
ที่มา : รายละเอียดข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

3.2 ขั้นตอนในการศึกษา

3.2.1 การศึกษานำร่อง

การตรวจสอบความเชื่อถือได้ (Reliability) ของแบบจำลองของอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาใช้ในการเป็นต้นแบบในการศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงของอาคารพิทักษ์สุนทร ให้มีคุณภาพแสงที่ดี ตรงตามมาตรฐานด้านแสงสว่างสำหรับห้องเรียน โดยการเลือกรูปแบบห้องเรียนที่มีจำนวนมากที่สุดในอาคารมาศึกษาเพื่อนำรูปแบบมาใช้ในการศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงสำหรับห้องเรียนรูปแบบอื่นๆในอาคารต่อไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

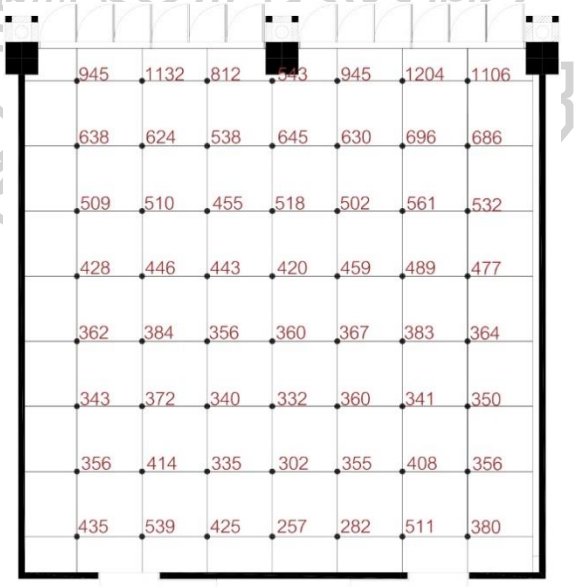
1) ตำแหน่งของห้องเรียนที่นำมาศึกษา คือห้องมัธยมศึกษาปีที่ 3/4 ชั้นที่ 5 อยู่บริเวณตรงกลางของแปลนรูปตัวที หน้าต่างอยู่ด้านทิศเหนือ และประตูด้านทิศใต้ ขนาดห้องกว้าง 8 m ยาว 8 m พื้นที่ 64 m^2



ภาพที่ 36 แสดงตำแหน่งห้องที่นำมาจำลองเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

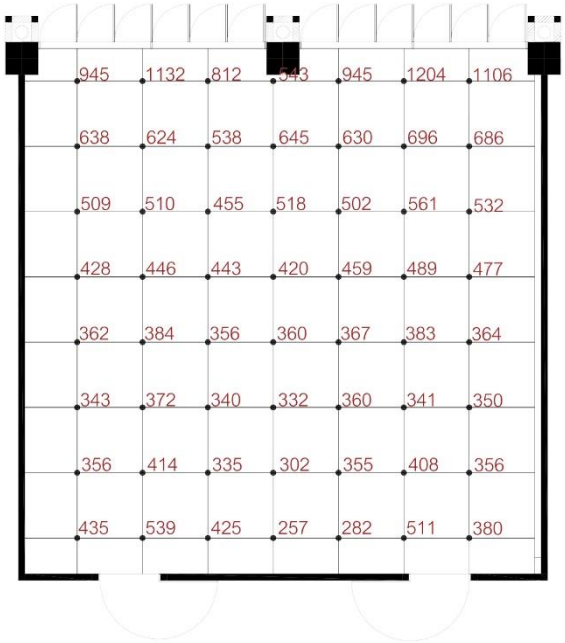
2) การวัดแสงสว่างในอาคารโดยเครื่องมือวัดแสงแบบพกพา ทำการวัดแสงสว่าง วันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ.2564 สภาพท้องฟ้าปลอดโปร่ง และวัดค่าความส่องสว่างที่ระดับพื้นที่ทำงานโดยมีความสูงจากพื้นทุกๆระยะ 0.75 m แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาดังนี้

เวลา 9.00-10.00 น.



ภาพที่ 37 ผลการวัดแสงด้วยเครื่องมือวัดแสงแบบพกพาเวลา 9.00-10.00 น.

เวลา 13.30-14.30 น.



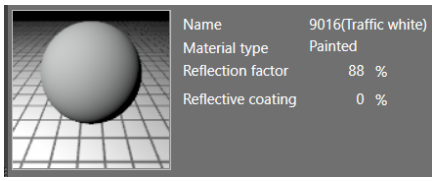
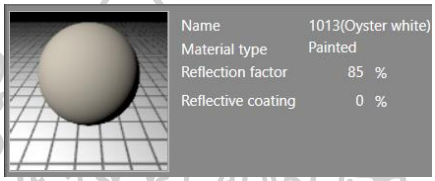
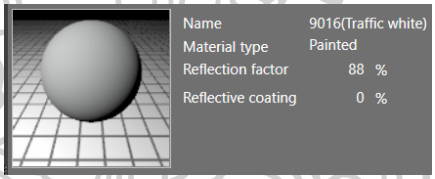
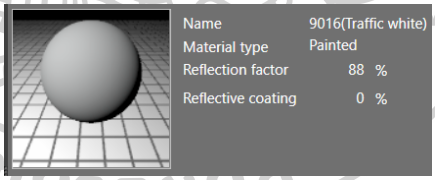
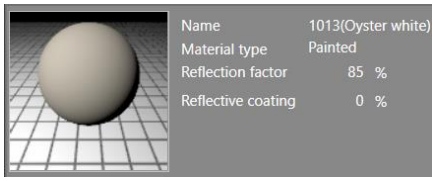
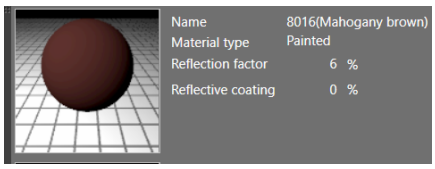
ภาพที่ 38 ผลการวัดแสงด้วยเครื่องมือวัดแสงแบบพกพาเวลา 13.30-15.30 น.

3) การจำลองแสงสว่างในห้องเรียนด้วยโปรแกรม Dialux Evo 9.2 เพื่อหาแบบจำลองที่มีความถูกต้อง เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงโดยตั้งค่าในโปรแกรมดังนี้ ตามตารางที่ 29-30

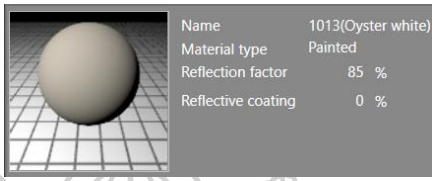
ตารางที่ 29 รายละเอียดการตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามการวัดในสถานการณ์จริง

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมตามการวัดในสถานการณ์จริง**
1) วันที่และเวลา	● 30 เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 ● เวลา 9.00-10.00 น.และ 13.30-14.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	● ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	● สูงจากพื้น 0.75 เมตร จำนวน 56 จุด

ตารางที่ 30 รายละเอียดการตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามสภาพห้องเรียนจริง

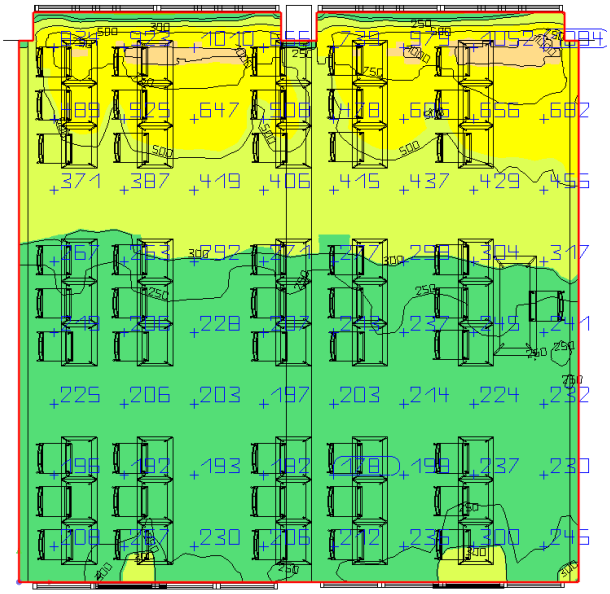
รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรมตามลักษณะสภาพห้องเรียนจริง
1) พื้น	● สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
2) ผนัง	● สีเหลือง (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
3) เพดาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 
4) คาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 
5) เสา	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
6) โต๊ะและเก้าอี้	● น้ำตาลมะฮอกกานี (Mahogany brown) ค่าการสะท้อนแสง 6% 

ตารางที่ 30 รายละเอียดการตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ตามสภาพห้องเรียนจริง (ต่อ)

รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรมตามลักษณะสภาพห้องเรียนจริง
7) ช่องเปิด	● ช่องเปิดด้านล่าง ค่าการส่องผ่านของแสง 89% ตั้งค่าตามการวัดในสภาพห้องเรียนจริง
8) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 

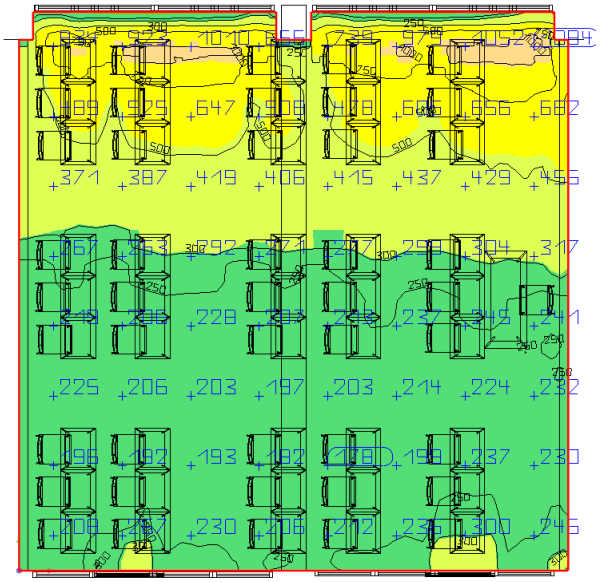
ที่มา : โปรแกรม Dialux evo 9.2

เวลา 9.30 น. ช่วงเช้า



ภาพที่ 39 ผลการจำลองแสงเวลา 9.30 น.ในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

เวลา 14.00 น. ช่วงบ่าย



ภาพที่ 40 ผลการจำลองแสงเวลา 14.00 น. ในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

3.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยว (Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เป็นการศึกษาทางสถิติที่ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ทราบค่าเรียกว่า ตัวแปรอิสระ (independent variation) โดยแทนค่าในสมการด้วย x ซึ่งสามารถนำมาประมาณค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่งคือ ตัวแปรตาม (dependent variation) ซึ่งแทนด้วย y การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่สามารถบอกได้ว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองจะอยู่ในรูปแบบใด ๆ เช่น เส้นตรง เส้นโค้ง ซึ่งการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (simple regression analysis) สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นหรือเส้นตรงดังนี้ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2564)

$$y = a + bx$$

เมื่อ a,b เป็นค่าคงตัว และ x,y เป็นตัวแปร

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอย คือ เพื่อพยากรณ์ตัวแปรหนึ่ง โดยใช้ค่าที่ทราบของตัวแปรอีกตัวหนึ่งโดยอาศัยหลักการ $y = a + bx$ ซึ่งมีไว้เพื่อประมาณค่าของตัวแปรที่ไม่

ทราบค่า y เมื่อทราบค่าของตัวแปร x เรียกสมการนี้ว่าสมการการถดถอย เมื่อทราบสมการการถดถอยเราสามารถพยากรณ์ค่า y จากค่า x ที่กำหนดให้ได้

“ค่าสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวและความสัมพันธ์นี้จะบอกให้ทราบว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับใด เขียนแทนด้วยตัวย่อ R ซึ่งสามารถบ่งบอกว่าแบบจำลองมีความสมรูปกับข้อมูลมากน้อย หลังจากที่คำนวณค่า R แล้ว จะต้องทดสอบว่าค่า R ที่คำนวณได้นั้นมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของค่า R ก่อน เมื่อพบว่า R มีนัยสำคัญก็จะมั่นใจได้ว่ากลุ่มตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามค่า R^2 เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนาย จะชี้ถึงสัดส่วนที่กลุ่มตัวแปรอิสระสัมพันธ์กับตัวแปรตาม กล่าวคือ เป็นสัดส่วนของความแปรปรวนในตัวแปรตามที่อาจอธิบายได้โดยกลุ่มของตัวแปรอิสระกลุ่มนั้น โดยทั่วไปจะเสนอในรูปร้อยละโดยเอา 100 คูณ R^2 ค่า R จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง +1.00 ไม่มีค่าที่เป็นลบ (ชลิดา ตระกูลสุนทร, 2558)

การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามารถแปลงคะแนนได้ 4 ประการ ได้แก่

1) ปริมาณของค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์

2) ทิศทางของความสัมพันธ์ว่าสัมพันธ์กันทางบวกหรือทางลบ

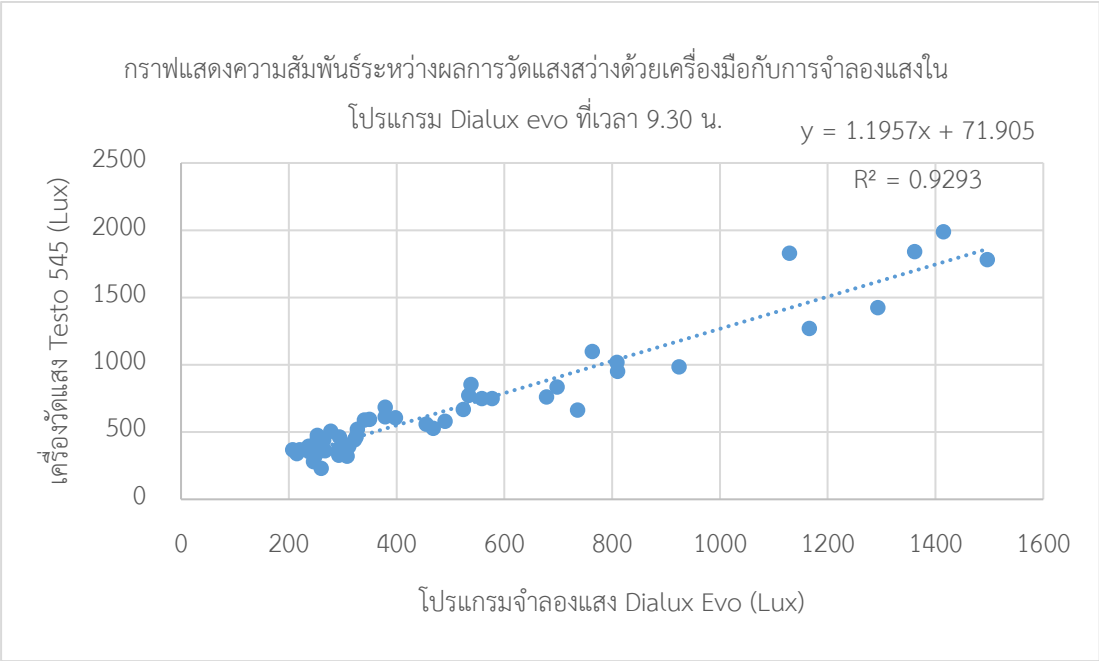
3) มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยการทดสอบสมมติฐาน

4) สัมพันธ์กันเท่าไร เป็นการบอกความมากน้อยของความสัมพันธ์ ซึ่งอาจกำหนดได้ดังนี้

ค่าสหสัมพันธ์	**ความหมาย**
0.85 – 1.00	มีความสัมพันธ์มากที่สุด
0.71 – 0.84	มีความสัมพันธ์มาก
0.51 – 0.70	มีความสัมพันธ์น้อย
0.00 – 0.50	มีความสัมพันธ์น้อยที่สุด”

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นมาศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างระหว่างการวัดแสงด้วย เครื่องมือวัดแสงลักซ์แบบพกพา รุ่น Testo 545 กับการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ซึ่งเวลาที่ใช้ของทั้งสองรูปแบบจะต้องใกล้เคียงหรืออยู่ในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทั้งสองรูปแบบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยเวลาที่ใช้วัดแสงที่นำมาศึกษา 2 ช่วงเวลาดังนี้

1) เวลา 9.00-10.00 น.



ภาพที่ 41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดแสงสว่างด้วยเครื่องมือกับการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ที่เวลา 9.30 น. เดือนกรกฎาคม

จากการนำข้อมูลการจากเครื่องวัดแสง Testo 545 และการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ช่วงเวลา 9.00-10.00 น.มาวิเคราะห์ด้วยกราฟการการถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยว พบว่าความส่องสว่างที่ได้จากการวัดในสถานที่จริงกับความส่องสว่างที่ได้จากโปรแกรมจำลองแสงสว่าง Dialux Evo 9.2 มีความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน และมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.93 ซึ่งอยู่ในช่วงมีความสัมพันธ์มากที่สุด

ตารางที่ 31 ค่าทางสถิติของข้อมูลความส่องสว่างในช่วงเวลา 9.00-10.00 น.

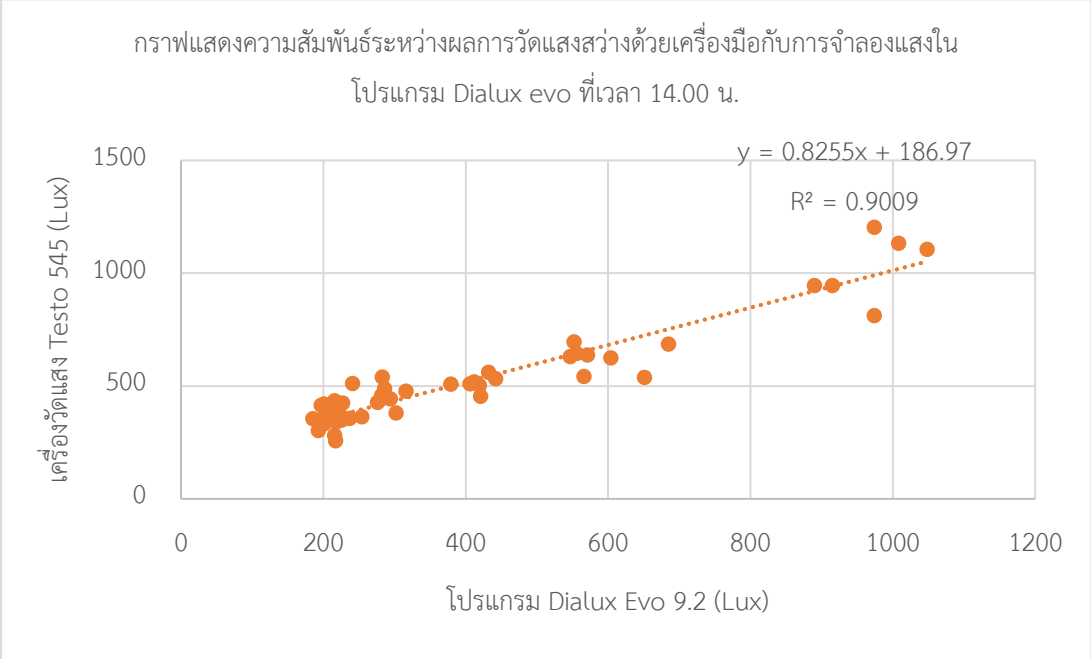
Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
เครื่องวัดแสง Testo 545	56	232.00	1990.00	652.84	422.79
โปรแกรมจำลองแสง Dialux evo 9.2	56	207.00	1496.00	485.86	340.87

จากตารางการเปรียบเทียบข้อมูลจากเครื่องวัดแสง Testo 545 กับโปรแกรมจำลองแสง Dialux Evo 9.2 ค่ามากที่สุด (Maximum) ของข้อมูลจากโปรแกรมจำลองแสงมีค่าน้อยกว่า 494 lux แต่ค่าที่น้อยที่สุด (Minimum) และค่าเฉลี่ย (Mean) มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นค่าที่ได้จาก

โปรแกรมจำลองแสง Dialux Evo 9.2 จึงมีความใกล้เคียงกับการวัดแสงในสภาพห้องเรียนจริง และจะได้นำมาใช้ในการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างในขั้นตอนต่อไป

2) เวลา 13.30-14.30 น.



ภาพที่ 42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดแสงสว่างด้วยเครื่องมือกับการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo ที่เวลา 14.00 น. เดือนกรกฎาคม

จากการนำข้อมูลการจากเครื่องวัดแสง Testo 545 และการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ช่วงเวลา 13.30-14.30 น.มาวิเคราะห์ด้วยกราฟการการถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยว พบว่าความส่องสว่างที่ได้จากการวัดในสถานที่จริงกับความส่องสว่างที่ได้จากโปรแกรมจำลองแสงสว่าง

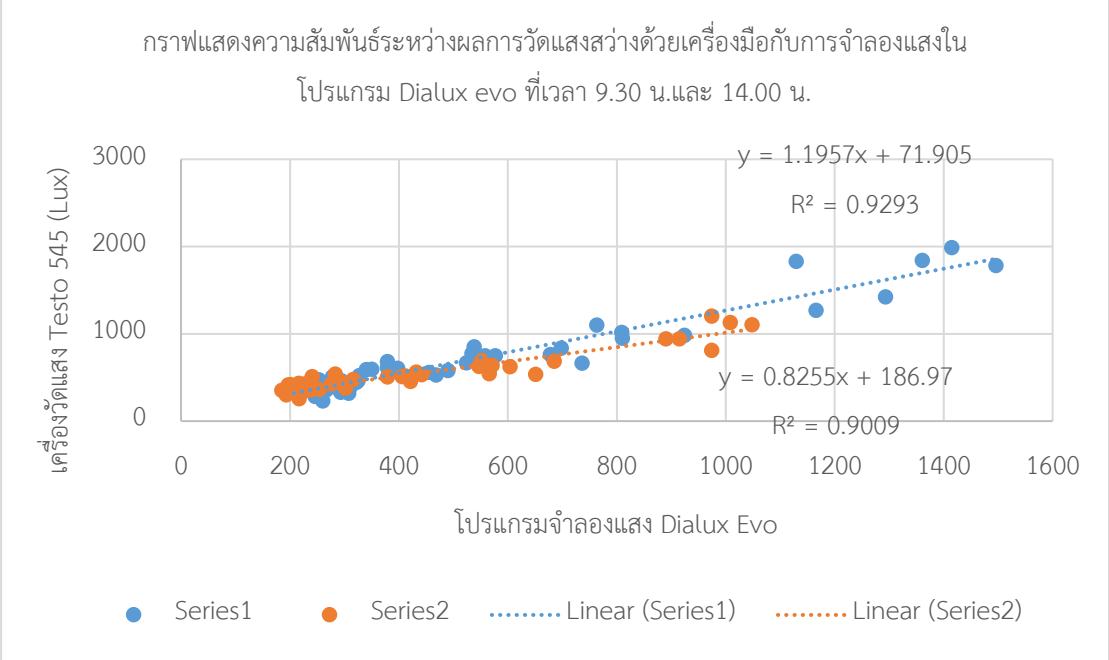
Dialux Evo 9.2 มีความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน และมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.90 อยู่ในช่วงมีความสัมพันธ์มากที่สุด

ตารางที่ 32 ค่าทางสถิติของข้อมูลความส่องสว่างในช่วงเวลา 13.30-14.30 น.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
เครื่องวัดแสง Testo 545	56	185.00	1048.00	384.8571	244.76745
โปรแกรมจำลองแสง Dialux evo	56	257.00	1204.00	504.6786	212.88718

จากตารางการเปรียบเทียบข้อมูลจากเครื่องวัดแสง Testo 545 กับโปรแกรมจำลองแสง Dialux Evo 9.2 ค่ามากที่สุด (Maximum) ค่าที่น้อยที่สุด (Minimum) และค่าเฉลี่ย (Mean) มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลองแสง Dialux Evo 9.2 จึงมีความใกล้เคียงกับการวัดแสงในสภาพห้องเรียนจริง และจะได้นำมาใช้ในการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดแสงสว่างด้วยเครื่องมือกับการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ที่เวลา 9.30 น.และ 14.00 น. เดือนกรกฎาคม

จากการนำข้อมูลของทั้งสองช่วงเวลามาเปรียบเทียบกันด้วยค่าสหสัมพันธ์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงเวลา 9.00-10.00 น. มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าช่วงเวลา 13.30-14.30 น. จึงอาจกล่าวได้ว่าในช่วงเวลา 9.00-10.00 น.ข้อมูลที่ได้จากการวัดแสงสว่างในสภาพห้องเรียนจริงกับข้อมูลจากการจำลองห้องเรียนในโปรแกรม Dialux evo 9.2 มีความสัมพันธ์กัน เช่น ถ้าค่า x มาก y ก็จะมีค่ามากตามค่า X และเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า X ด้วยเช่นกัน

ภาพที่ 44 ขั้นตอนก่อนการนำแบบจำลองแสงในอาคารมาใช้ในการศึกษา

3.2.3 ตัวแปรการศึกษา

ตัวแปรต้น

ลักษณะของกรอบอาคาร

การเพิ่มค่าความส่องสว่าง เช่น 1) การเปลี่ยนชนิดกระจก 2) การทาสีภายนอกและภายใน 3) สีของเฟอร์นิเจอร์ 4) การเพิ่มช่องเปิดด้านทิศใต้

การลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ผนังด้านนอกอาคาร เช่น 1) การเปลี่ยนชนิดกระจก 2) การทาสีภายนอก

ตัวแปรตาม

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV)

2) ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)

ตัวแปรควบคุม คือ ที่ตั้ง สภาพท้องฟ้า รูปแบบห้องที่ใช้ในการศึกษาจะต้องกำหนดให้มีขนาดความกว้าง ความสูง

3.2.4 ขั้นตอนการศึกษา

1) การศึกษากฎหมาย มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารด้านพลังงานและแสงสว่างในอาคาร เช่น กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ 2563 เกณฑ์คุณภาพแสงสว่างที่ต้องการของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง และมาตรฐานแสงสว่าง IES

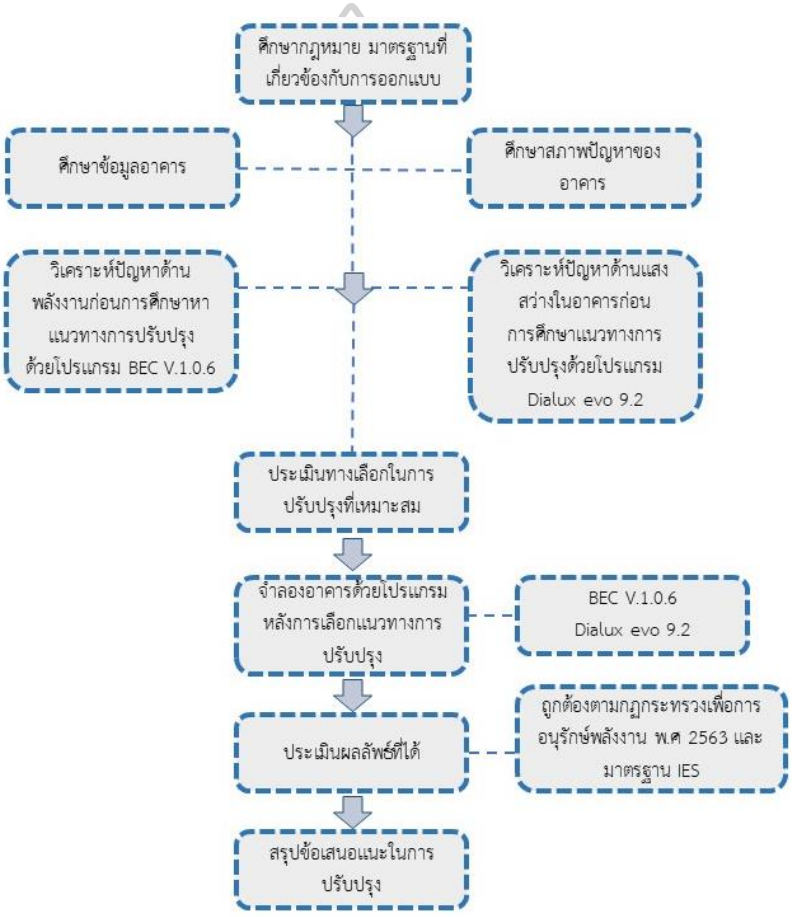
2) การศึกษาข้อมูลอาคารและสภาพปัญหา โดยผู้วิจัยแบ่งวิธีการศึกษาสภาพปัญหาของอาคารเป็น 3 ส่วน คือ 1) การสัมภาษณ์บุคลากรภายในโรงเรียนเกี่ยวกับปัญหาด้านการใช้งานอาคาร และเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้ โดยการถ่ายภาพ และจดบันทึก 2) ใส่รายละเอียดลักษณะของอาคารภายในโปรแกรม BEC V.1.0.6 เช่น ข้อมูลวัสดุ ลักษณะกรอบอาคาร ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้า และรายละเอียดแผงกันแดด และประเมินผล 3) การวัดแสงสว่างด้วยเครื่องวัดแสงรุ่น Testo 545 และจดบันทึกผลการวัดแสงสว่างในสภาพห้องเรียนจริงที่นำมาเป็นแบบในการศึกษา และจำลองแสงด้วยโปรแกรม Dialux Evo 9.2 โดยกำหนดค่าภายในโปรแกรมตามสภาพห้องจริง และนำแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) ในรูปแบบสมการเชิงเส้น เพื่อดูความสัมพันธ์ของการวัดแสงสว่างในสภาพห้องเรียนจริงกับการจำลองในโปรแกรม

3) การวิเคราะห์ปัญหาด้านพลังงานและแสงสว่าง หลังจากใช้โปรแกรมในการประเมินผลด้านการใช้พลังงานในอาคารและแสงสว่างก่อนการปรับปรุง ผู้วิจัยจึงนำผลด้านพลังงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) และผลการจำลองแสงสว่างนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานแสงสว่าง เพื่อประเมินทางเลือกในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารด้านพลังงานและแสงสว่างต่อไป

4) การประเมินทางเลือกในการปรับปรุง ผู้วิจัยวิเคราะห์แนวทางเลือกที่สามารถปรับปรุงได้ง่าย ไม่กระทบต่อโครงสร้างหลัก และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV) และนำแนวทางเลือกไปจำลองโดยใช้โปรแกรม BEC V.1.0.6 และ โปรแกรม Dialux Evo 9.2 กับห้องที่ใช้เป็นต้นแบบในการศึกษา

5) ผู้วิจัยนำทางเลือกที่ได้จากการประเมินตามข้อ 3.4.2 ตารางที่ 44 มาจำลองอาคารด้วยโปรแกรม BEC V.1.0.6 และโปรแกรม Dialux Evo 9.2 โดยคำนึงถึงเรื่องความร้อนและแสงสว่างภายในอาคารกับห้องต้นแบบในการศึกษา และนำแนวทางการปรับปรุงมาใช้กับห้องเรียนรูปแบบอื่นๆ

6) สรุปข้อเสนอแนะในการปรับปรุง ผู้วิจัยสรุปแนวทางที่ใช้ในการปรับปรุงด้านพลังงานและแสงสว่างกับห้องเรียนรูปแบบต่างๆให้กับโรงเรียนนาคประสิทธิ์ และเพื่อเป็นแนวทางสำหรับอาคารเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน



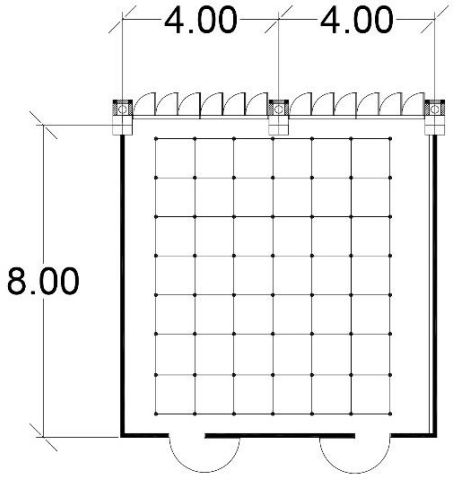
ภาพที่ 45 สรุปขั้นตอนในการศึกษา

3.3 เครื่องมือในการศึกษา

3.3.1 เครื่องมือวัดแสงลักซ์แบบพกพา รุ่น Testo 545 เหมาะสำหรับการวัดค่าความส่องสว่างตามพื้นที่ต่างๆ สามารถอ่านค่าได้อยู่ในช่วง 0-100,000 lux

ภาพที่ 46 แสดงเครื่องมือวัดแสงลักซ์แบบพกพา รุ่น Testo 545

3.3.2 แบบบันทึกผลวัดแสงสว่างในห้องเรียน เป็นแบบบันทึกที่มีจุดในการวัดทั้งหมด 56 จุด โดยระยะห่างระหว่างจุดประมาณ 1 m และมีการบันทึกข้อมูลเบื้องต้น ได้แก่ ข้อมูลวันที่และเวลา สภาพท้องฟ้า ตำแหน่งของห้อง จำนวนที่นั่ง รูปแบบวงจรสวิตซ์ไฟฟ้า และความสูงของโต๊ะเรียน



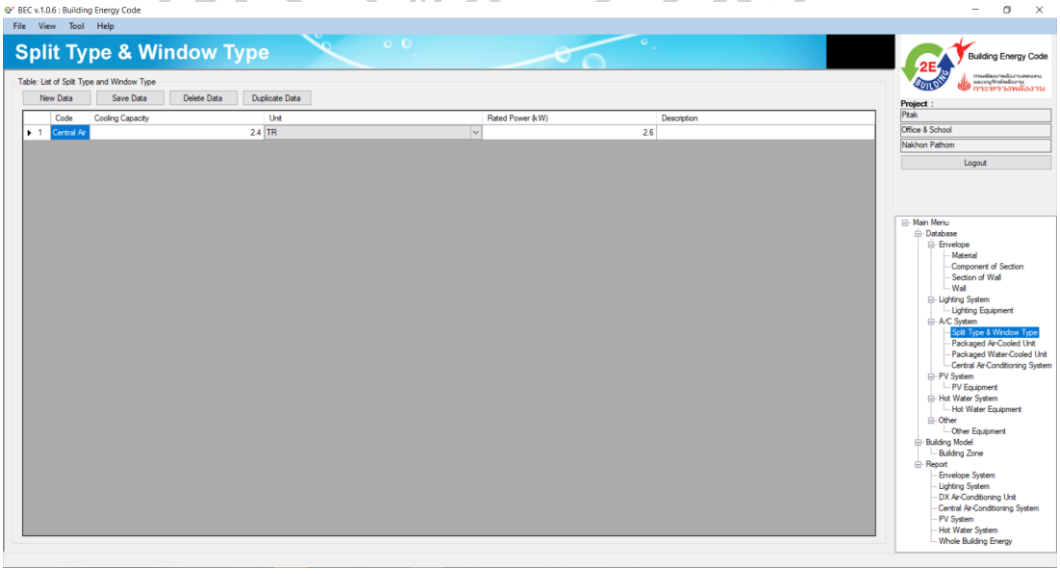
ภาพที่ 47 แสดงแบบบันทึกผลวัดแสงสว่าง

ภาพที่ 48 แสดงรูปถ่ายการบันทึกผลและวัดแสงสว่าง

3.3.3 โปรแกรมจำลองอาคารด้านพลังงาน คือ โปรแกรม BEC V.1.0.6 เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อวิเคราะห์อาคารให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code) ซึ่งหลักการทำงานของโปรแกรม ประกอบด้วย

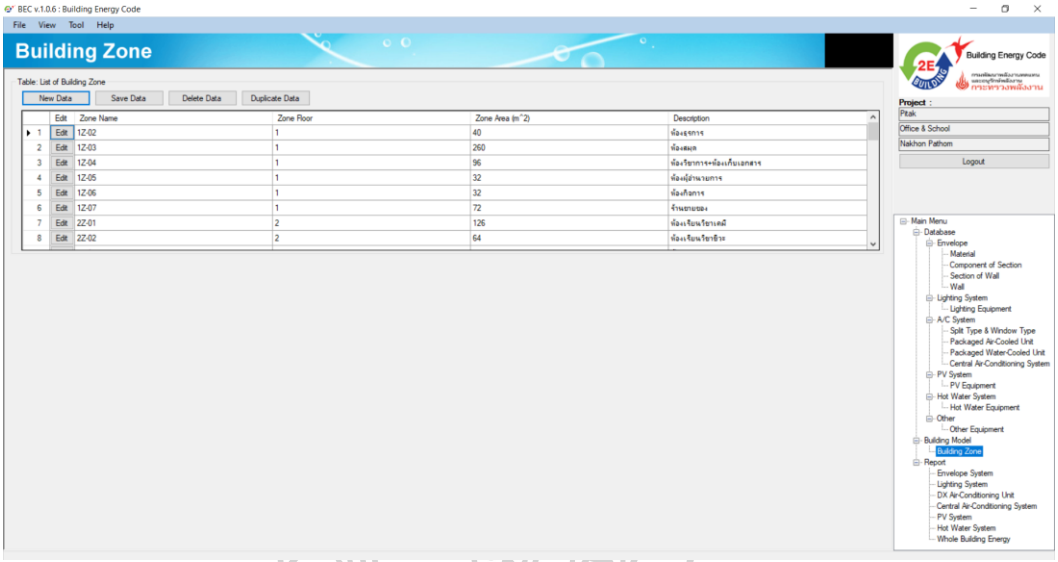
1) ส่วนแสดงรายละเอียดของโครงการ ประกอบด้วย ชื่ออาคาร ประเภทของอาคาร และที่ตั้ง

2) เมนูหลัก (Main Menu) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับป้อนรายละเอียดข้อมูลอาคาร ได้แก่ ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง ทิศทางของผนัง อุปกรณ์ของระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเครื่องทำน้ำร้อน และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ



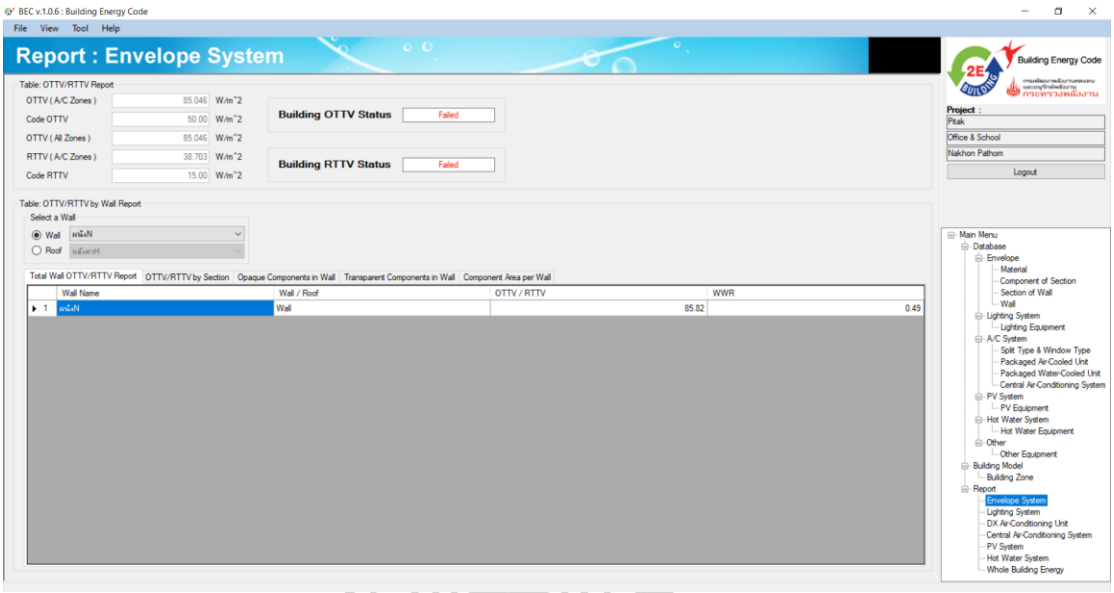
ภาพที่ 49 แสดงเมนูหลักที่ใช้ป้อนข้อมูลอาคาร (ที่มา : โปรแกรม BEC V.1.0.6)

3) ส่วนอธิบายรายละเอียดพื้นที่ภายใน (Building Zone) ประกอบด้วยข้อมูลพื้นที่ผนัง จำนวนหลอดไฟ จำนวนเครื่องปรับอากาศ และจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า



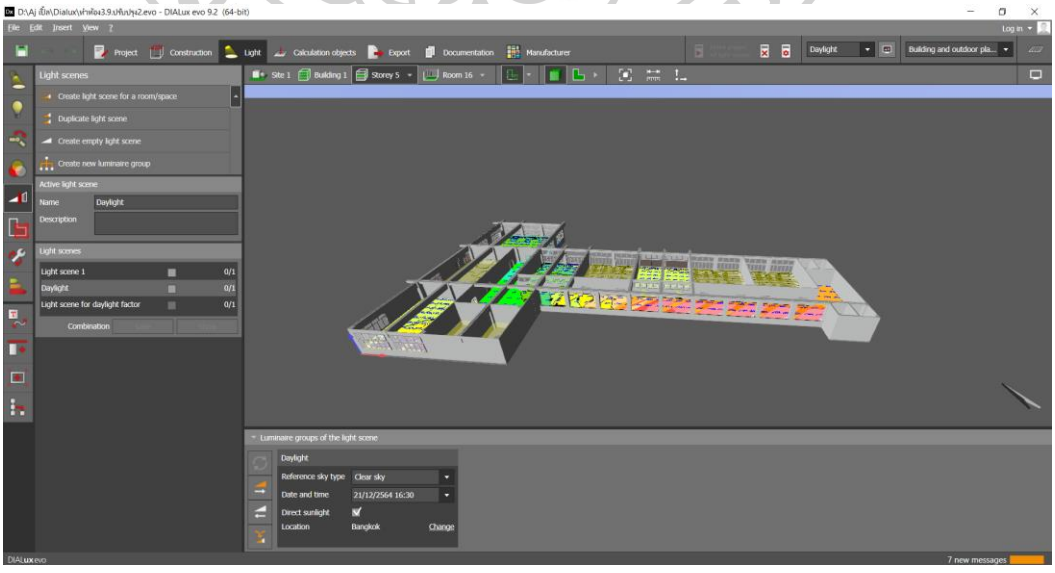
ภาพที่ 50 แสดงส่วนอธิบายรายลายละเอียดภายใน (ที่มา : โปรแกรม BEC V.1.0.6)

4) ส่วนแสดงผลประเมินการใช้พลังงาน (Report) เปรียบเทียบกับเกณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุด ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ สมรรถนะด้านพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สมรรถนะด้านพลังงานชองระบบเครื่องทำน้ำร้อน และผลการประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

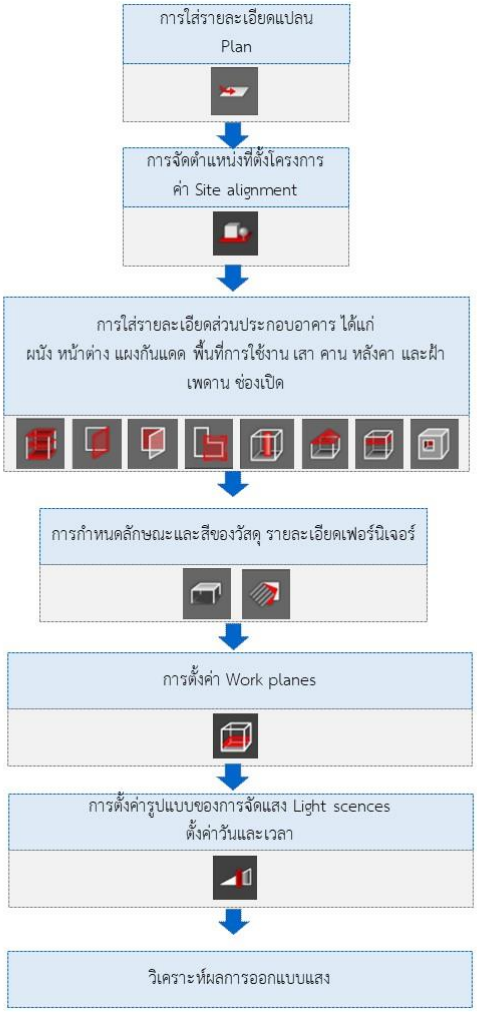


ภาพที่ 51 แสดงส่วนการประเมินผลการใช้พลังงาน (ที่มา : โปรแกรม BEC V.1.0.6)

3.3.4 โปรแกรมจำลองอาคารด้านแสงสว่าง คือ โปรแกรม Dialux evo 9.2 เป็นโปรแกรมที่ใช้จำลองระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยจำลองในรูปแบบสามมิติ เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่ายและนิยมใช้ในปัจจุบัน โดยเลือกรูปแบบของงานที่ต้องการออกแบบแสงสว่างและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าการส่องผ่านของแสง ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุ ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมจะแสดงด้วยค่าความส่องสว่าง (Illuminance) มีหน่วยเป็น ลักซ์ (Lux) ตามตารางกริดการคำนวณและรายงานผลในรูปแบบเอกสาร Portable Document Format (PDF)



ภาพที่ 52 แสดงโปรแกรม Dialux Evo 9.2 (ที่มา : โปรแกรม Dialux Evo 9.2)



แผนภูมิที่ 2 วิธีการทำงานบนโปรแกรม Dialux Evo 9.2

3.4 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร

ก่อนการศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร ส่วนที่จำเป็นต้องรู้ คือ ข้อมูลวัสดุที่ใช้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารมีอิทธิพลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารอย่างมาก และสามารถช่วยในการพิจารณาแนวทางก่อนการปรับปรุงได้ เช่น สภาพอาคารเดิมของอาคารทาสีด้วยสีเข้ม อาจพิจารณาแนวทางการปรับปรุงอาคารจากข้อมูลเรื่องสีที่ใช้ทาได้

3.4.1 การศึกษาข้อมูลวัสดุและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

1) ผนังทึบ วัสดุที่ใช้ทำผนังทึบ คือ ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนเรียบทาสีครีมอ่อน หนา 0.10 m โดยมีคุณสมบัติตามตารางที่ 33

ตารางที่ 33 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำผนังทึบ

ชื่อวัสดุ	ความหนา m	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน W/m·°C	ความหนาแน่น kg/m^3	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ kJ/kg·°C
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1,860	0.84
อิฐมอญ	0.07	0.498	1,615	0.79
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1,860	0.84

2) ผนังโปร่งแสง วัสดุที่ใช้ทำผนังโปร่งแสง คือ กระจกใส หนา 0.004 m สีกรอบบานด้านนอกเป็นสีขาว ส่วนด้านในเป็นสีน้ำตาล วัสดุเป็นไม้เนื้อแข็ง ติดตั้งอยู่ด้านทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันตก บริเวณห้องเรียนชั้นที่ 1-7 และกระจกสีเทา ติดตั้งด้านทิศใต้ บริเวณห้องวิชาการ ห้องผู้อำนวยการ ห้องกิจการ และห้องพยาบาล ชั้นที่ 1 โดยมีคุณสมบัติตามตารางที่ 34

ตารางที่ 34 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำผนังโปร่งแสง

ชื่อวัสดุ	ความหนา m	ค่าการถ่ายเทความร้อน U-value W/m^2	ค่าการส่องผ่านแสง VLT	ค่า SHGC
กระจกใส	0.004	5.81	0.89	0.84
กระจกสีเทา	0.006	0.90	0.38	0.43
การจกฝ้าด้านบน	0.013	5.5	0.43	0.51

3) พื้นที่ผนังทึบและผนังโปร่งแสง อาคารพิทักษ์สุนทรมีพื้นที่ส่วนของผนังทึบบริเวณห้องปรับอากาศ เมื่อเทียบกับพื้นที่กระจก พบว่าพื้นที่ผนังทึบมากกว่า 3 เท่าของพื้นที่กระจก ตามตารางที่ 35

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่ผนังทึบของห้องปรับอากาศกับพื้นที่ผนังทั้งหมด

ชั้น	ทิศของผนัง	พื้นที่ผนังทึบของห้องปรับอากาศ m^2	พื้นที่กระจกของห้องปรับอากาศ m^2	พื้นที่รวม m^2
ชั้นที่ 1	ทิศเหนือ	270	91	361
	ทิศใต้	169	14	183

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่ผนังทึบของห้องปรับอากาศกับพื้นที่ผนังทั้งหมด (ต่อ)

ชั้น	ทิศของผนัง	พื้นที่ผนังทึบของห้องปรับอากาศ m^2	พื้นที่กระจกของห้องปรับอากาศ m^2	พื้นที่รวม m^2
	ทิศตะวันออก	52	6	58
	ทิศตะวันตก	102	40	142
ชั้นที่ 2	ทิศเหนือ	182	91	273
	ทิศใต้	174	14	188
	ทิศเหนือ	182	91	273
	ทิศใต้	174	14	188
	ทิศตะวันออก	35	14	49
	ทิศตะวันตก	98	42	140
ชั้นที่ 3	ทิศเหนือ	182	91	273
	ทิศใต้	174	14	188
	ทิศตะวันออก	35	14	49
	ทิศตะวันตก	105	47	152
ชั้นที่ 4	ทิศเหนือ	182	91	273
	ทิศใต้	174	14	188
	ทิศตะวันออก	35	14	49
	ทิศตะวันตก	105	47	152
ชั้นที่ 5	ทิศเหนือ	182	91	273
	ทิศใต้	174	14	188
	ทิศตะวันออก	35	14	49
	ทิศตะวันตก	105	47	152
ชั้นที่ 6	ทิศเหนือ	182	91	273
	ทิศใต้	174	14	188
	ทิศตะวันออก	35	14	49
	ทิศตะวันตก	105	47	152
ชั้นที่ 7	ทิศเหนือ	182	91	273
	ทิศใต้	174	14	188
	ทิศตะวันออก	35	14	49
	ทิศตะวันตก	105	47	152

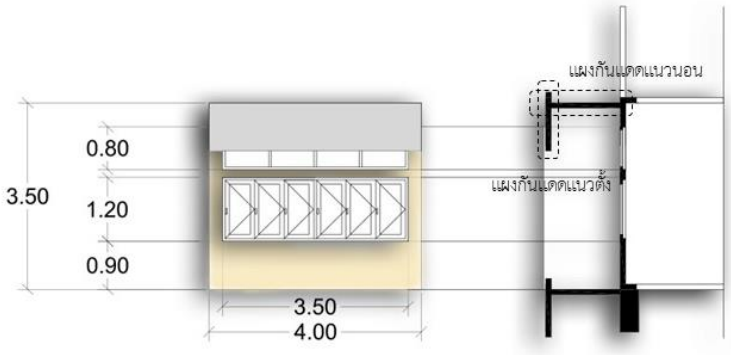
4) อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนัง (WWR) คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณาตามตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV/RTTV) และอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR)

ผนังด้านที่พิจารณา	**OTTV** W/m^2	**WWR**
ทิศเหนือ	85.82	0.49
ทิศใต้	91.61	0.49
ทิศตะวันออก	82.88	0.44
ทิศตะวันตก	82.67	0.50

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

5) รายละเอียดอุปกรณ์กันแดด ทำจากคอนกรีตมีทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ติดตั้งในทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก แผงกันแดดแนวนอนติดตั้งสูงจากพื้น 3.50 m ขนาดกว้าง 1.40 m และแผงกันแดดแนวตั้ง ติดตั้งสูงจากพื้น 3.50 m ขนาดกว้าง 0.90 m ตามตารางที่ 37 และภาพที่ 53



ภาพที่ 53 แสดงลักษณะหน้าต่างและแผงกันแดดของอาคารพิทักษ์สุนทร

ตารางที่ 37 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์กันแดด

ตำแหน่งของทิศที่ติดตั้งแผงกันแดด	**ชั้นที่**	**ขนาดหน้าต่าง m**	**ขนาดแผงกันแดด m**	**ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของอุปกรณ์กันแดด**
ทิศเหนือ	1	0.8X3.5	1.4X3.5	0.98
		1.2X3.5	0.9x3.5	0.90
	2-7	0.8X3.5	1.4X3.5	0.90
		1.2X3.5	0.9x3.5	0.78

ตารางที่ 37 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์กันแดด (ต่อ)

ตำแหน่งของทิศที่ติดตั้งแผงกันแดด	ชั้นที่	ขนาดหน้าต่าง m	ขนาดแผงกันแดด m	ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของอุปกรณ์กันแดด
ทิศใต้	1	0.8X3.5	1.4X3.5	0.65
		1.2X3.5	0.9x3.5	0.90
	2-7	0.8X3.5	1.4X3.5	0.20
		1.2X3.5	0.9x3.5	0.90
ทิศตะวันออก	2-7	0.8X3.5	1.4X3.5	0.92
		1.2X3.5	0.9x3.5	0.97
ทิศตะวันตก	1	2.5X4.0	1.4X3.5	0.80
	2-7	0.8X3.5	1.4X3.5	0.20
		1.2X3.5	0.9x3.5	0.75

6) หลังคา แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นหลังคากระเบื้องลอนคู่สีซีเมนต์ หนา 1.00 m และหลังคาคอนกรีตปูกระเบื้องสีเหลือง หนา 0.25 m ตามตารางที่ 38-39

ตารางที่ 38 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำหลังคากระเบื้องลอนคู่

ชื่อวัสดุ	ความหนา m	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน W/m°C	ความหนาแน่น kg/m^3	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ kJ/kg°C	RTTV W/m^2
กระเบื้องลอนคู่	0.0055	0.395	2000	1	45.40
ช่องอากาศ Air Gap Resistance=0.458 พื้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	1.0000				
แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.0090	0.191	880	1.09	

ตารางที่ 39 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำหลังคาคอนกรีตปูกระเบื้อง

ชื่อวัสดุ	**ความหนา m**	**ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน W/m˚C**	**ความหนาแน่น kg/m^3**	**ค่าความจุความร้อนจำเพาะ kJ/kg˚C**	**RTTV W/m^2**
หลังคาคอนกรีตปูกระเบื้องสีเหลือง ขนาด 0.20×0.20 m	0.006	0.338	2100	0.800	22.03
ปูนฉาบ	0.003	0.720	1860	0.840	
คอนกรีต	0.100	1.442	2400	0.920	
ช่องอากาศ	0.600				
แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.009	0.191	880	1.090	

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

3.4.2 ผลการประเมินอาคารด้วยโปรแกรม BEC V.1.0.6

จากการใช้โปรแกรม BEC V.1.0.6 เพื่อประมวลผลระบบกรอบอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศในกรอบอาคารเดิมผลปรากฏ ดังนี้

1) การใช้พลังงานในอาคาร ประกอบด้วยการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารพิทักษ์สุนทร (อาคารกรณีศึกษา) ก่อนการปรับปรุงมีค่าการใช้ต่อปีตามตารางที่ 40 ดังนี้

ตารางที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานสุทธิของอาคารอ้างอิงกับอาคารพิทักษ์สุนทร

	การใช้พลังงานสุทธิ (อาคารอ้างอิง) kWh/Year	**การใช้พลังงานสุทธิ (อาคารพิทักษ์สุนทร) kWh/Year**	**การประเมิน**
การใช้พลังงานในอาคาร	713,929	662,236	ผ่าน

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร ประกอบด้วยการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ผนังกระจก อุปกรณ์บังแดด และหลังคา ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบของอาคารพิทักษ์สุนทรเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) ตามตารางที่ 41 ดังนี้

ตารางที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของอาคารพิทักษ์สุนทรกับเกณฑ์ที่กำหนด

	เกณฑ์ที่กำหนด	**อาคารพิทักษ์สุนทร**	**การประเมิน**
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง(OTTV) W/m^2	50	85.05	ไม่ผ่าน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา(RTTV) W/m^2	15	38.70	ไม่ผ่าน

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

3) ระบบแสงสว่างที่ใช้สำหรับให้แสงสว่างภายในอาคาร ได้แก่ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 และโคมไฟดาวน์ไลท์ ตามตารางที่ 42

ตารางที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของอาคารอ้างอิงกับอาคารพิทักษ์สุนทร

	เกณฑ์ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด W/m^2	**ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของอาคารพิทักษ์สุนทร W/m^2**	**การประเมิน**
ระบบแสงสว่าง	≤14	6.38	ผ่าน

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

4) ระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร คือ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ตามตารางที่ 43

ตารางที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของอาคารอ้างอิงกับอาคารพิทักษ์สุนทร

	เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ	**ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของอาคารพิทักษ์สุนทร**	**การประเมิน**
COP	≥3.22	3.25	ผ่าน

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

เนื่องจากสภาพปัญหาของอาคาร คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารไม่ผ่านกฎกระทรวงการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานและแสงสว่างไม่ถูกต้องตามมาตรฐานแสงสว่าง IES การวิเคราะห์เพื่อศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้ ตามตารางที่ 44

ตารางที่ 44 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารพิทักษ์สุนทร

แนวทางที่ใช้ศึกษาการปรับปรุง	**ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงสว่างและค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร**				**การประเมินผล**
	สามารถปรับปรุงได้ง่าย ไม่กระทบต่อโครงสร้างหลัก	**ไม่ส่งผลกระทบทำให้ค่า OTTV และ RTTV เพิ่มขึ้น**	**ประหยัดค่าใช้จ่าย**	**สามารถปรับปรุงระหว่างมีการใช้งานอาคารได้**	
1. การเพิ่มค่าการสะท้อนแสง					
1.1 การทาสีภายนอกและภายในห้องเรียนด้วยสีอ่อน	✓	✓	✓	✗	เลือกศึกษา
1.2 การออกแบบและติดตั้งฝ้าเพดาน	✓	✓	✗	✗	ไม่เลือกศึกษา
1.3 การทาสีโต๊ะเรียนและเก้าอี้เป็นสีอ่อน	✓	✓	✓	✗	เลือกศึกษา
2.การเพิ่มค่าความส่องสว่างของแสง (VLT)					
2.1 การเปลี่ยนช่องแสงด้านบนจากกระจกฝ้าเป็นกระจกใสด้านทิศใต้	✓	✓	✗	✓	เลือกศึกษา

ตารางที่ 44 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารพิทักษ์สุนทร (ต่อ)

แนวทางที่ใช้ศึกษาการปรับปรุง	**ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงสว่างและค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารเรียนพิทักษ์สุนทร**				**การประเมินผล**
	สามารถปรับปรุงได้ง่าย ไม่กระทบต่อโครงสร้างหลัก	**ไม่ส่งผลกระทบทำให้ค่า OTTV และ RTTV เพิ่มขึ้น**	**ประหยัดค่าใช้จ่าย**	**สามารถปรับปรุงระหว่างมีการใช้งานอาคารได้**	
2.2 การเปลี่ยนมาใช้กระจก Low-E แทนกระจกใส	✓	✓	✗	✓	เลือกศึกษา
2.3 การเจาะช่องเปิดด้านทิศใต้	✓	✓	✗	✓	เลือกศึกษา
3. การเพิ่มความต้านทานความร้อนให้วัสดุ					
3.1 การใส่ฉนวนบริเวณหลังคา	✓	✓	✗	✓	เลือกศึกษา
4. การปรับปรุงกรอบอาคาร					
4.1 การทาสีขาวด้านนอกอาคาร	✓	✓	✓	✓	เลือกศึกษา

หมายเหตุ : ✓ แทนค่าถูกต้อง , ✗ แทนค่าไม่ถูกต้อง

สรุปแนวทางที่เลือกนำมาศึกษา ได้แก่ การทาสีด้านนอกอาคาร การเพิ่มค่าการสะท้อนแสงด้วยการทาสีภายในห้องและเฟอร์นิเจอร์ และการเพื่อค่าการส่องผ่านของแสงโดยการเจาะช่องเปิดด้านทิศใต้ การเปลี่ยนมาใช้กระจก Low-e และการใช้แสงสว่างร่วมกับแสงประดิษฐ์

บทที่ 4
ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 ผลการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร

จากการใส่รายละเอียดข้อมูลวัสดุและการใช้ไฟฟ้าของอาคารพิทักษ์สุนทร พบว่าอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เท่ากับ 85.05 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา(RTTV) เท่ากับ 38.70 W/m^2 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงรายระบบ Building Energy Code (BEC) เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำผนังและหลังคาเป็นวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงและมีค่าความต้านทานต่ำส่งผลให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงจึงศึกษาแนวทางการปรับปรุงดังนี้ ตามตารางที่ 45-49

4.1.1 การปรับปรุงกรอบอาคาร

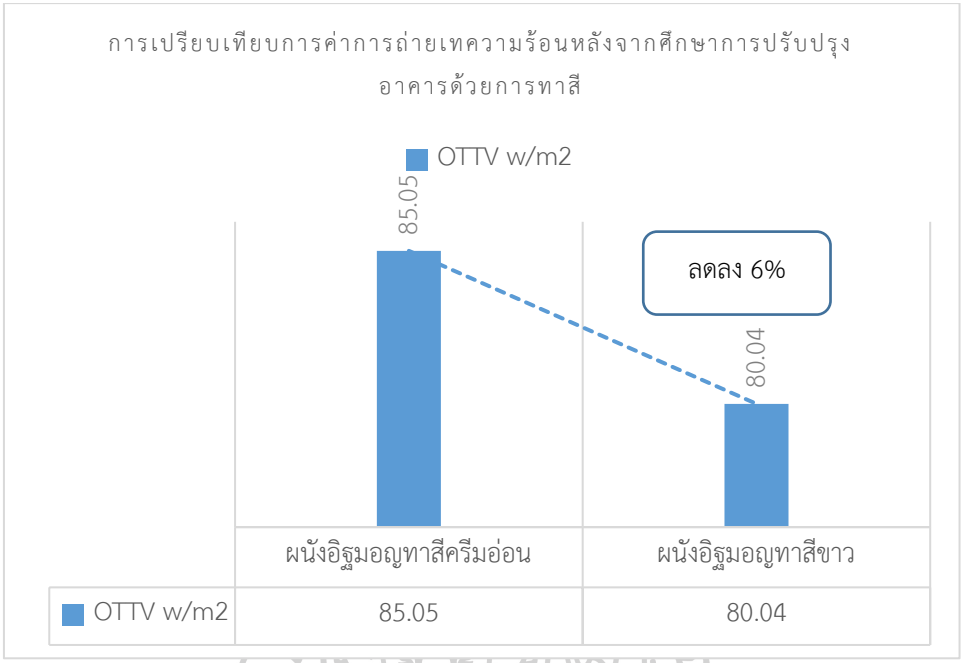
1) ส่วนผนังด้านนอกอาคาร

การทาสีด้านนอกอาคาร เป็นการลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยการใช้สี โดยสภาพอาคารเดิมเป็นสีครีมอ่อน จึงปรับปรุงโดยการทาสีผนังด้านนอกอาคารเป็นสีอ่อน จากเดิมอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เท่ากับ 85.05 W/m^2 เมื่อจำลองการทาสีขาวที่ผนังด้านนอกของอาคารโดยการใส่รายละเอียดลงในโปรแกรม BEC V.1.0.6 พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ลดลงเป็น 80.04 W/m^2 คิดเป็น 6% ตามตารางที่ 46 ภาพที่ 54 และแผนภูมิที่ 3

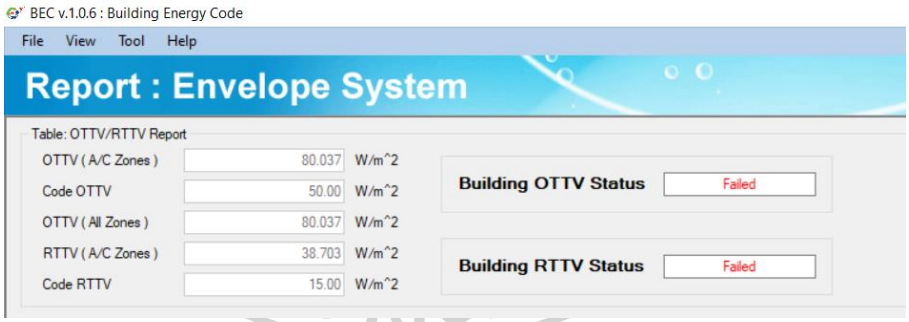
ตารางที่ 45 ผลการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารด้วยโปรแกรม BEC V.1.0.6

การปรับปรุงตามแนวทางที่		ชนิดและสีของผนัง	ค่าการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Absorbtance)	OTTV W/m^2
	สภาพอาคารเดิม	ผนังอิฐมอญทาสีครีมอ่อน Surface of pale color	0.5	85.05
1	การศึกษาการปรับปรุงครั้งที่ 1	ผนังอิฐมอญทาสีขาว Reflective and white Surface	0.3	80.04

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6 และ https://www.builk.com/th



แผนภูมิที่ 3 การเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนหลังจากศึกษาการปรับปรุงอาคารด้วยการทาสี



ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

ภาพที่ 54 ผลการจำลองโปรแกรม V.1.0.6 เมื่อทาสีขาว

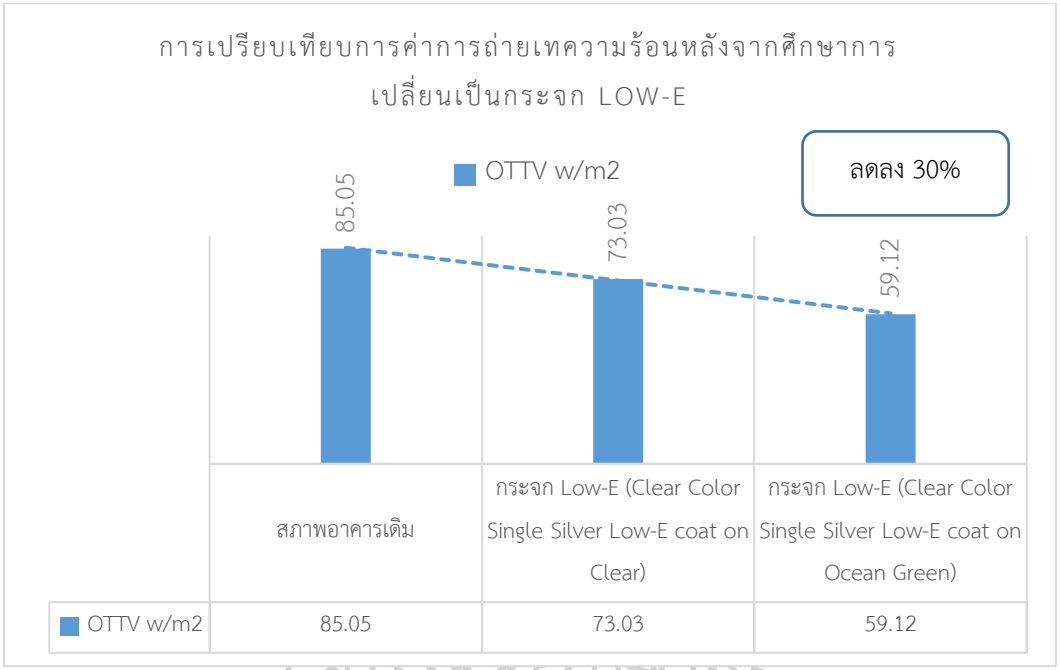
การเปลี่ยนชนิดกระจก เป็นการลดความร้อนที่ส่งผ่านมาจากดวงอาทิตย์ โดยสภาพอาคารเดิมบริเวณชั้นที่ 1 ตรงพื้นที่สำนักงานเป็นกระจกสีเทาแต่บริเวณห้องเรียนเป็นกระจกใสและมีช่องแสงด้านบนที่เป็นกระจกฝ้า ทำให้มีแสงส่องเข้ามาในพื้นที่ห้องเรียนได้มากจึงทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูง จึงจำลองการปรับปรุงครั้งที่ 1 โดยเปลี่ยนกระจกใสเป็นกระจก (Low-E) หนา 0.032 m ทำให้จากเดิมอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เท่ากับ 85.05 W/m^2 จึงลดลงเป็น 73.03 W/m^2 และเมื่อจำลองการปรับปรุงครั้งที่ 2 เป็นกระจก (Low-E) สีฟ้าอมเขียว

หนา 0.032 m ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ลดลงเป็น 59.12 W/m^2 คิดเป็น 30% ตามตารางที่ 46 ,ภาพที่ 55-56 และแผนภูมิที่ 4

ตารางที่ 46 ผลการเปลี่ยนรายละเอียดชนิดกระจกในโปรแกรม BEC V.1.0.6

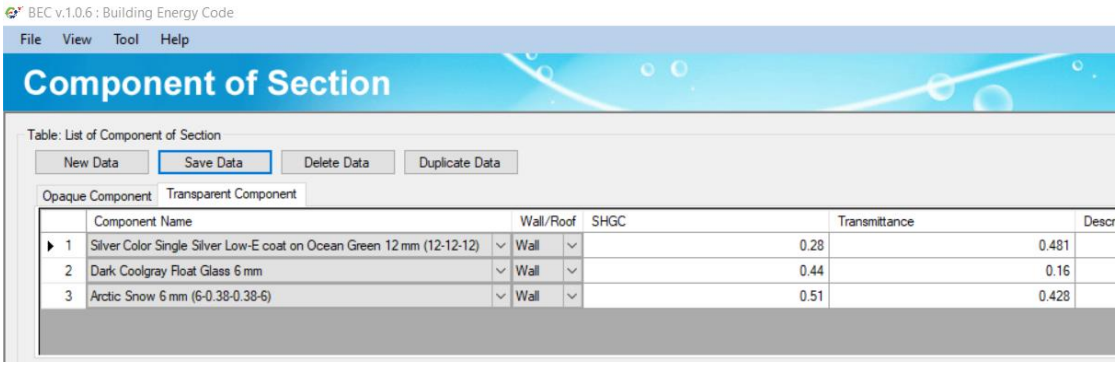
การปรับปรุงตามแนวทางที่		**ชนิดกระจก**	**หนา (m)**	**U-value (W/m^2·°C)**	**SHGC**	**VT**	**OTTV (W/m^2)**
	สภาพอาคารเดิม	กระจกใส (Clear Float Glass)	0.004	5.81	0.84	0.89	85.05
2	การศึกษาการปรับปรุงครั้งที่ 1	กระจก Low-E (Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear)	0.032	1.97	0.61	0.70	73.03
	การศึกษาการปรับปรุงครั้งที่ 2	กระจก Low-E (Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green)	0.032	1.97	0.30	0.60	59.12

มหาวิทยาลัยศิลปากร



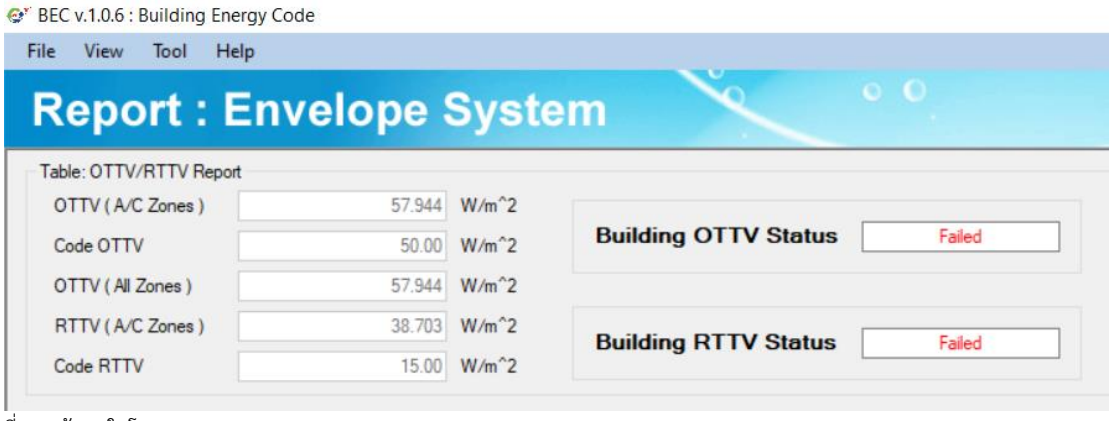
ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

แผนภูมิที่ 4 การเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนหลังจากศึกษาการเปลี่ยนเป็นกระจาก Low-E



ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

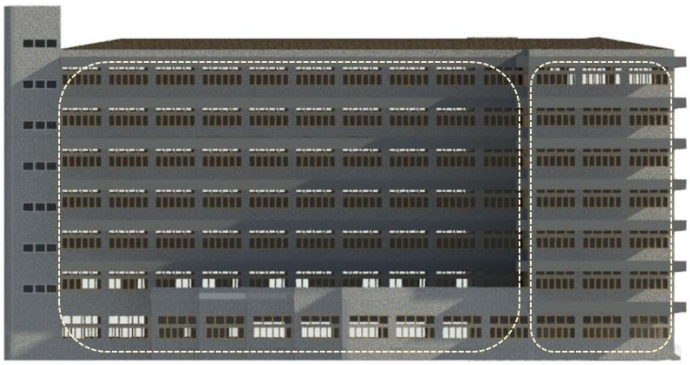
ภาพที่ 55 รายละเอียดการจำลองการเปลี่ยนเป็นกระจก (Low-E)



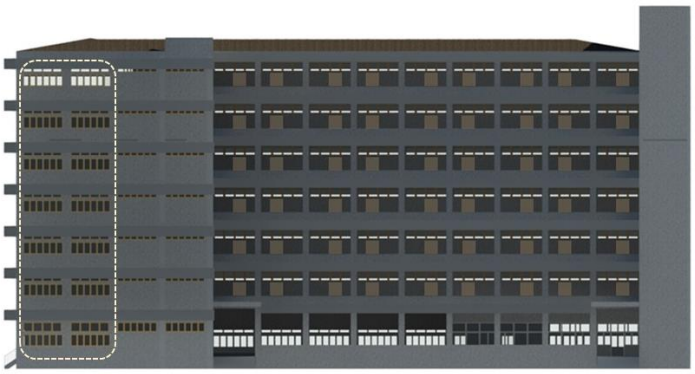
ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

ภาพที่ 56 ผลการจำลองโปรแกรม V.1.0.6 เมื่อเปลี่ยนเป็นกระจก (Low-E)

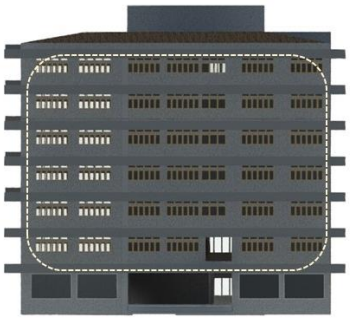
การจำลองการทาสีขาวร่วมกับการเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E เป็นการนำ 2 แนวทางการจำลองการปรับปรุงที่สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ลงได้ การจำลองการปรับปรุงครั้งที่ 1 เป็นการทาสีขาวที่ผนังด้านนอกร่วมกับการเปลี่ยนกระจกใสบริเวณห้องเรียนเป็นกระจก (Low-E) หนา 0.032 m พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เท่ากับ 55.18 W/m^2 แต่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงรายระบบ จึงได้จำลองการปรับปรุงครั้งที่ 2 โดยการทาสีขาวที่ผนังด้านนอกร่วมกับการเปลี่ยนกระจกใสและกระจกฝ้าด้านบนเป็นกระจก (Low-E) หนา 0.032 m พบว่าสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ได้เท่ากับ 47.58 W/m^2 คิดเป็น 44% ตามแผนภูมิที่ 5 ซึ่งทำให้การปรับปรุงส่วนกรอบอาคารด้านนอกผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง ตามตารางที่ 47, ภาพที่ 57-60



ภาพที่ 57 บริเวณที่เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ด้านทิศเหนือ



ภาพที่ 58 บริเวณที่เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ด้านทิศใต้



ภาพที่ 59 บริเวณที่เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ด้านทิศตะวันตก

ตารางที่ 47 ผลการจำลองการปรับปรุงอาคารในโปรแกรม BEC V.1.0.6

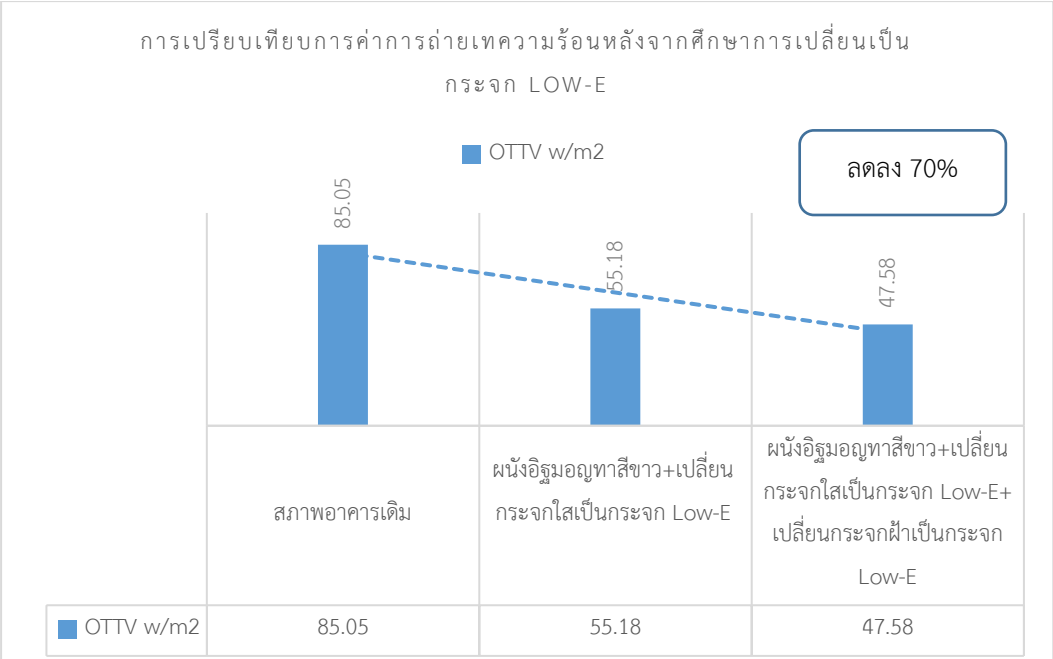
การปรับปรุงตามแนวทางที่		**สีของผนัง**	**ชนิดกระจก**	**กระจกหนา m**	**U-value $W/m^2 \cdot °C$**	**SHGC**	**VT**	**OTTV W/m^2**
	สภาพอาคารเดิม	ผนังอิฐมอญทาสีครีมอ่อน Surface of pale color	กระจกใส (Clear Float Glass)	0.004	5.81	0.84	0.89	85.05

ตารางที่ 47 ผลการจำลองการปรับปรุงอาคารในโปรแกรม BEC V.1.0.6 (ต่อ)

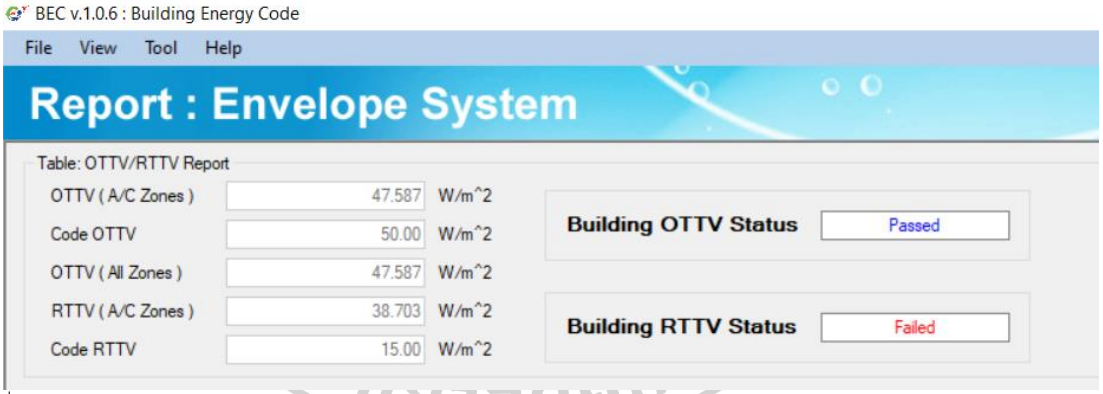
การปรับปรุงตามแนวทางที่		**สีของผนัง**	**ชนิดกระจก**	**กระจกหนา m**	**U-value $W/m^2 \cdot °C$**	**SHGC**	**VT**	**OTTV W/m^2**
1กับ2	การศึก-ษาการปรับปรุงครั้งที่ 1	ผนังอิฐมอญทาสีขาว Reflective and white Surface	กระจก Low-E (Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green)	0.032	1.97	0.30	0.60	55.18
1กับ2	การศึกษาการปรับปรุงครั้งที่ 2	ผนังอิฐมอญทาสีขาว Reflective and white Surface	เปลี่ยนกระจกใสและกระจกฝ้าด้านบนเป็นกระจก Low-E (Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green)	0.032	1.97	0.30	0.60	47.58

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

ผลสรุปแนวทางการศึกษาการปรับปรุงผนังด้านนอกอาคาร แนวทางที่ใช้ก็คือการทาผนังด้านนอกเป็นสีขาว เปลี่ยนกระจกใส และกระจกฝ้าด้านทิศเหนือเป็นกระจก Low-E สามารถลดความร้อนได้ ตามแผนภูมิที่ 5 ,ภาพที่ 60



แผนภูมิที่ 5 การเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนหลังจากศึกษาการทาสีอาคารกับการเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E



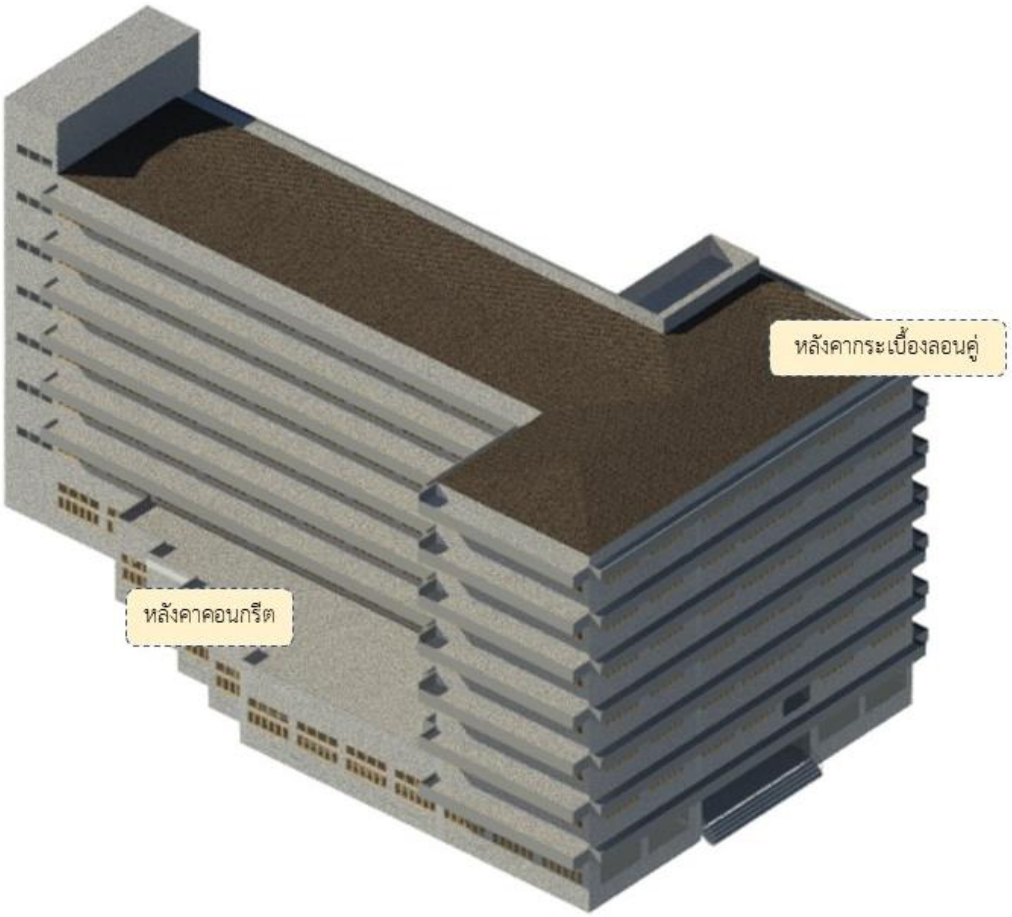
ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

ภาพที่ 60 ผลการจำลองโปรแกรม V.1.0.6 เมื่อทาสีขาวที่ผนังด้านนอกร่วมกับการเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E

2) ส่วนหลังคาอาคาร

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนหลังคา เป็นการลดความร้อนที่ส่งผ่านมาทางหลังคาอาคารด้วยการเพิ่มความต้านทานความร้อน โดยสภาพเดิมอาคารพิทักษ์สุนทรมีหลังคาอยู่ 2 รูปแบบ คือ หลังคากระเบื้องลอนคู่มีสีค่อนข้างดำเพราะความสกปรก และหลังคาคอนกรีตอยู่บริเวณห้องสมุด ส่วนของหลังคาทั้งสองรูปแบบอยู่บริเวณห้องที่มีการปรับอากาศ ซึ่งมีการถ่ายเท

ความร้อนผ่านหลังคา และวัสดุที่ใช้ทำหลังคามีความต้านทานความร้อนต่ำ ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้นโดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารเท่ากับ 38.70 W/m^2 ซึ่งแนวทางที่เลือกใช้ในการจำลองเพื่อศึกษาการปรับปรุงเป็นการเพิ่มความต้านทานความร้อนให้กับหลังคาอาคาร และลดอุณหภูมิภายในอาคารโดยการทาสีหลังคาอาคารใหม่ โดยเลือกปรับปรุงที่หลังคากระเบื้องลอนคู่ ตามภาพที่ 61 โดยการจำลองการปรับปรุงครั้งที่ 1 เป็นการทาสีขาวบนกระเบื้องลอนคู่ พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เท่ากับ 22.22 W/m^2 ซึ่งยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงรายระบบ ในการจำลองการปรับปรุงครั้งที่ 2 จึงจำลองการใส่ฉนวนใยแก้ว ความหนา 50 mm ความหนาแน่น 24 kg/m^3 หนา 0.05 m พบว่าสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ได้เท่ากับ 14.07 W/m^2 คิดเป็น 64 % ตามแผนภูมิที่ 6 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง ตามตารางที่ 48-49, ภาพที่ 61-64



ภาพที่ 61 รูปแบบหลังคาอาคารพิทักษ์สุนทร

ตารางที่ 48 คุณสมบัติของวัสดุต้านทานความร้อน

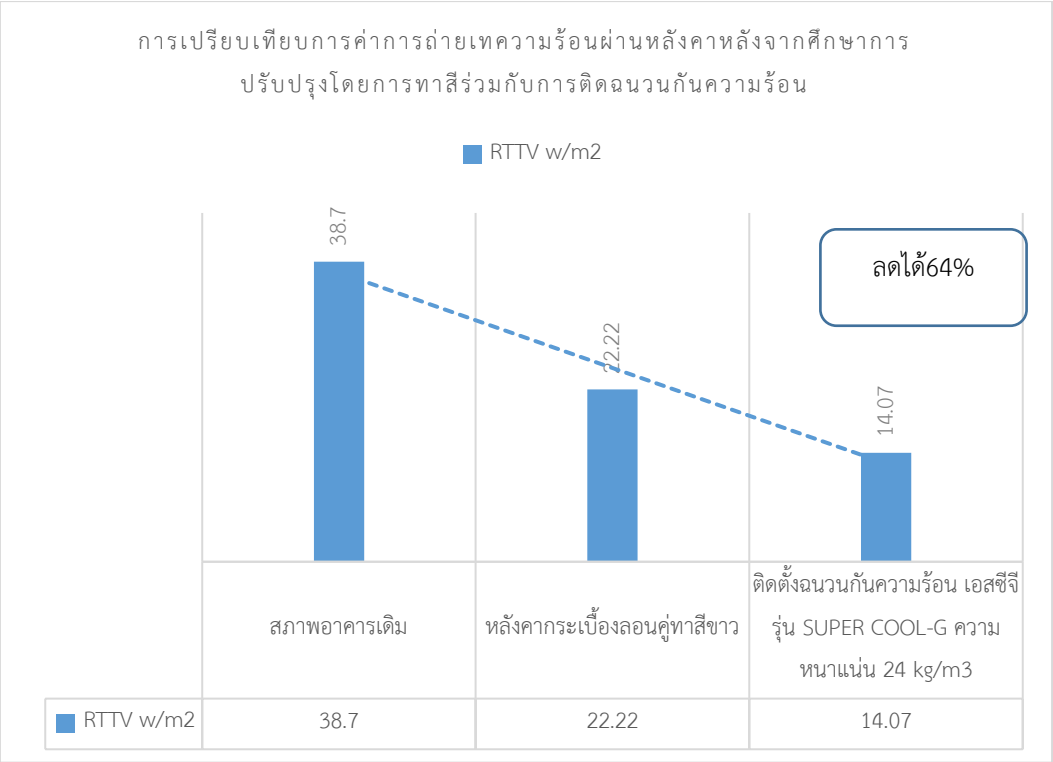
ชนิดฉนวน	ความหนา m	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน $W/m^2 \cdot °C$	ความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา, $(m^2 \cdot °C)/W$
ฉนวนกันความร้อน เอสซีจี รุ่น SUPER COOL-G ความหนาแน่น 24 kg/m^3	0.05	0.035	1.43

ที่มา : https://www.onestockhome.com/th

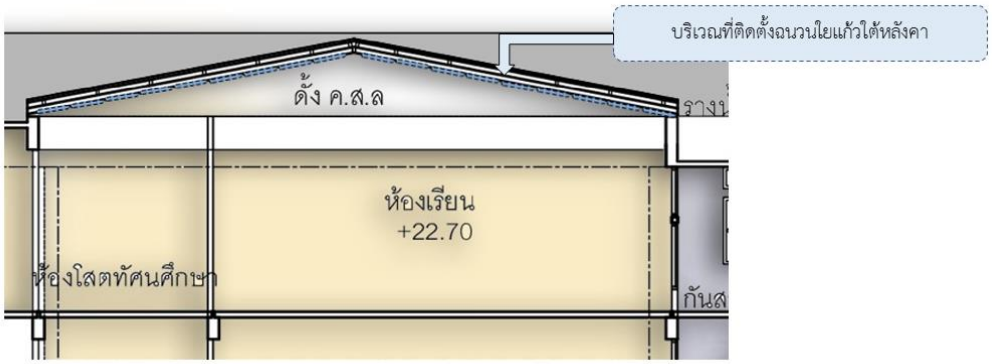
ตารางที่ 49 ผลการจำลองการปรับปรุงหลังคาอาคารในโปรแกรม BEC V.1.0.6

การปรับปรุงตามแนวทางที่		ชนิดของหลังคา	ค่าการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Absorbtance)	ฉนวน		ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (RTTV) W/m^2
				ชนิดฉนวน	ความหนา m	
	สภาพอาคารเดิม	หลังคากระเบื้องลอนคู่สีค่อนข้างจะสกปรก	0.7	-		38.70
		หลังคาคอนกรีต	0.5	-		
1	การศึกษาการปรับปรุงครั้งที่ 1	หลังคากระเบื้องลอนคู่ทาสีขาว	0.3	-		22.22
		หลังคาคอนกรีต	0.5	-		
3	การศึกษาการปรับปรุงครั้งที่ 2	หลังคากระเบื้องลอนคู่สีค่อนข้างจะสกปรก	0.7	ฉนวนกันความร้อน เอสซีจี รุ่น SUPER COOL-G ความหนาแน่น 24 kg/m^3	0.05	14.07
		หลังคาคอนกรีต	0.5			

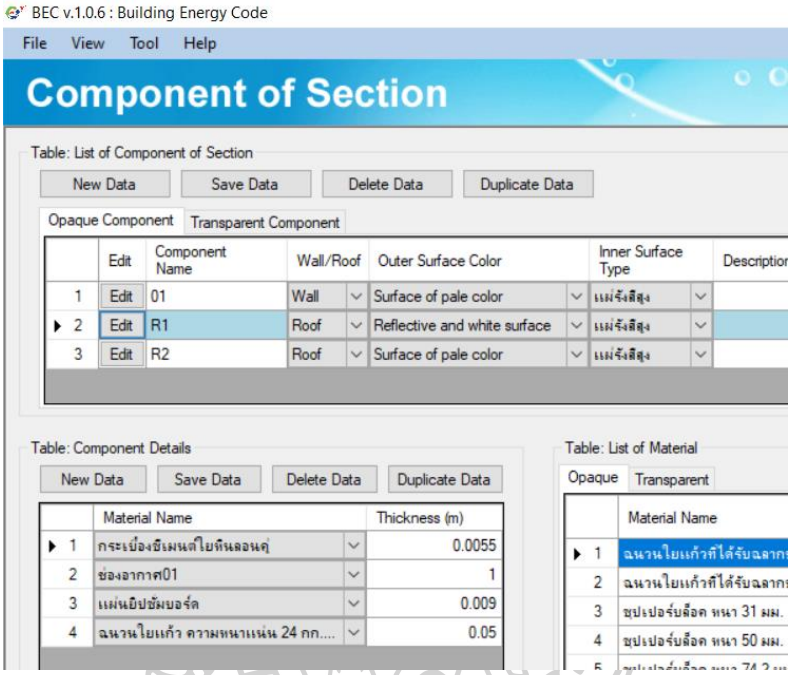
ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6



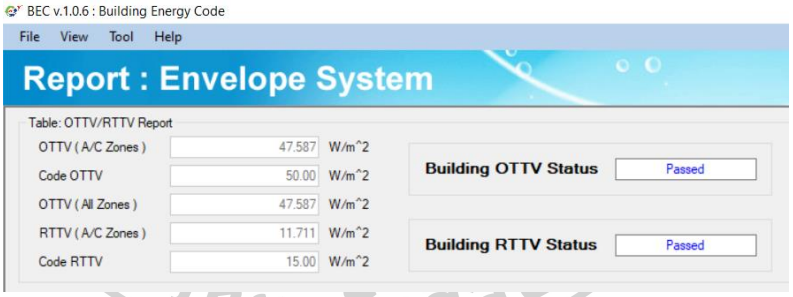
แผนภูมิที่ 6 การเปรียบเทียบการค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาหลังจากศึกษาการปรับปรุงโดยการติดฉนวนกันความร้อน



ภาพที่ 62 บริเวณที่จำลองการติดตั้งฉนวนใยแก้ว



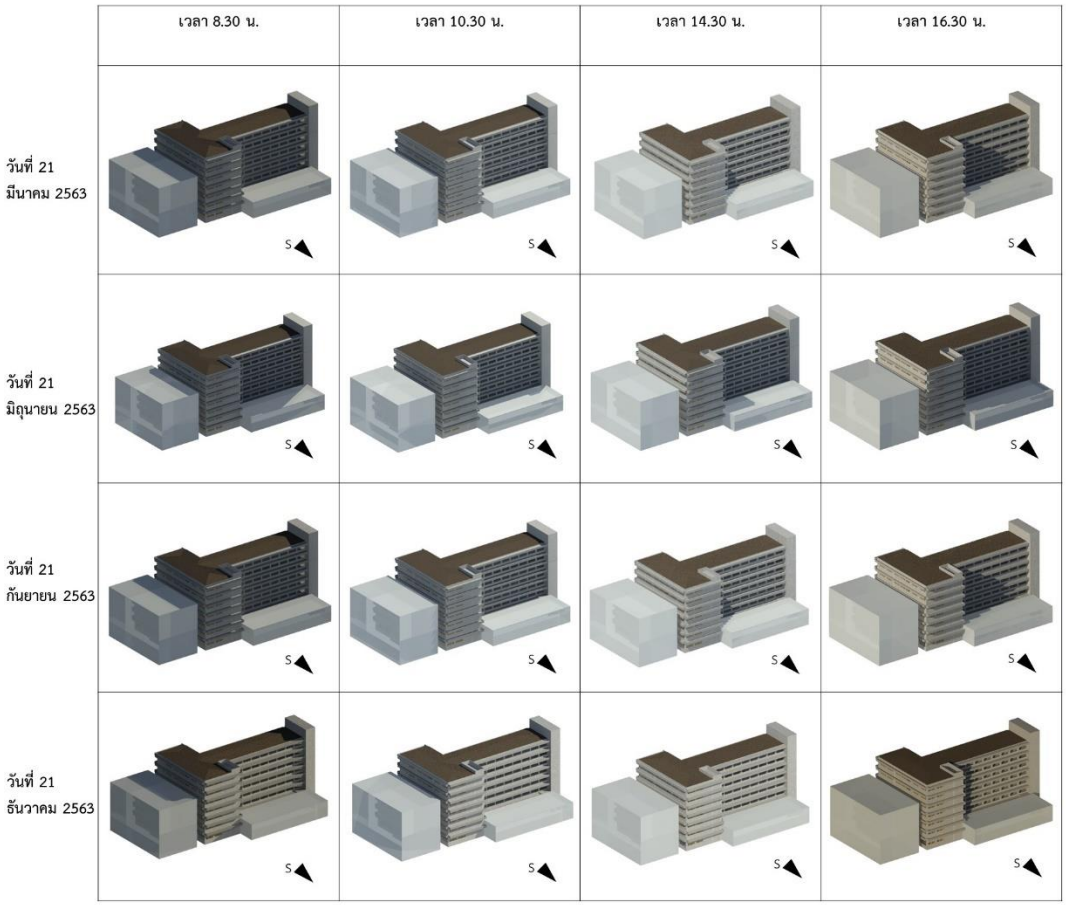
ภาพที่ 63 รายละเอียดการจำลองการปรับปรุงหลังคากระเบื้องลอนคู่



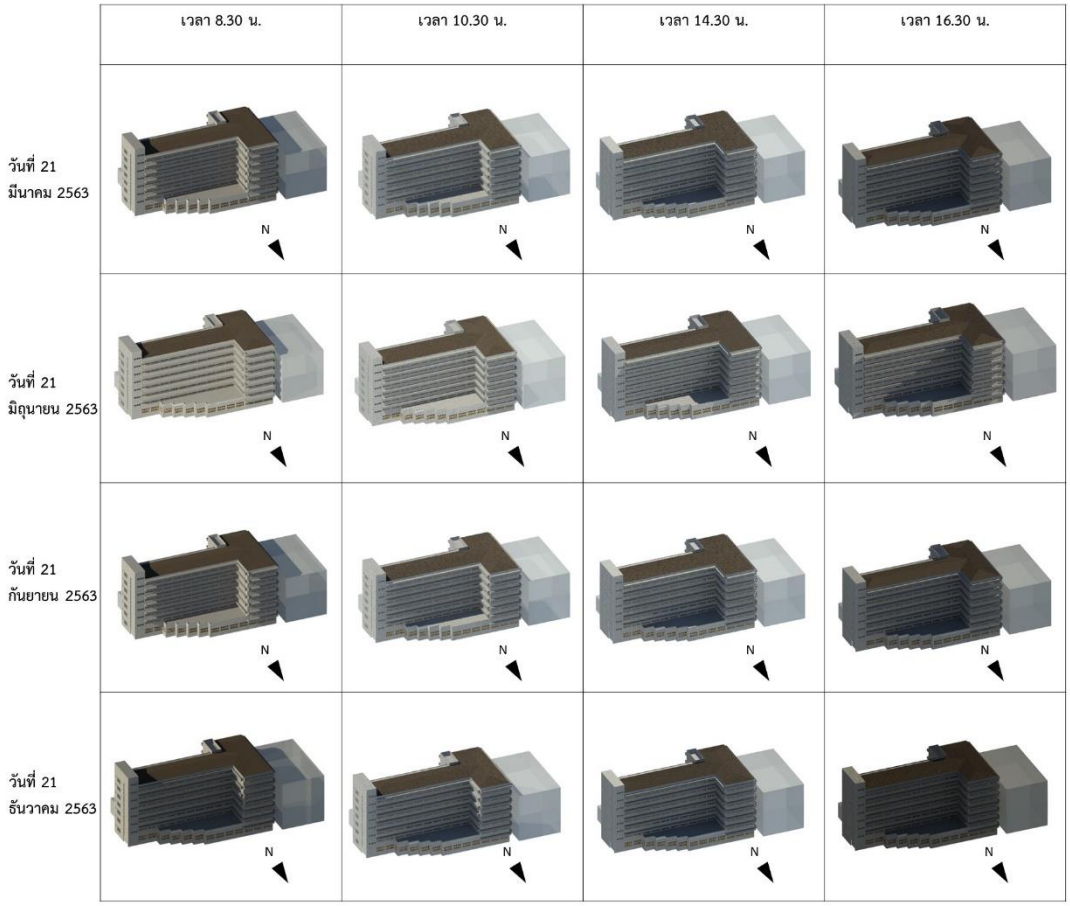
ภาพที่ 64 ผลการจำลองโปรแกรม V.1.0.6 เมื่อติดตั้งฉนวนใยแก้วร่วมกับการทาสีขาวที่หลังคา

4.2 การศึกษาการปรับปรุงด้านแสงสว่างในอาคาร

4.2.1 การศึกษาสภาพแสงสว่างภายนอกอาคาร เพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่อาจส่งผลให้แสงภายในอาคารไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยเลือกจำลอง 4 วัน ได้แก่วันที่ 21 มีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม และ 4 เวลา ได้แก่เวลา 8.30 ,10.30 ,14.30 และ16.30 น. พบว่า ในเดือนมิถุนายนของทุกช่วงเวลา บริเวณด้านหน้าอาคารทางทิศใต้ชั้นที่ 1-7 ตามภาพที่ 65 มีพื้นที่ที่อาจไม่ได้รับแสงสว่างที่เพียงพอ เนื่องจากเงาของตัวอาคารบดบังและการโคจรของดวงอาทิตย์ ซึ่งพื้นที่ที่ไม่ได้รับแสงเป็นบริเวณทางเดินยาวที่ไม่มีการใช้งานประจำอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาการปรับปรุงพื้นที่ส่วนนี้ ส่วนด้านหลังอาคารด้านทิศเหนือบริเวณชั้นที่ 1-4 ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่ห้องเรียนตามภาพที่ 66 ในเดือนธันวาคมอาจไม่ได้รับแสงสว่างที่เพียงพอเนื่องจากการโคจรของดวงอาทิตย์และเงาของตัวอาคาร การแก้ปัญหาในพื้นที่ตรงส่วนนี้อาจต้องมีการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ



ภาพที่ 65 สภาพแสงสว่างภายนอกอาคารด้านทิศใต้



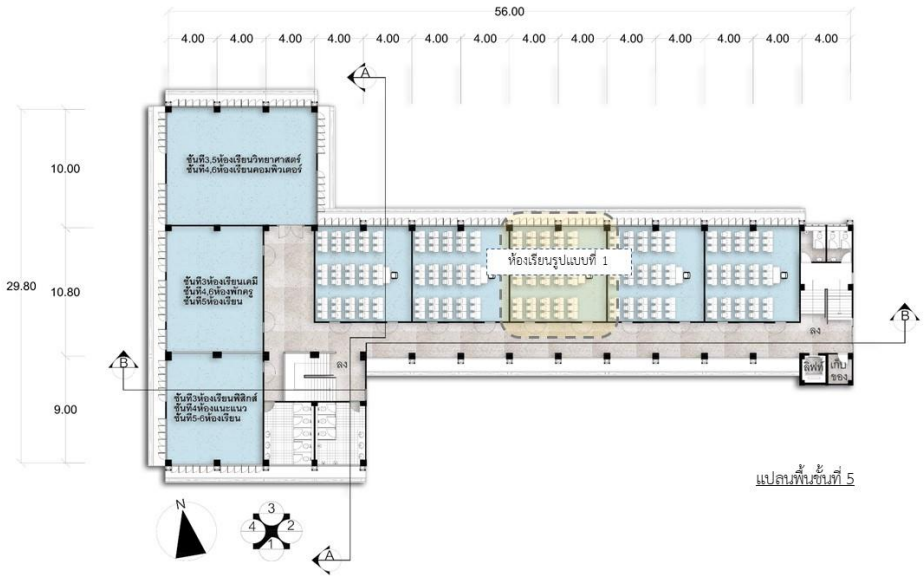
ภาพที่ 66 สภาพแสงสว่างภายนอกอาคารด้านทิศเหนือ

4.2.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างภายในห้องเรียน ขั้นตอนการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างในอาคารศึกษาจากห้องเรียนทั้งหมด 4 รูปแบบ โดยเลือกห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ขนาด 8.00X8.00 m สูง 3.50 m มีช่องเปิดแสงด้านทิศเหนือและช่องแสงด้านบนเป็นกระจกฝ้า ตามภาพที่67-68 มาเป็นห้องเรียนตัวอย่างในการจำลองแสงสว่างและนำแนวทางการปรับปรุงที่ได้มาจำลองกับห้องเรียนอีก 3 รูปแบบ รายละเอียดจำนวนห้องตามตารางที่ 50

ตารางที่ 50 รายละเอียดขนาดห้องแต่ละรูปแบบและจำนวนห้องเรียนในแต่ละชั้น

ชั้นที่	จำนวนห้องเรียนที่ศึกษา			
	ห้องเรียนแบบที่ 1 ขนาด 8.00x8.00 m	**ห้องเรียนแบบที่ 2 ขนาด 10.00x12.00 m**	**ห้องเรียนแบบที่ 3 ขนาด 8.00x9.00 m**	**ห้องเรียนแบบที่ 4 ขนาด 8.00x10.80 m**
1	-	-	-	-
2	5	-	1	1
3	5	1	1	1
4	5	1	1	1
5	5	1	1	1
6	5	1	1	1
7	5	-	-	-
รวม	30	4	5	5

1) การศึกษาการปรับปรุงด้านแสงสว่างธรรมชาติห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ตามภาพที่ 67-68 ห้องเรียนรูปแบบที่ 1 เป็นห้องที่มีขนาด 64 m^2 สูง 3.50 m มีหน้าต่างและช่องแสงด้านบนอยู่ด้านทิศเหนือ และมีประตูกับช่องแสงด้านบนอยู่ทางทิศใต้ มีจำนวน 30 ห้อง ในขั้นตอนนี้จะจำลองสภาพเดิมของห้องเรียน ตามตารางที่ 51-52 , ภาพที่ 69 และนำแนวทางการศึกษาการปรับปรุงอาคารในส่วนกรอบอาคารมาใช้ในการจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลของค่าความส่องสว่างเมื่อทำการปรับปรุงกรอบอาคาร คำนึงถึงการลดอุณหภูมิภายในอาคารควบคู่กัน เพื่อให้ได้ห้องเรียนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงรายระบบ และมีคุณภาพแสงสว่างที่ดี



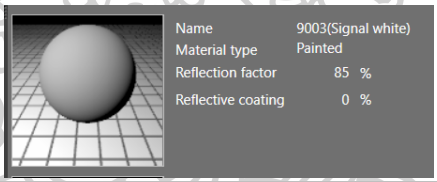
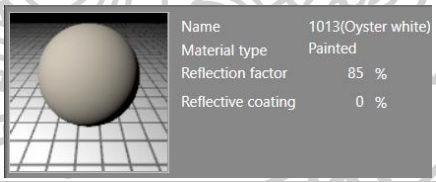
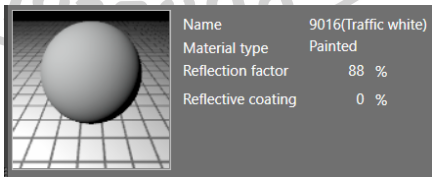
ภาพที่ 67 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 1

ภาพที่ 68 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 1 เวลา 10.30 น. วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2564

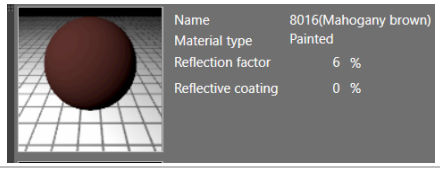
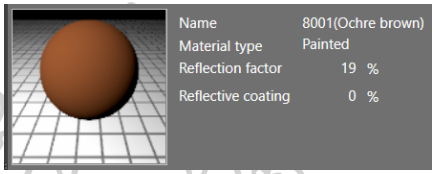
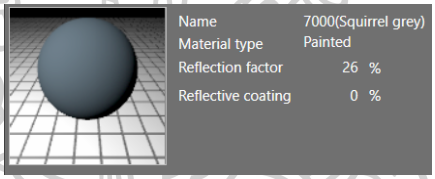
ตารางที่ 51 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง

รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1
1) วันที่และเวลา	• วันที่ 21 มีนาคม, 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม พ.ศ 2564 • เวลา 8.30 ,10.30, 14.30 และ 16.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	• ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	• สูงจากพื้น 0.75 m จำนวน 56 จุด

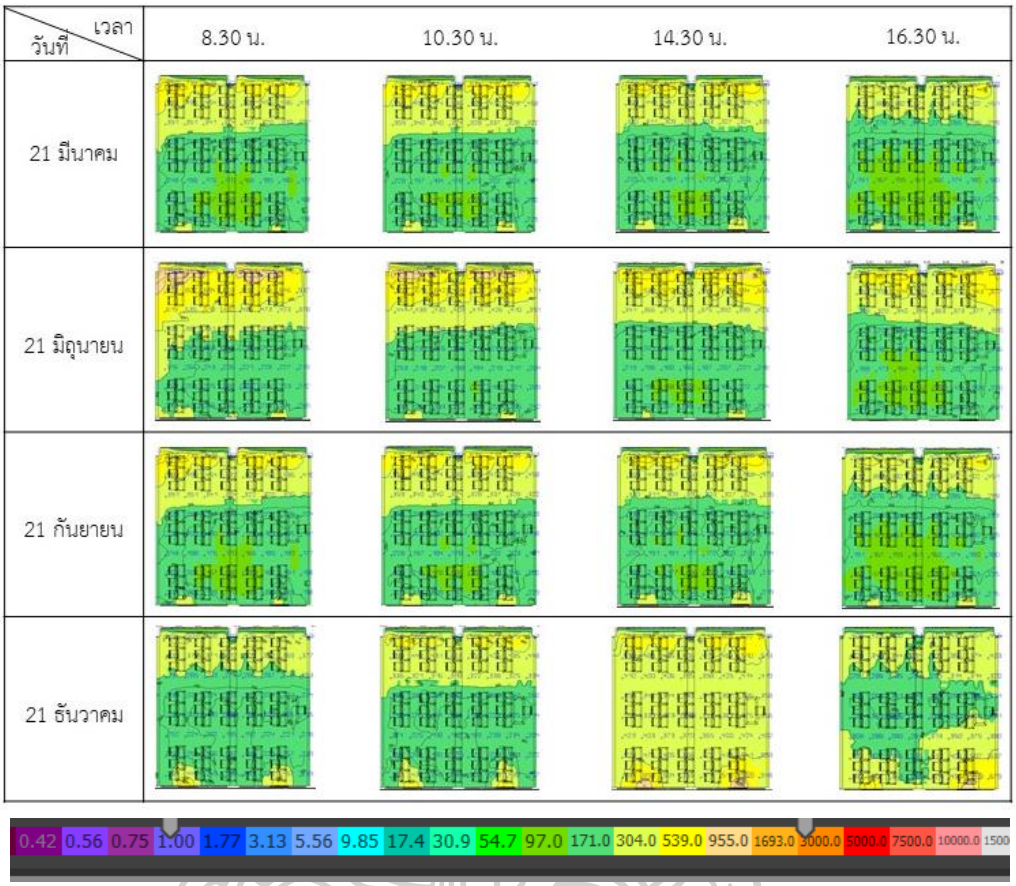
ตารางที่ 52 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามสภาพห้องเรียนจริง

รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1
1) พื้น	• สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
2) ผนัง	• สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
3) เพดาน	• สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 
4) คาน	• สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
5) เสา	• สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%

ตารางที่ 52 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามสภาพห้องเรียนจริง (ต่อ)

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1**
6) โต๊ะและเก้าอี้	● น้ำตาลมะฮอกกานี (Mahogany brown) ค่าการสะท้อนแสง 6% 
7) ช่องเปิด	● ช่องเปิดด้านล่าง ค่าการส่องผ่านของแสง 89% ตั้งค่าตามการวัดในสภาพ ขอบหน้าต่างสีน้ำตาล (Ochre Brown) ค่าการสะท้อนแสง 19%  ● กระจกฝ้าด้านบน ค่าการส่องผ่านของแสง 40% ขอบหน้าต่างสีเทา (Squirrel grey) ค่าการสะท้อนแสง 26%  ประตู ค่าการส่องผ่านของแสง 100%
8) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2



ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

ภาพที่ 69 ผลการจำลองแสงภายในห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 53 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 1

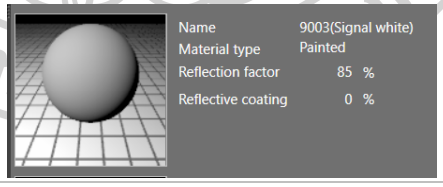
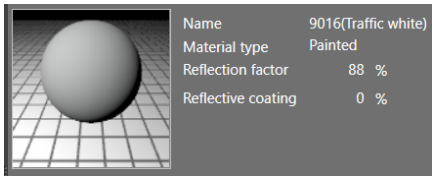
วันที่	**เวลา**				**เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง lux**
	8.30 lux	**10.30 lux**	**14.30 lux**	**16.30 lux**	
21 มีนาคม	286	294	280	247	277
21 มิถุนายน	415	365	327	301	352
21 กันยายน	286	294	280	247	277
21 ธันวาคม	272	295	434	342	336
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	315	312	330	284	310

จากการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ผลเฉลี่ยค่าความส่องสว่างเท่ากับ 310 Lux ตามตารางที่ 53 ซึ่งผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน แต่เนื่องจากต้องปรับปรุงร่วมกับแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้องเรียน จึงได้ปรับปรุงตามแนวทางในขั้นตอนต่อไปโดยการปรับปรุงกรอบอาคารร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติการศึกษาการปรับปรุงแบ่งเป็น 3 ครั้ง โดยรายละเอียดการตั้งค่าโปรแกรมและผลที่ได้ดังนี้ ตามตารางที่ 54-55

ตารางที่ 54 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุง

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1**
1) วันที่และเวลา	● วันที่ 21 มีนาคม, 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ● เวลา 8.30 ,10.30, 14.30 และ 16.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	● ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	● สูงจากพื้น 0.75 m จำนวน 56 จุด

ตารางที่ 55 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุง

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1**
1) พื้น	● สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85%  ●
2) ผนัง	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 

ตารางที่ 55 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุง (ต่อ)

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1**
3) เพดาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
4) คาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
5) เสา	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
6) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

การปรับปรุงครั้งที่ 1 การเปลี่ยนกระจกใส ค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 89% และกระจกฝ้าด้านทิศเหนือ ค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 40% เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E (Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green) หนา 32 mm ค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 60% และทาสีขาวภายในห้อง (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 88% ตามตารางที่ 55

ตารางที่ 56 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างตามแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารครั้งที่ 1

วันที่	**เวลา**				**เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง lux**
	8.30 lux	**10.30 lux**	**14.30 lux**	**16.30 lux**	
21 มีนาคม	218	225	218	192	213
21 มิถุนายน	304	270	246	225	261
21 กันยายน	218	225	218	192	213
21 ธันวาคม	233	238	409	328	302
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	243	240	273	234	247

ผลการศึกษาการปรับปรุงครั้งที่ 1 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 247 Lux ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมาย และมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียนซึ่งกำหนดอยู่ที่ 300 Lux จึงทำการศึกษาแนวทางการปรับปรุงในครั้งต่อไป

การปรับปรุงครั้งที่ 2 การเปลี่ยนกระจกใส ค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 89% และกระจกฝ้าด้านทิศเหนือ ค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 40% เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E (Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green) หนา 32 mm ค่าการส่องผ่านของแสง

เท่ากับ 60% การทาสีภายในห้องเรียน โต๊ะเรียน และกรอบบานหน้าต่างเป็นสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 88% ตามตารางที่ 57

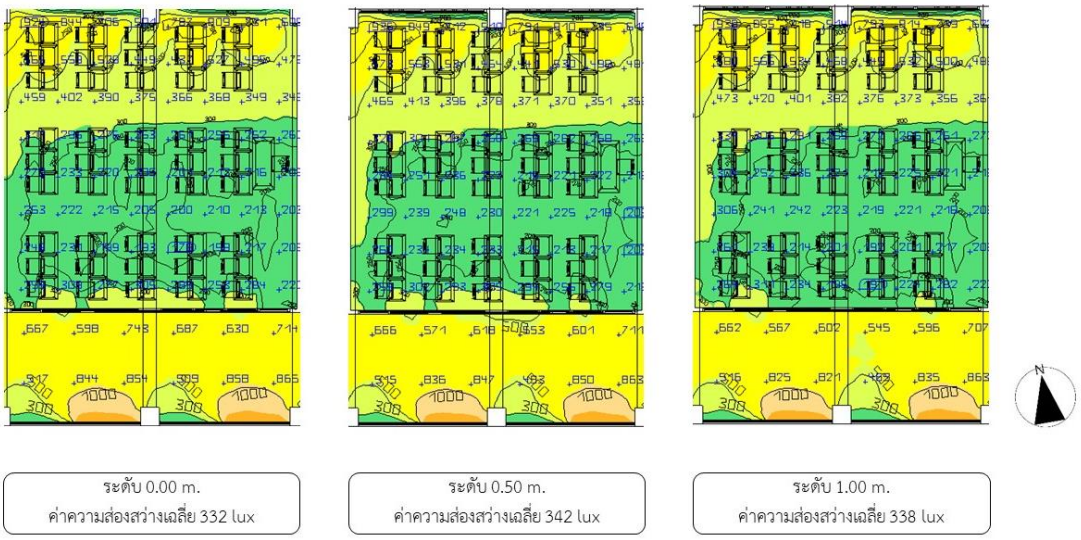
ตารางที่ 57 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างตามแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารครั้งที่ 2

วันที่	**เวลา**				**เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง lux**
	8.30 lux	**10.30 lux**	**14.30 lux**	**16.30 lux**	
21 มีนาคม	268	275	267	235	261
21 มิถุนายน	373	330	301	277	320
21 กันยายน	268	275	267	235	261
21 ธันวาคม	287	292	504	406	372
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	299	293	335	288	304

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

ผลการศึกษาการปรับปรุงครั้งที่ 2 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 304 Lux ซึ่งผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียนซึ่งกำหนดอยู่ที่ 300 Lux แต่เนื่องจากค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้นจากเดิม 4 Lux ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาหาทางเลือกในครั้งต่อไป

การปรับปรุงครั้งที่ 3 โดยช่องเปิดแสงด้านล่างกระจกใสเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างทาสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% กระจกฝ้าด้านบนบริเวณทิศเหนือเปลี่ยนเป็น ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% และกระจกฝ้าด้านบนบริเวณทิศใต้เปลี่ยนเป็นกระจกใส ค่าการส่องผ่านของแสง 89% เปลี่ยนทิศทางการเปิดประตู และการเจาะช่องเปิดด้านทิศใต้ 1.00X3.00 m ค่าการส่องผ่านของแสง 89% ตามภาพที่ 71 เริ่มจากการศึกษาการจำลองระดับช่องเปิดด้านทิศใต้เพื่อเปิดพื้นที่ให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานได้มากที่สุดโดยจำลองที่ระดับ 0.00, 0.50 และ 1.00 m โดยกำหนดขนาดหน้าต่างเท่ากับ 1.00x3.00 m

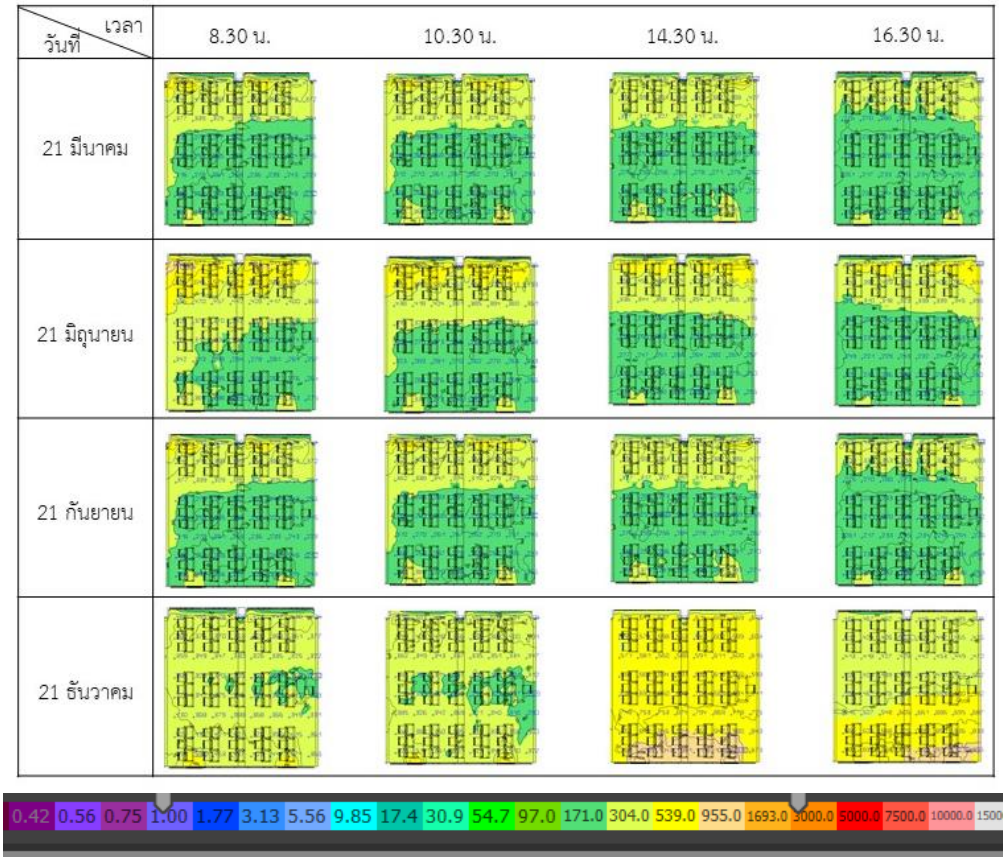


ภาพที่ 70 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเมื่อติดตั้งหน้าต่างที่ระดับต่างๆ

จากการศึกษาการจำลองการเจาะหน้าต่างบริเวณด้านทิศใต้ของห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ที่ระดับ 0.00, 0.50 และ1.00 m พบว่าระดับที่ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงสุดคือที่ระดับ 0.50 m ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 342 Lux ซึ่งมากกว่าที่ระดับ 0.00 กับ 1.00 มีค่าความส่องสว่าง 332 และ 338 Lux ตามลำดับ จึงนำผลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางของขนาดและระดับของการเจาะช่องเปิด

ภาพที่ 71 การเจาะช่องเปิดขนาด 1.00x3.00 m บริเวณทิศใต้ของอาคาร

ภาพที่ 72 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 1 หลังการปรับปรุงครั้งที่ 3 วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2563 เวลา 10.30 น.



ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

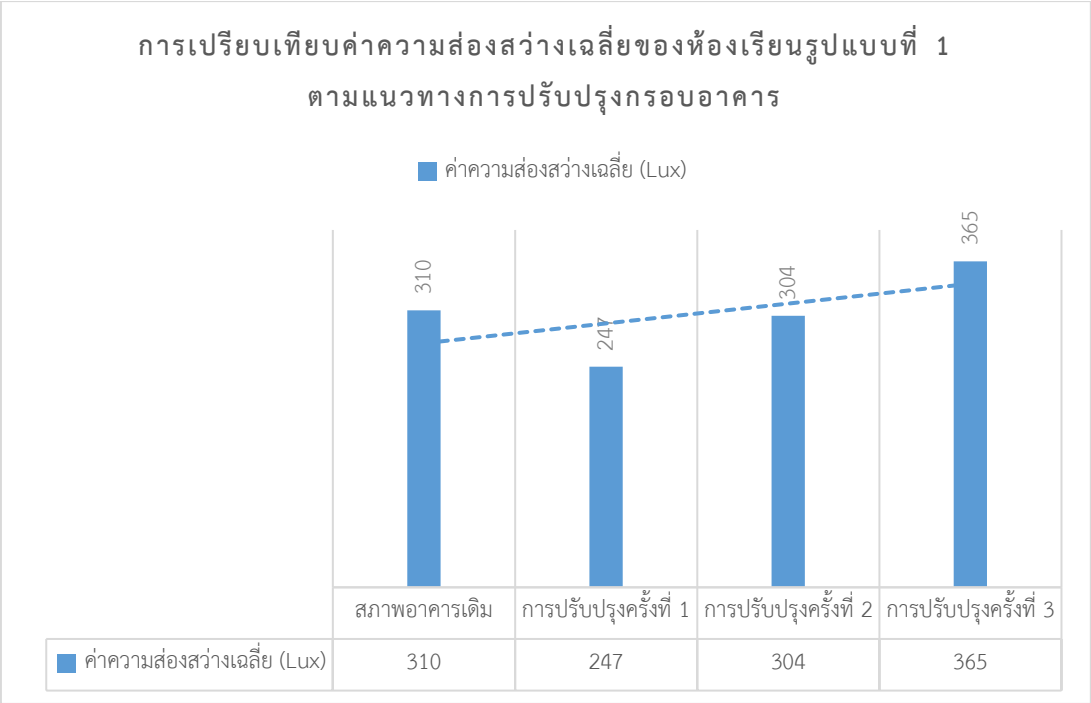
ภาพที่ 73 ผลการจำลองแสงภายในห้องเรียนรูปแบบที่ 1 หลังการปรับปรุงครั้งที่ 3

ตารางที่ 58 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างตามแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารครั้งที่ 3

วันที่	**เวลา**				**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย lux**
	8.30 lux	**10.30 lux**	**14.30 lux**	**16.30 lux**	
21 มีนาคม	304	317	312	276	302
21 มิถุนายน	403	363	335	308	352
21 กันยายน	304	317	312	276	302
21 ธันวาคม	371	355	722	563	503
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	346	338	420	356	365

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

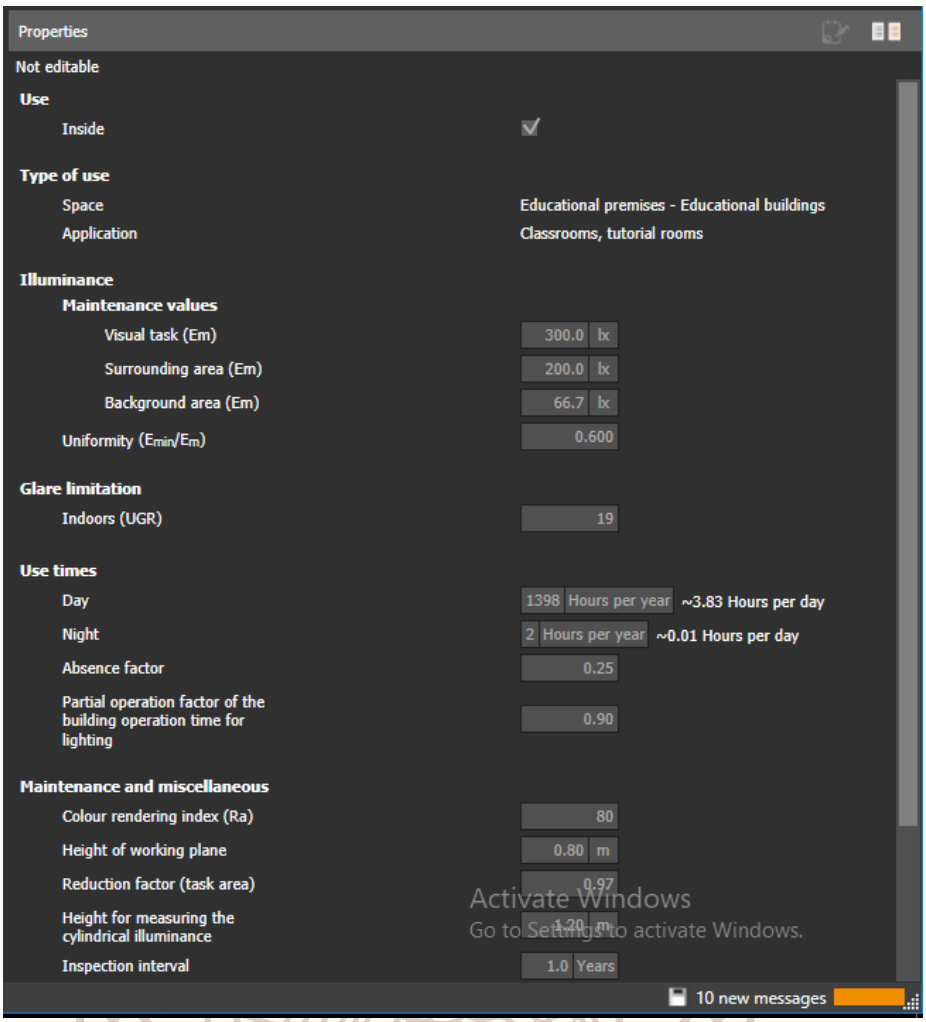
จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนและหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ซึ่งมีจำนวนมากที่สุด พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงกรอบอาคารทั้งหมด 3 ครั้ง พบว่าการปรับปรุงครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกใสและกระจกฝ้าด้านบนให้เป็นกระจก Low-E ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยลดลงจากค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเดิม 310 Lux ลดลงเป็น 304 ตามตารางที่ 57 จึงหาแนวทางเพื่อเพิ่มค่าความส่องสว่างจากการปรับปรุงครั้งที่ 2 โดยรายละเอียดการปรับปรุงครั้งที่ 3 คือการทาสีขาวภายในร่วมกับการเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E และการเจาะช่องเปิด ทำให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้น 365 Lux คิดเป็น 16% ตามตารางที่ 58, แผนภูมิที่ 6 และเมื่อนำมาเทียบกับ 1) กฎกระทรวงฉบับที่ 39 2) เกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย และ 3) มาตรฐานแสงสว่าง IES พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 เกณฑ์ โดยกำหนดอยู่ที่ 300 Lux ตามตารางที่ 59 และภาพที่ 74



แผนภูมิที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของห้องเรียนรูปแบบที่ 1

ตารางที่ 59 กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความส่องสว่างห้องเรียนรูปแบบที่ 1

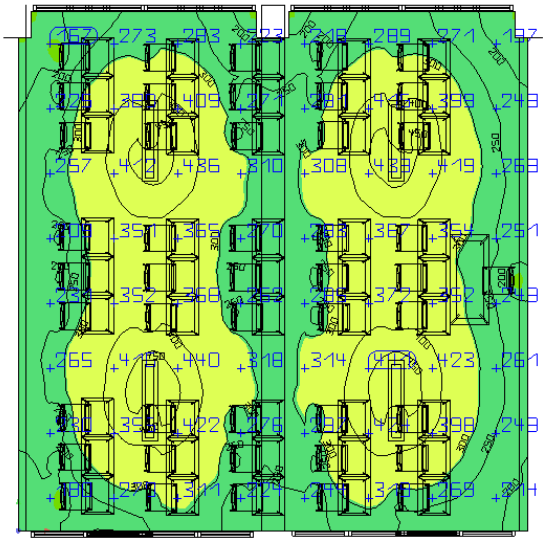
กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมิน	**ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน lux**	**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากการปรับปรุงห้องเรียน lux**	**การประเมินผล**
1. กฎกระทรวงฉบับที่ 39	300	365	ผ่าน
2. เกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย	300		
3.มาตรฐานแสงสว่าง IES	300		



ภาพที่ 74 มาตรฐานที่กำหนดภายในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

2) การศึกษาการใช้แสงประดิษฐ์ในการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1 เพื่อหาแนวทางปรับปรุงแสงสว่างโดยใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติเพื่อเป็นอีกทางเลือกในการปรับปรุงด้านแสงสว่าง โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ

การใช้งานแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการใช้แสงธรรมชาติร่วมด้วยพบว่าค่าความส่องสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 311 Lux ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำทั้ง 3 เกณฑ์

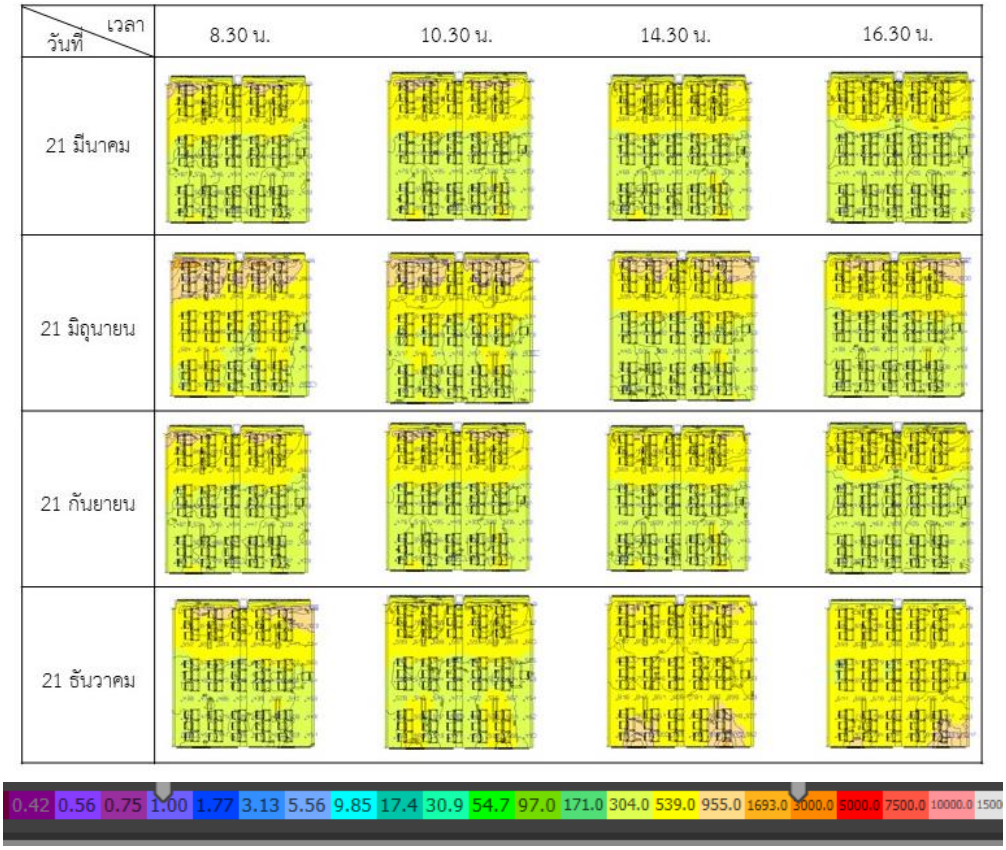


ภาพที่ 75 ผลการจำลองการใช้งานแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว

ภาพที่ 76 ลักษณะแสงสว่างหลังการปรับปรุงโดยใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 100%
วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2564 เวลา 10.30 น.

การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 50% เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติที่ทำให้ประหยัดพลังงาน และอายุการใช้งานของหลอดไฟในโคม

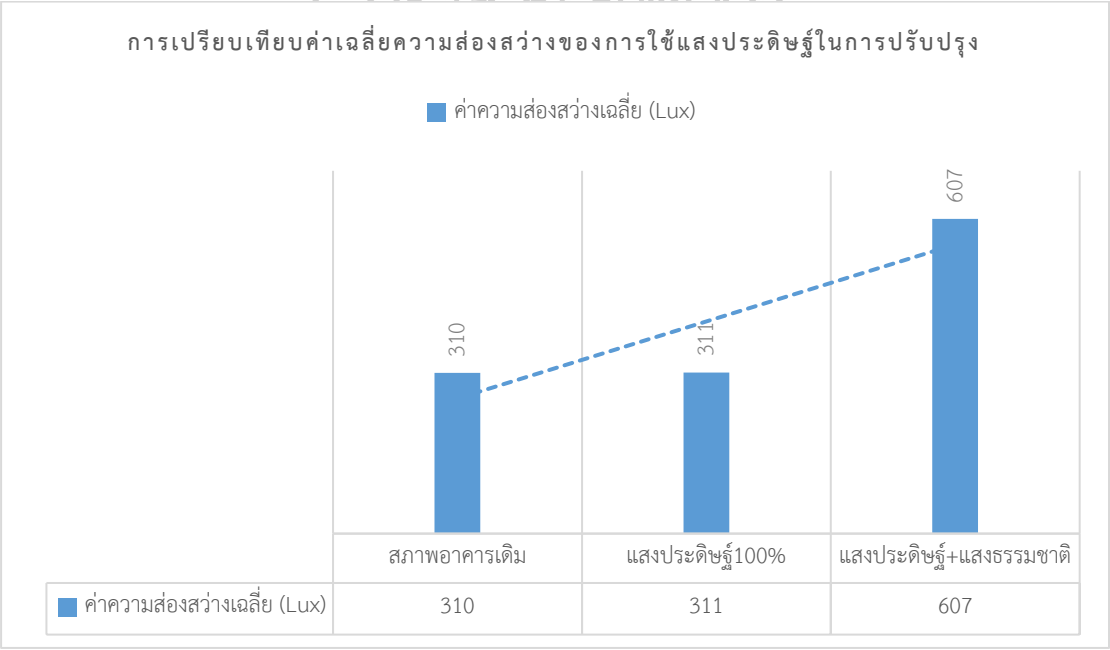
ภาพที่ 77 ลักษณะแสงสว่างหลังการปรับปรุงโดยใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 50% วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 10.30 น.



ภาพที่ 78 ผลการจำลองการใช้งานแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ 50%

ตารางที่ 60 ผลการศึกษาการใช้แสงสว่างธรรมชาติร่วมกับการเปิดแสงประดิษฐ์ 50%

วันที่	เวลา				ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย lux
	8.30 lux	10.30 lux	14.30 lux	16.30 lux	
21 มีนาคม	577	576	556	510	545
21 มิถุนายน	747	673	621	584	656
21 กันยายน	577	576	556	510	555
21 ธันวาคม	561	580	833	677	663
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	616	601	641	570	607



แผนภูมิที่ 7 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเมื่อมีการใช้แสงประดิษฐ์

จากผลการศึกษาการปรับปรุงห้องเรียนแบบที่ 1 ด้วยการใช้แสงประดิษฐ์อย่างเดียว ผลที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้แสงสว่างธรรมชาติอย่างเดียวเท่ากับ 311 Lux และเมื่อใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการเปิดแสงประดิษฐ์ 50% ผลปรากฏว่าค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 607 Lux เมื่อเทียบกับสภาพอาคารเดิมที่ใช้แสงธรรมชาติอย่างเดียว เท่ากับ 310 Lux คิดเป็น 53% ตามตารางที่ 60

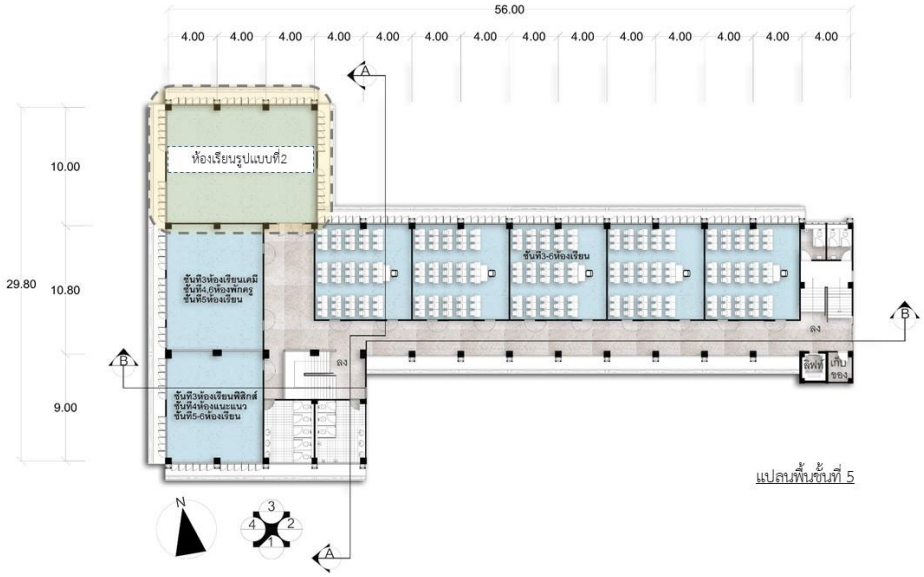
สรุปการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1 ช่องเปิดแสงด้านล่างกระจกใสเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างทาสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% กระจกฝ้าด้านบนบริเวณทิศเหนือเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างทาสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% กระจกฝ้าด้านบนบริเวณทิศใต้เปลี่ยนเป็นกระจกใส ค่าการส่องผ่านของแสง 89% เปลี่ยนทิศทางการเปิดประตู เจาะช่องเปิดด้านทิศใต้ 1.00X3.00 m การส่องผ่านของแสง 89% ทาสีโต๊ะเรียน และเก้าอี้เป็นสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%

ตัวอย่างผลการศึกษาการจำลองแสงในแนวตั้ง (Vertical Illuminance) ของโต๊ะเรียนในห้องเรียนรูปแบบที่ 1 หลังจากได้ผลการศึกษาการปรับปรุงค่าความส่องสว่างในแนวราบ (Horizontal Illuminance) ของห้องเรียน โดยการทาสีโต๊ะเรียนเป็นสีขาว ซึ่งในมาตรฐานแสงสว่าง IES ได้กำหนดให้จำลองค่าความส่องสว่างที่ระดับ 1.2 m ค่าความส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 100-200 Lux จึงนำมาจำลองอีกครั้งโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแสงให้เป็นแนวตั้ง เพื่อหาค่าความส่องสว่างในแนวตั้งของโต๊ะเรียน ซึ่งค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองคือ 827 Lux ซึ่งผ่านมาตรฐานแสงสว่างของ IES

ตารางที่ 61 ผลการจำลองการศึกษาแสงในแนวตั้งของโต๊ะเรียน

วันที่	**เวลา**				**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย lux**
	8.30 lux	**10.30 lux**	**14.30 lux**	**16.30 lux**	
21 มีนาคม	730	733	735	680	720
21 มิถุนายน	947	823	807	806	898
21 กันยายน	730	733	735	680	720
21 ธันวาคม	776	796	1,297	1,022	973
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	855	843	894	802	827

3) การศึกษาการปรับปรุงด้านแสงสว่างธรรมชาติห้องเรียนรูปแบบที่ 2 ตามภาพที่ 79-81 ห้องเรียนรูปแบบที่ 2 เป็นห้องเรียนที่มีพื้นที่ 120 m^2 สูง 3.50 m ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตั้งค่าสภาพเดิมของห้องเรียนและจำลองแสงสว่างในโปรแกรมก่อนการศึกษาการปรับปรุงแสงสว่างตามแนวทางการแก้ปัญหากรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ตามตารางที่ 62-64, ภาพที่ 81



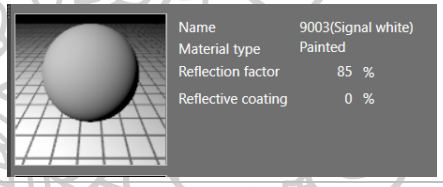
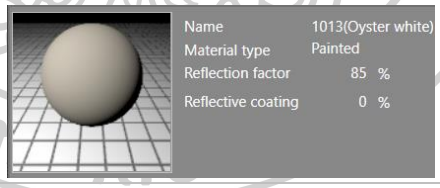
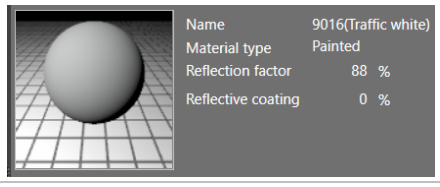
ภาพที่ 79 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 2

ภาพที่ 80 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 2 วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 10.30 น.

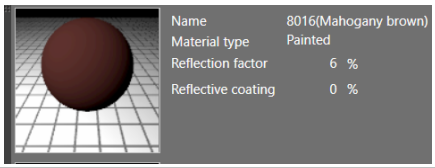
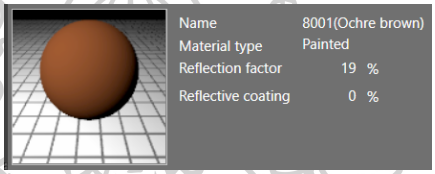
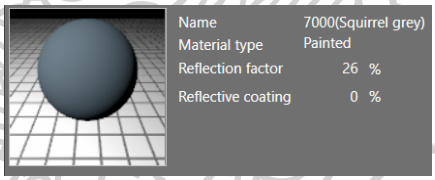
ตารางที่ 62 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2**
1) วันที่และเวลา	● วันที่ 21 มีนาคม, 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม พ.ศ.2564 ● เวลา 8.30 ,10.30, 14.30 และ 16.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	● ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	● สูงจากพื้น 0.75 m จำนวน 56 จุด

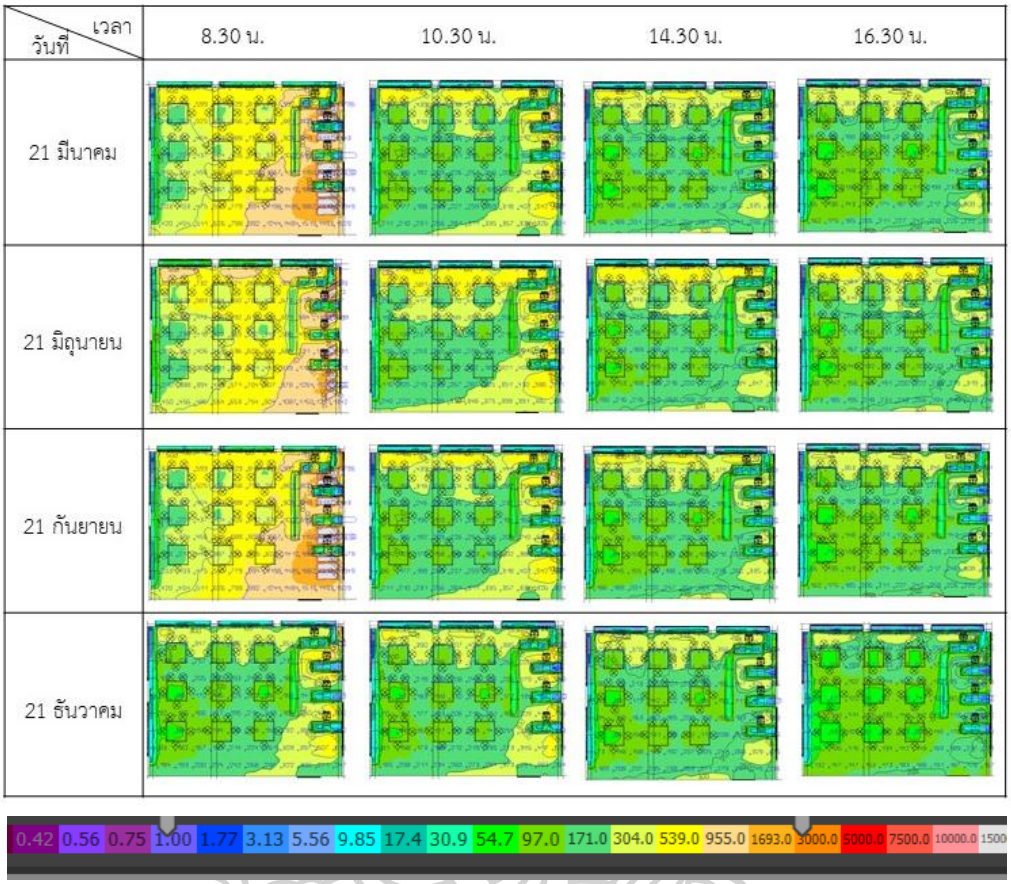
ตารางที่ 63 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2**
1) พื้น	● สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
2) ผนัง	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
3) เพดาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 
4) คาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
5) เสา	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%

ตารางที่ 63 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2
6) โต๊ะและเก้าอี้	● น้ำตาลมะฮอกกานี (Mahogany brown) ค่าการสะท้อนแสง 6%  ●
7) ช่องเปิด	● ช่องเปิดด้านล่างทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ค่าการส่องผ่านของแสง 89% ขอบหน้าต่างสีน้ำตาล (Ochre Brown) ค่าการสะท้อนแสง 19%  ● กระจกฝ้าด้านบนทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้ ค่าการส่องผ่านของแสง 40% ขอบหน้าต่างสีเทา (Squirrel grey) ค่าการสะท้อนแสง 26%  ● ประตู ค่าการส่องผ่านของแสง 100%
8) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2



ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

ภาพที่ 81 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 2 ก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 64 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 2

วันที่	**เวลา**				**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย lux**
	8.30 lux	**10.30 lux**	**14.30 lux**	**16.30 lux**	
21 มีนาคม	1,524	273	208	187	548
21 มิถุนายน	1,071	321	242	226	465
21 กันยายน	1,524	273	208	187	548
21 ธันวาคม	235	234	202	142	203
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	1089	275	215	186	441

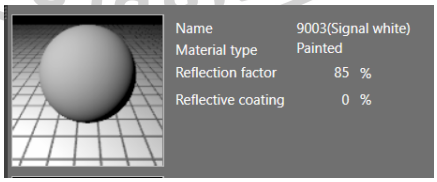
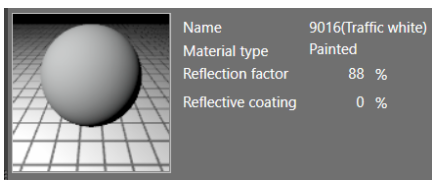
ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

จากการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 2 ผลเฉลี่ยค่าความส่องสว่างเท่ากับ 441 Lux ตามตารางที่ 62, ภาพที่ 80 ซึ่งผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน แต่เนื่องจากยังไม่ได้ทำตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้องเรียนมาใช้ จึงได้ปรับปรุงตามแนวทางในขั้นตอนต่อไป รายละเอียดการตั้งค่าโปรแกรมและผลที่ได้ดังนี้ ตามตารางที่ 65-68, ภาพที่ 83

ตารางที่ 65 การตั้งค่าในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2**
1) วันที่และเวลา	● วันที่ 21 มีนาคม, 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ● เวลา 8.30 ,10.30, 14.30 และ 16.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	● ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	● สูงจากพื้น 0.75 m จำนวน 56 จุด

ตารางที่ 66 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน

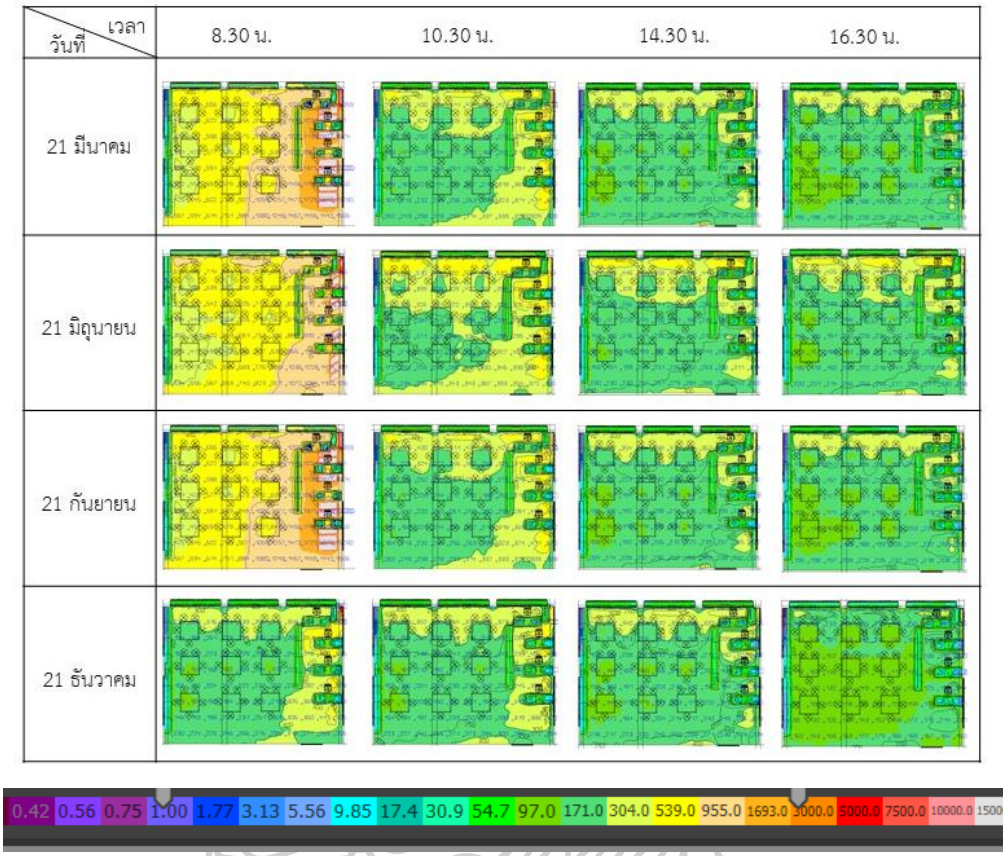
รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2**
1) พื้น	● สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
2) ผนัง	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 
3) เพดาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
4) คาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%

ตารางที่ 66 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน (ต่อ)

รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2
5) เสา	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
6) โต๊ะและเก้าอี้	● ทาสีโต๊ะเรียน เป็นสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
7) ช่องเปิด	● ช่องเปิดแสงด้านล่างทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% ● กระจกฝ้าด้านบนทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% ● ประตู ค่าการส่องผ่านของแสง 100%
8) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

ภาพที่ 82 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 2 หลังการปรับปรุง วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 10.30 น.



ภาพที่ 83 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 2 หลังการปรับปรุง

ตารางที่ 67 ผลการศึกษาความส่องสว่างหลังการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 2

วันที่	**เวลา**				**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย**
	8.30	**10.30**	**14.30**	**16.30**	
	lux	**lux**	**lux**	**lux**	**lux**
21 มีนาคม	1,454	290	224	203	543
21 มิถุนายน	1,068	339	260	247	479
21 กันยายน	1,454	290	224	203	543
21 ธันวาคม	265	252	217	153	223
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	1,060	293	231	202	446

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

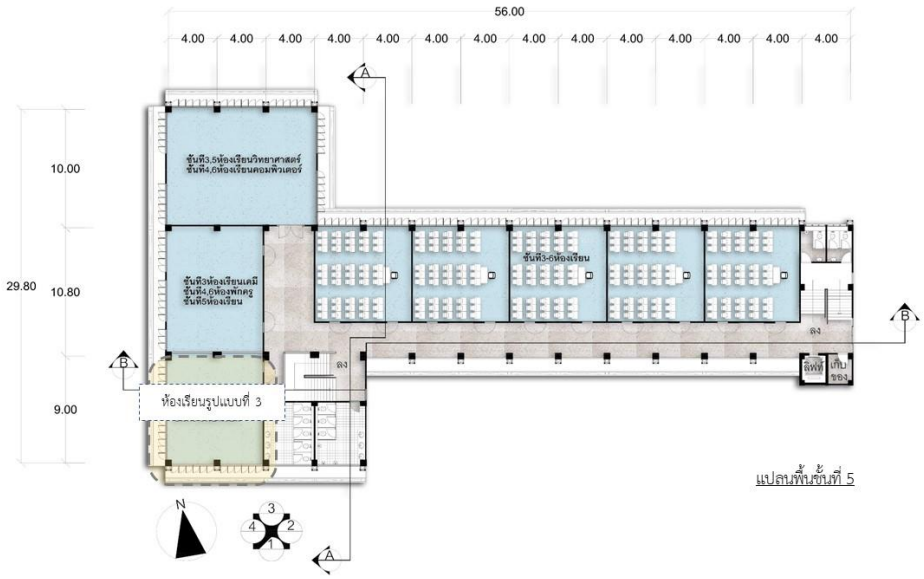
จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนและหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2 ซึ่ง พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงกรอบอาคารทำให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเดิม 441 Lux เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 446 Lux ตามตารางที่ 67 ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นไม่ต่างจากเดิมมากนัก และเมื่อนำมาเทียบกับกฎหมายและมาตรฐานผลการประเมินคือผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียนรายละเอียดดังนี้ ตามตารางที่ 68

ตารางที่ 68 กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความส่องสว่างห้องเรียนรูปแบบที่ 1

กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมิน	**ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน (lux)**	**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากการปรับปรุงห้องเรียน (lux)**	**การประเมินผล**
1. กฎกระทรวงฉบับที่ 39	300	446	ผ่าน
2. เกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย	300		
3.มาตรฐานแสงสว่าง IES Lighting Handbook 10th Edition ปี 2011	300		

สรุปการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2 ช่องเปิดแสงด้านล่างทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 60% ขอบหน้าต่างทาสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% กระจกฝ้าด้านบนทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% ทาสีโต๊ะเรียนและเก้าอี้ เป็นสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%

4) การศึกษาการปรับปรุงด้านแสงสว่างธรรมชาติห้องเรียนรูปแบบที่ 3 ตามภาพที่ 84-86 ห้องเรียนรูปแบบที่ 3 มีพื้นที่ 72 m^2 สูง 3.50 m ตรงบริเวณหัวมุม มีหน้าต่างด้านทิศใต้และทิศตะวันตก โดยการตั้งค่าสภาพเดิมของห้องเรียนในโปรแกรมก่อนการจำลองรายละเอียดเหมือนกับห้องเรียนรูปแบบที่ 1



ภาพที่ 84 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 3

ภาพที่ 85 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 3 วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 10.30 น.

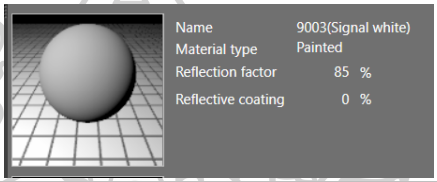
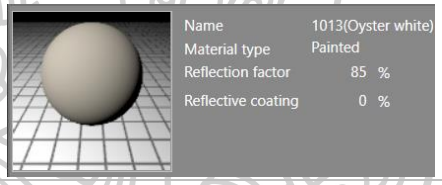
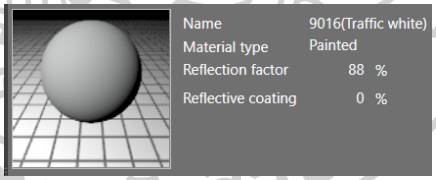
ตารางที่ 69 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3**
1) วันที่และเวลา	• วันที่ 21 มีนาคม, 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม พ.ศ 2564 • เวลา 8.30 ,10.30, 14.30 และ 16.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	• ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)

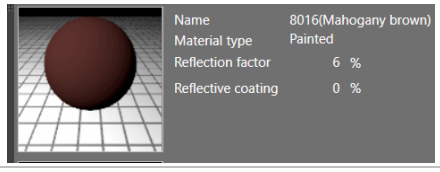
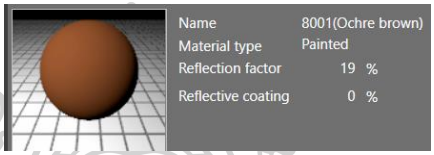
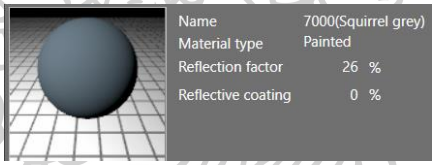
ตารางที่ 69 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง

รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	• สูงจากพื้น 0.75 m จำนวน 56 จุด

ตารางที่ 70 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง

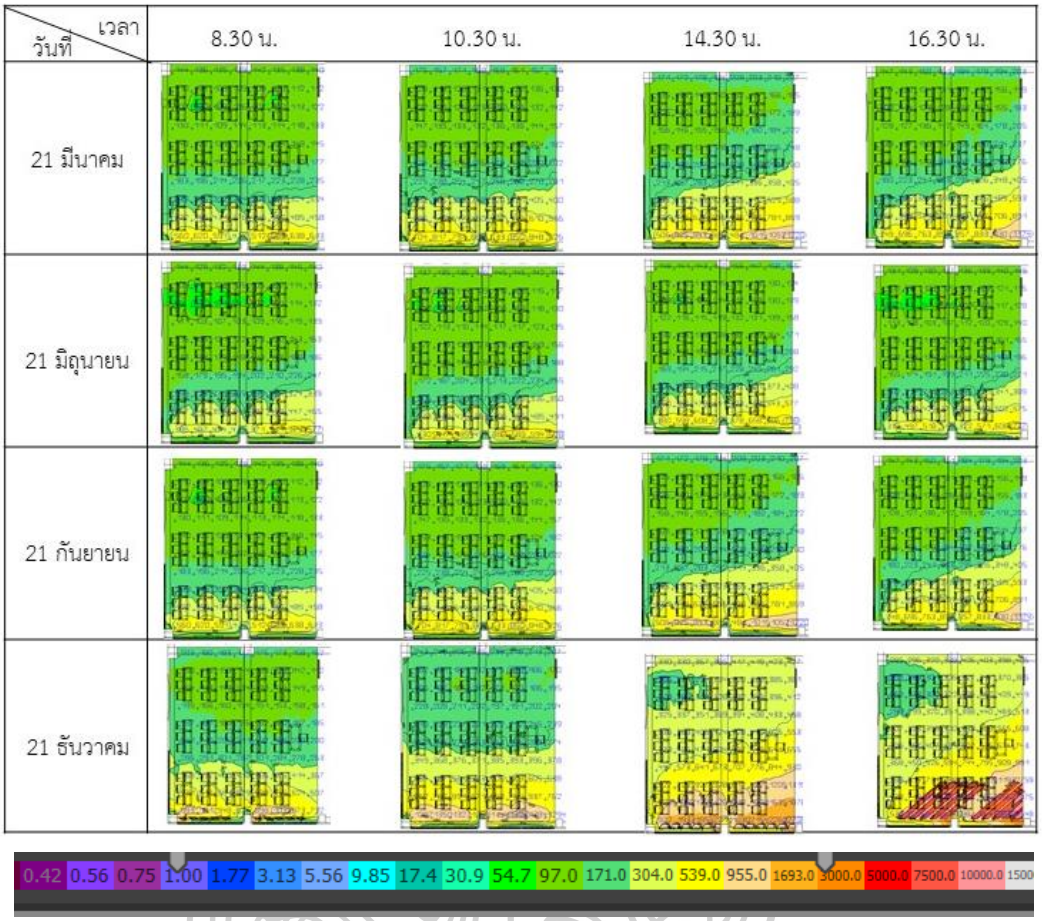
รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3
1) พื้น	• สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
2) ผนัง	• สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
3) เพดาน	• สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 
4) คาน	• สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
5) เสา	• สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%

ตารางที่ 70 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3**
6) โต๊ะและเก้าอี้	● น้ำตาลมะฮอกกานี (Mahogany brown) ค่าการสะท้อนแสง 6% 
7) ช่องเปิด	● ช่องเปิดด้านล่างทางทิศใต้และทิศตะวันตกค่าการส่องผ่านของแสง 89% ขอบหน้าต่างสีน้ำตาล (Ochre Brown) ค่าการสะท้อนแสง 19%  ● กระจกฝ้าด้านบนทางทิศใต้และทิศตะวันตกค่าการส่องผ่านของแสง 40% ขอบหน้าต่างสีเทา (Squirrel grey) ค่าการสะท้อนแสง 26%  ● ประตู ค่าการส่องผ่านของแสง 100%
8) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

ภาพที่ 86 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 3 ก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 71 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 3

วันที่	**เวลา**				**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย**
	8.30	**10.30**	**14.30**	**16.30**	
	lux	**lux**	**lux**	**lux**	**lux**
21 มีนาคม	215	262	317	283	269
21 มิถุนายน	198	208	228	207	210
21 กันยายน	215	262	317	283	269
21 ธันวาคม	344	402	1165	1215	782
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	243	284	507	497	383

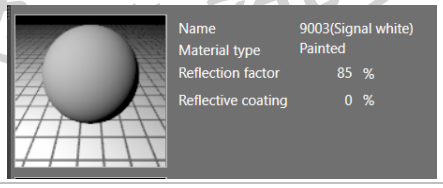
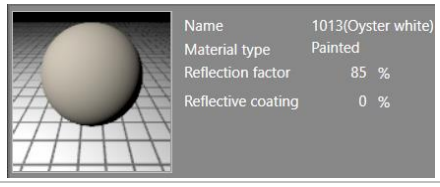
ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

จากการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 3 ผลเฉลี่ยค่าความส่องสว่างเท่ากับ 383 Lux ตามตารางที่ 71 และภาพที่ 86 ซึ่งผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน แต่เนื่องจากยังไม่ได้ทำตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้องเรียนมาใช้ จึงได้ปรับปรุงตามแนวทางในขั้นตอนต่อไป รายละเอียดการตั้งค่าโปรแกรมและผลที่ตามตารางที่ 72-74 และภาพที่ 88

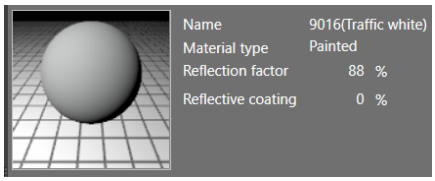
ตารางที่ 72 การตั้งค่าในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3**
1) วันที่และเวลา	● วันที่ 21 เดือนมีนาคม, 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม พ.ศ.2564 ● เวลา 8.30 ,10.30, 14.30 และ 16.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	● ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	● สูงจากพื้น 0.75 m จำนวน 56 จุด

ตารางที่ 73 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3**
1) พื้น	● สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
2) ผนัง	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 

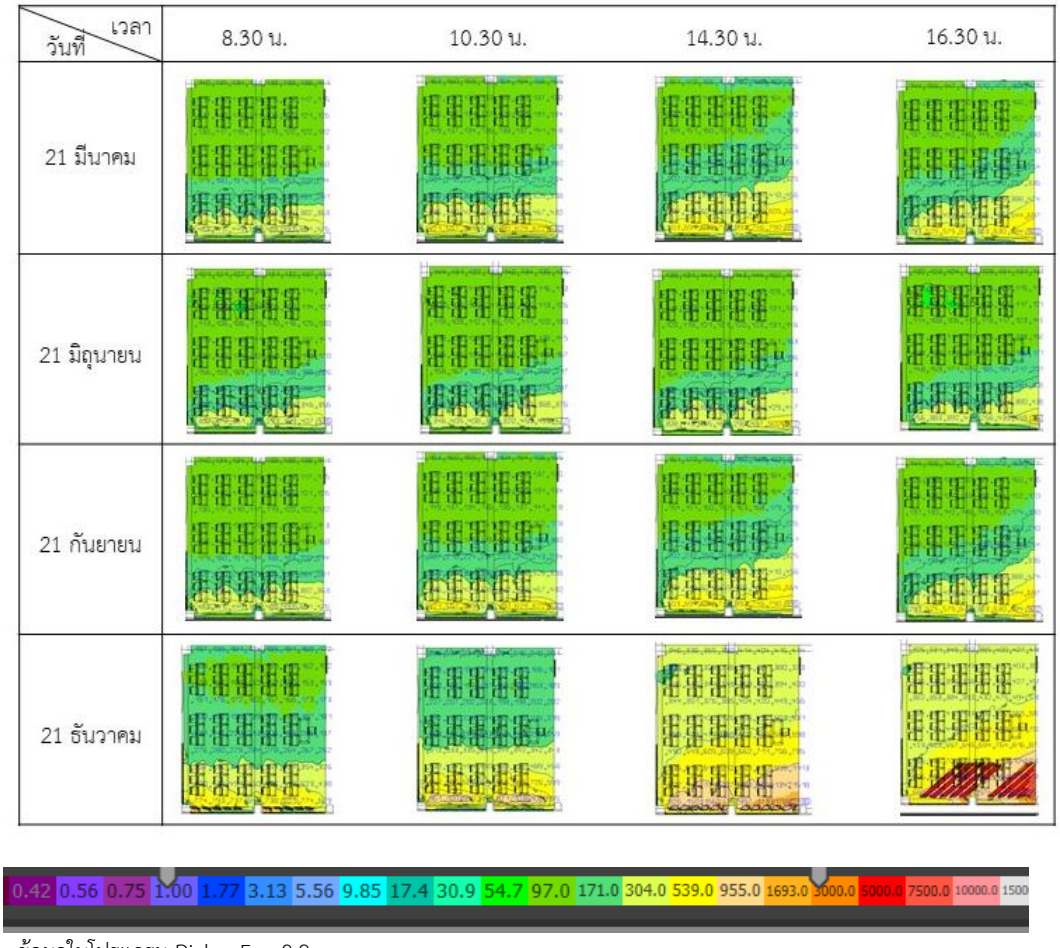
ตารางที่ 73 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน (ต่อ)

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3**
3) เพดาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 
4) คาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
5) เสา	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%
6) โต๊ะและเก้าอี้	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
10) ช่องเปิด	● ช่องเปิดแสงด้านล่างทางทิศใต้ ทิศตะวันตก เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% ● กระจกฝ้าด้านบนทางทิศใต้ และ และทิศตะวันตก เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% ● ประตู ค่าการส่องผ่านของแสง 100%
11) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาพที่ 87 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 3 หลังการปรับปรุง เวลา 10.30 น. วันที่ 21 มีนาคม 2564



67

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

ภาพที่ 88 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 3 หลังการปรับปรุง

ตารางที่ 74 ผลการศึกษาความส่องสว่างหลังการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 3

วันที่	เวลา				ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย lux
	8.30 lux	10.30 lux	14.30 lux	16.30 lux	
21 มีนาคม	192	228	271	245	234
21 มิถุนายน	174	183	198	181	184
21 กันยายน	192	228	271	245	234
21 ธันวาคม	310	348	952	1022	658
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	217	247	423	423	328

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

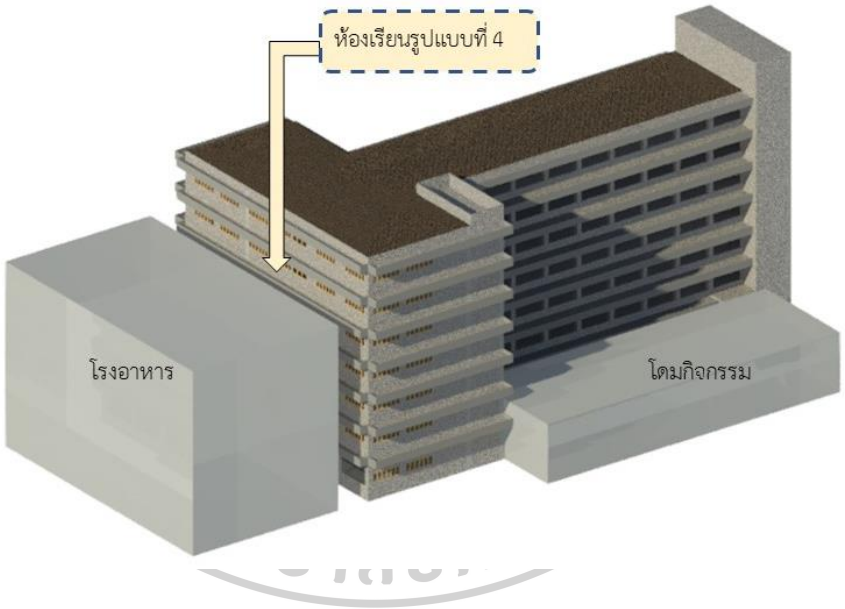
จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนและหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3 ซึ่ง พบว่าเมื่อปรับปรุงกรอบอาคารทำให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเดิม 383 Lux ลดลงจากเดิมเป็น 328 Lux ตามตารางที่ 74 ค่าความส่องสว่างที่ลดลงไม่ต่างจากเดิมมากนัก และเมื่อนำมาเทียบกับกฎหมายและมาตรฐานผลการประเมินคือผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียนรายละเอียดดังนี้ ตามตารางที่ 75

ตารางที่ 75 กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความส่องสว่างห้องเรียนรูปแบบที่ 1

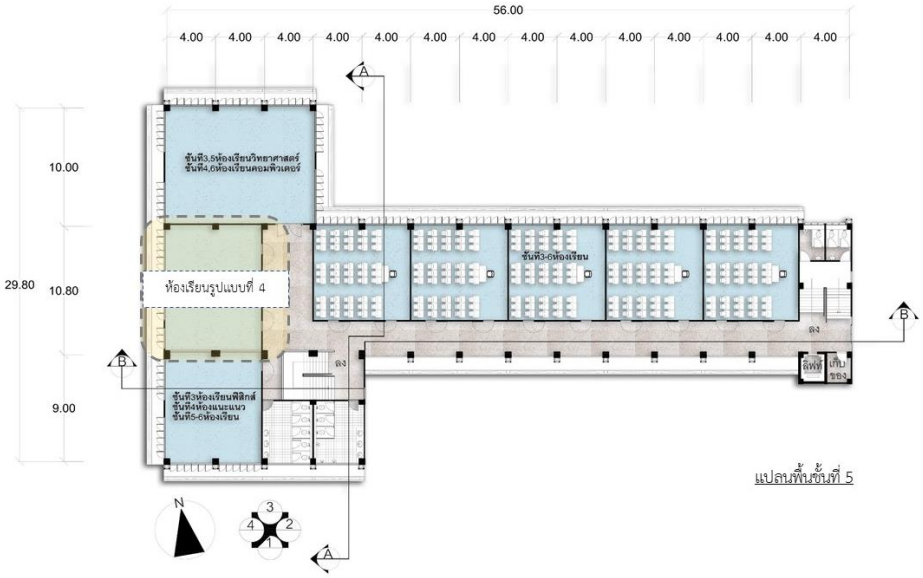
กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมิน	ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน (lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากการปรับปรุงห้องเรียน (lux)	การประเมินผล
1. กฎกระทรวงฉบับที่ 39	300	328	ผ่าน
2. เกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย	300		
3.มาตรฐานแสงสว่าง IES Lighting Handbook 10th Edition ปี 2011	300		

การปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3 ช่องเปิดแสงด้านล่างทางทิศใต้ ทิศตะวันตก เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% กระจกฝ้าด้านบนทางทิศใต้ และ และทิศตะวันตก เปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% ทาสีโต๊ะเรียนและเก้าอี้ เป็นสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%

5) การศึกษาการปรับปรุงด้านแสงสว่างธรรมชาติห้องเรียนรูปแบบที่ 4 ตามภาพที่ 89-94 ห้องเรียนรูปแบบที่ 4 มีพื้นที่ 86 m^2 สูง 3.50 m มีหน้าต่างด้านทิศตะวันตก ตำแหน่งของห้องอยู่บริเวณตรงกลางอาคาร และในด้านทิศตะวันตกของห้องมีอาคารโรงอาหารซึ่งบดบัง ทำให้ไม่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ จึงจำลองแสงสว่างเพื่อศึกษาสภาพแสงก่อนการปรับปรุง



ภาพที่ 89 บริเวณโดยรอบห้องเรียนรูปแบบที่ 4



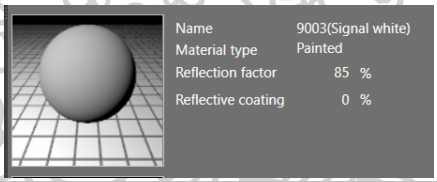
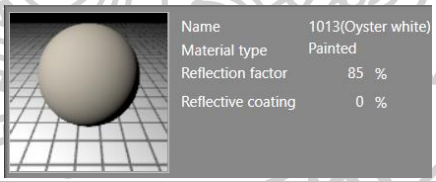
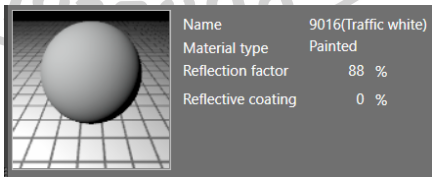
ภาพที่ 90 ผังพื้นห้องเรียนรูปแบบที่ 4

ภาพที่ 91 ลักษณะแสงธรรมชาติของห้องเรียนรูปแบบที่ 4 เวลา วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 10.30 น.

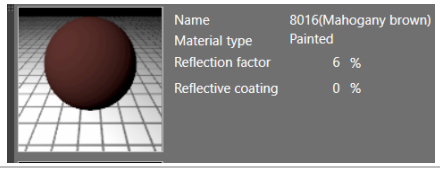
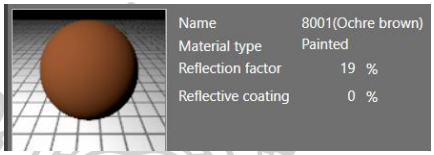
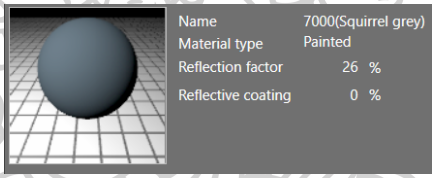
ตารางที่ 76 การตั้งค่าการจำลองแสงในโปรแกรม Dialux evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4**
1) วันที่และเวลา	● วันที่ 21 มีนาคม, 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ● เวลา 8.30 ,10.30, 14.30 และ 16.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	● ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	● สูงจากพื้น 0.75 m จำนวน 56 จุด

ตารางที่ 77 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง

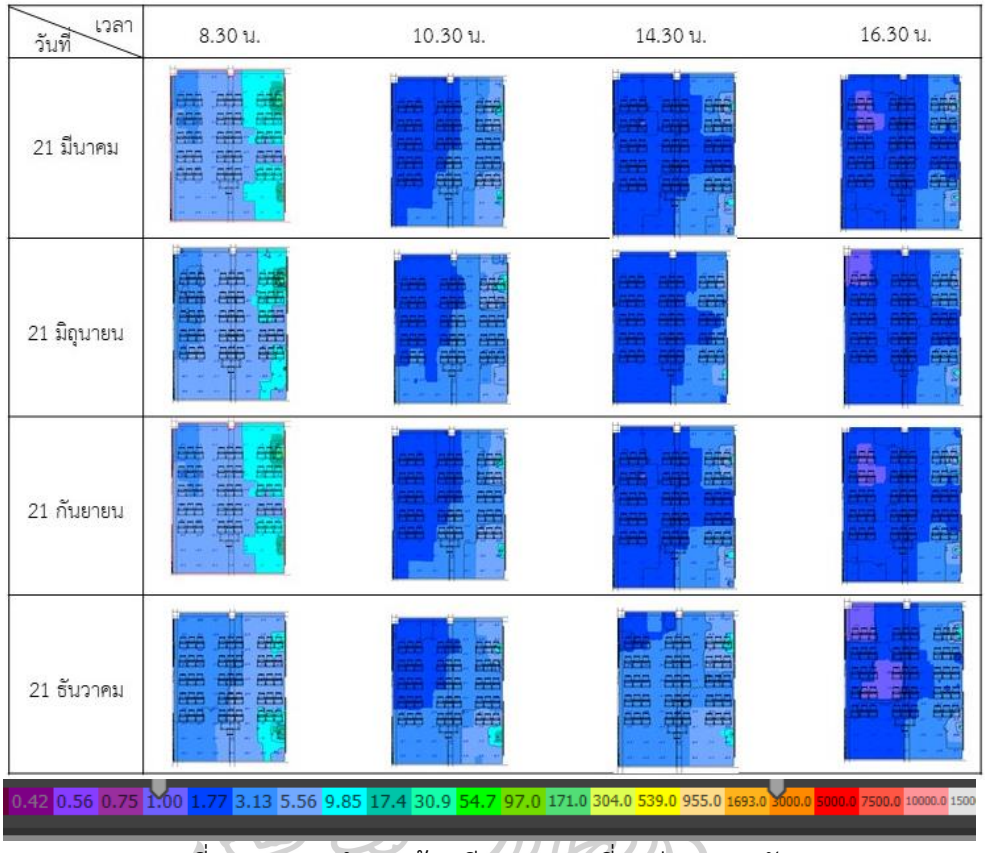
รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4**
1) พื้น	● สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
2) ผนัง	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
3) เพดาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% 
4) คาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
5) เสา	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%

ตารางที่ 75 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมก่อนการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4**
6) โต๊ะและเก้าอี้	● น้ำตาลมะฮอกกานี (Mahogany brown) ค่าการสะท้อนแสง 6% 
7) ช่องเปิด	● ช่องเปิดด้านล่างทางทิศตะวันตกค่าการส่องผ่านของแสง 89% ขอบหน้าต่างสีน้ำตาล (Ochre Brown) ค่าการสะท้อนแสง 19%  ● กระจกฝ้าด้านบนทางทิศตะวันตกค่าการส่องผ่านของแสง 40% ขอบหน้าต่างสีเทา (Squirrel grey) ค่าการสะท้อนแสง 26%  ● ประตู ค่าการส่องผ่านของแสง 100%
8) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 92 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 4 ก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 78 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 4

วันที่	**เวลา**				**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (lux)**
	8.30 (lux)	**10.30 (lux)**	**14.30 (lux)**	**16.30 (lux)**	
21 มีนาคม	8.90	3.84	3.05	2.79	4.65
21 มิถุนายน	8.14	3.87	2.98	2.70	4.42
21 กันยายน	8.90	3.84	3.05	2.79	4.65
21 ธันวาคม	6.27	4.29	4.92	3.06	4.64
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น (lux)	8.05	3.96	3.50	2.84	4.59

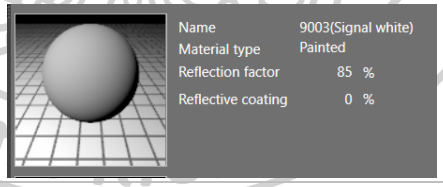
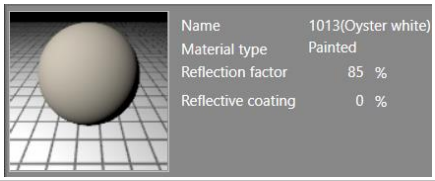
จากการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 4 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 Lux ตามตารางที่ 78 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน แต่เนื่องจากยังไม่ได้ทำตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

ภายในห้องเรียนมาใช้ จึงได้ปรับปรุงตามแนวทางในขั้นตอนต่อไป รายละเอียดการตั้งค่าโปรแกรมและผลที่ได้ตามตารางที่ 79-82 และภาพที่ 93

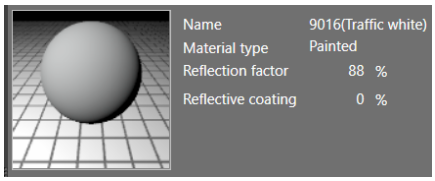
ตารางที่ 79 การตั้งค่าในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 ตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4**
1) วันที่และเวลา	• วันที่ 21 เดือนมีนาคม, 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2564 • เวลา 8.30 ,10.30, 14.30 และ 16.30 น.
2) สภาพท้องฟ้า	• ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky)
3) ความสูงของระนาบการคำนวณค่าความส่องสว่างในโปรแกรม	• สูงจากพื้น 0.75 m จำนวน 56 จุด

ตารางที่ 80 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน

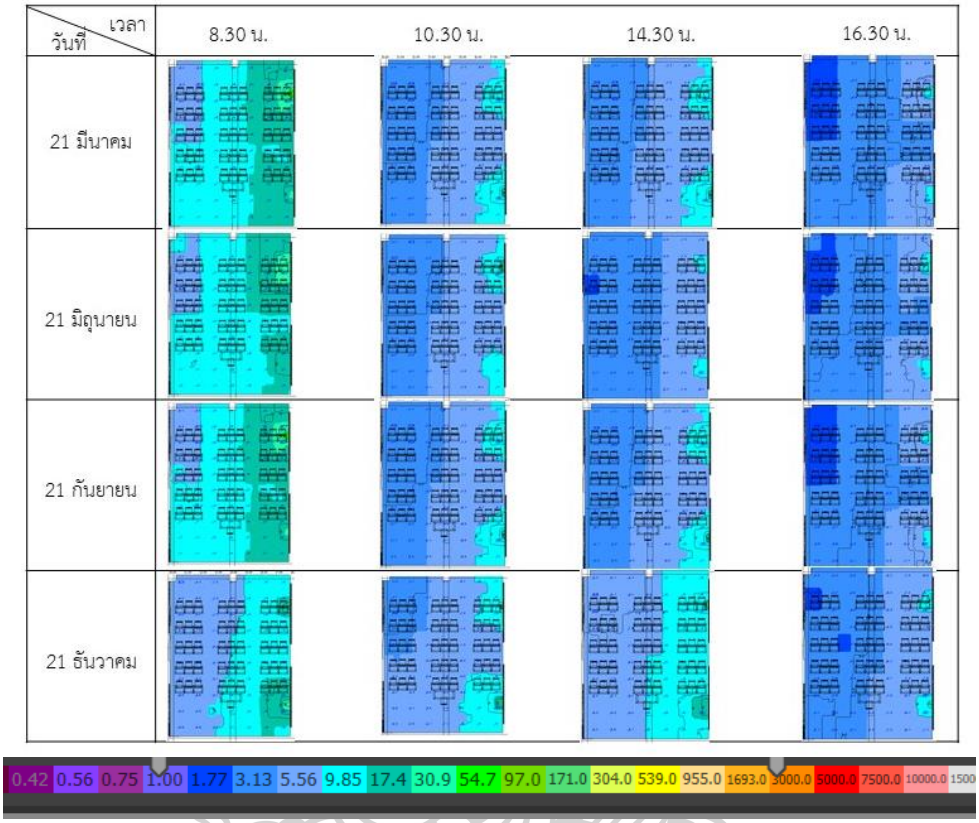
รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4**
1) พื้น	• สีขาว (Signal white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 
2) ผนัง	• สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85% 

ตารางที่ 80 การตั้งค่าวัสดุของห้องเรียนในโปรแกรม Dialux Evo 9.2 หลังการปรับปรุงตามแนวทางการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดอุณหภูมิของห้องเรียน (ต่อ)

รายละเอียด	**การตั้งค่าในโปรแกรมหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4**
3) เพดาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%  ●
4) คาน	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
5) เสา	● สีขาว (Oyster white) ค่าการสะท้อนแสง 85%
6) โต๊ะและเก้าอี้	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%
7) ช่องเปิด	● ช่องเปิดด้านล่างทางทิศตะวันตกค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างทาสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% ● กระจกฝ้าด้านบนทางทิศตะวันตกเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% ● กระจกฝ้าด้านบนด้านทิศตะวันออกเปลี่ยนเป็นกระจกใส ค่าการส่องผ่านของแสง 89% ● ประตู ค่าการส่องผ่านของแสง 100%
8) สีทาภายนอกอาคาร	● สีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88%

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

ภาพที่ 93 ลักษณะแสงธรรมชาติวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2564 ตอน 10.30 น. หลังการปรับปรุงในห้องเรียนรูปแบบที่ 4



ภาพที่ 94 ผลการจำลองห้องเรียนรูปแบบที่ 4 หลังการปรับปรุง

ตารางที่ 81 ผลการศึกษาความส่องสว่างหลังการปรับปรุงของห้องเรียนรูปแบบที่ 4

วันที่	**เวลา**				**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย lux**
	8.30 lux	**10.30 lux**	**14.30 lux**	**16.30 lux**	
21 มีนาคม	15.90	6.83	5.40	4.74	8.22
21 มิถุนายน	14.90	6.74	5.18	5.00	7.96
21 กันยายน	15.90	6.83	5.40	4.74	8.22
21 ธันวาคม	11.30	7.86	9.98	5.75	8.72
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	14.50	7.07	6.49	5.06	8.28

จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนและหลังการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4 ซึ่ง พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงกรอบอาคารทำให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเดิม 4.59 Lux เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 8.28 Lux ตามตารางที่ 81 ค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้น 55.43% แต่ก็เป็นค่าความส่องสว่างที่มีค่าน้อย เมื่อนำมาเทียบกับกฎหมายและมาตรฐานผลการประเมินคือไม่ผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียนรายละเอียดดังนี้ ตามตารางที่ 80

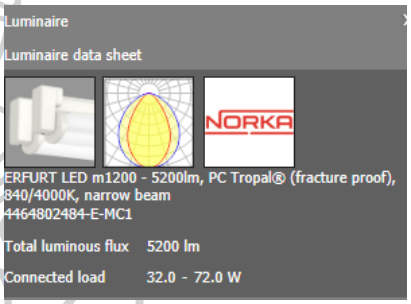
ตารางที่ 82 กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความส่องสว่างห้องเรียนรูปแบบที่ 1

กฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ในการประเมิน	**ค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน (lux)**	**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากการปรับปรุงห้องเรียน (lux)**	**การประเมินผล**
1. กฎกระทรวงฉบับที่ 39	300	8.28	ไม่ผ่าน
2. เกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย	300		
3.มาตรฐานแสงสว่าง IES Lighting Handbook 10th Edition ปี 2011	300		

6) การศึกษาการใช้แสงประดิษฐ์ในการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4

การศึกษาเพื่อหาแนวทางปรับปรุงแสงสว่างให้ห้องเรียนรูปแบบที่ 4 ให้ผ่านค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน จำเป็นจะต้องใช้แสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมกับห้องเรียน เนื่องจากห้องเรียนรูปแบบที่ 4 มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยน้อยไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานขั้นต่ำ และด้วยตำแหน่งของห้องเรียนที่โดนอาคารข้างเคียงบดบังแสงสว่างจากธรรมชาติ ทำให้ไม่ได้รับแสงสว่าง ดังนั้นการศึกษาการออกแบบในขั้นตอนแรกจะเป็นการจำลองโดยการเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36W เป็นหลอด LED 18W และให้มีการเปิดใช้งานแสงประดิษฐ์แบบทั้งหมด โดยรายละเอียดการตั้งค่าโคมไฟตามตารางที่ 83-85

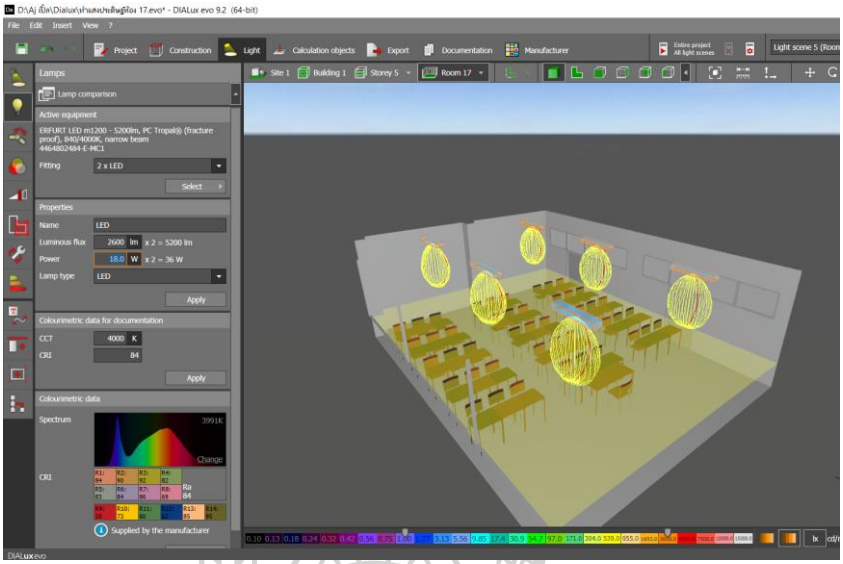
ตารางที่ 83 การตั้งค่าหลอดไฟที่ใช้ในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

รายละเอียด	**บัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ**	**หลอดไฟที่ใช้ในโปรแกรม Dialux Evo 9.2**
ชนิดโคม	โคมไฟติดเพดาน	
หลอดไฟที่ใช้	LED ขนาด 18Wx2	
อุณหภูมิสีของแสง	4,000 K (Cool White)	
ปริมาณแสง	5200 lm	
ขนาดของหลอดไฟ	1.25X0.24X0.14 m	
กำลังสูญเสียที่บัลลาสต์	6 Wx2	
กำลังไฟฟ้าวงจรรวม	48 W	

ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/

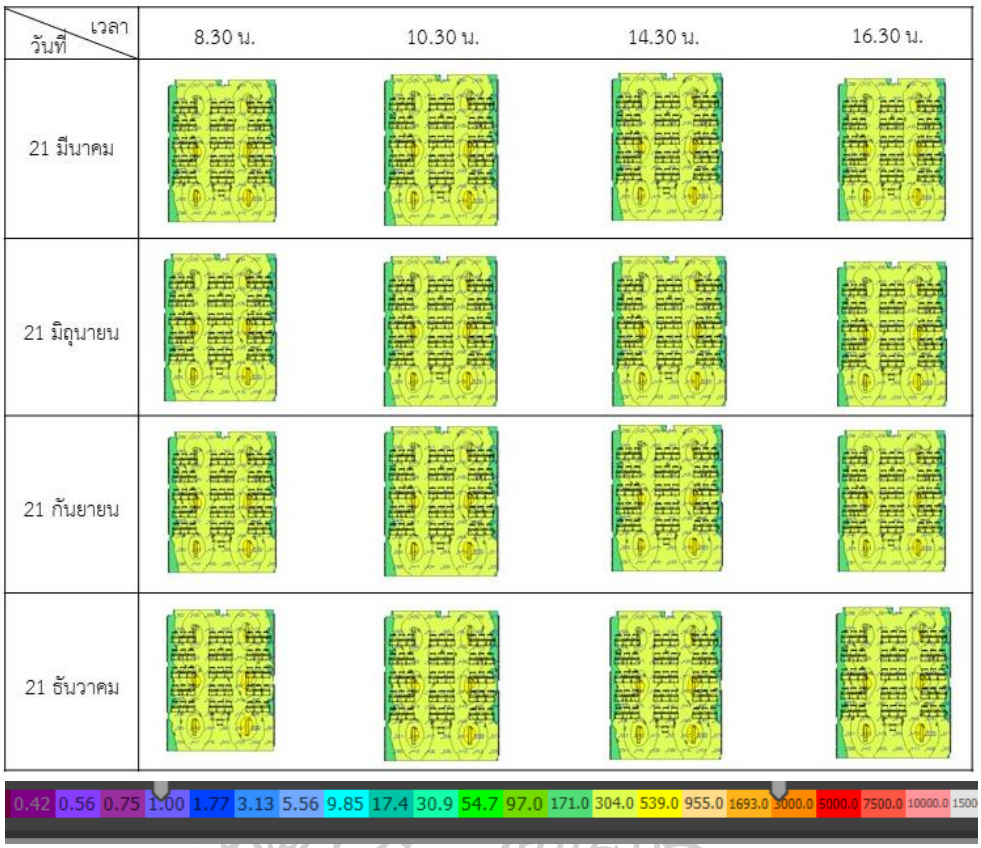
ตารางที่ 84 การตั้งค่าในโปรแกรม Dialux Evo 9.2

รายละเอียด	การตั้งค่าในโปรแกรม
ความสูงระยะการวัด	ทุกๆระยะ 0.75 m.
จำนวนจุดในการจำลอง	70 จุด
การเปิดใช้งานแสงประดิษฐ์	100%



ภาพที่ 95 การจำลองสภาพแสงประดิษฐ์โดยโปรแกรม Dialux Evo 9.2

ภาพที่ 96 ลักษณะแสงสว่างหลังการปรับปรุงโดยใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ทั้งหมด วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 10.30 น.



ภาพที่ 97 ผลการศึกษาการจำลองการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ทั้งหมด

ตารางที่ 85 ผลการศึกษาการจำลองการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ทั้งหมด

วันที่	**เวลา**				**ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย lux**
	8.30 lux	**10.30 lux**	**14.30 lux**	**16.30 lux**	
21 มีนาคม	406	405	404	404	405
21 มิถุนายน	405	404	404	404	404
21 กันยายน	406	405	404	404	405
21 ธันวาคม	412	407	408	405	408
เฉลี่ยค่าความส่องสว่าง ณ เวลานั้น lux	407	405	405	404	405

สรุปการปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4 การศึกษาเพื่อหาแนวทางปรับปรุงแสงสว่างให้ห้องเรียนรูปแบบที่ 4 ให้ผ่านค่าความส่องสว่างที่กำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่ใช้ประเมินห้องเรียน จำเป็นจะต้องออกแบบแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมกับห้องเรียน เนื่องจากห้องเรียนรูปแบบที่ 4 มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยน้อยมากไม่เพียงพอต่อความต้องการขั้นต่ำ และด้วยตำแหน่งของห้องเรียนที่มีอาคารบดบังทำให้เกิดเงาทาบทับบริเวณช่องเปิด จึงสรุปแนวทางการออกแบบได้ดังนี้ ช่องเปิดด้านล่างทางทิศตะวันตกใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างทาสีขาว (Traffic white) ซึ่งมีค่าการสะท้อนแสง 88% กระจกฝ้าด้านบนทางทิศตะวันตกเปลี่ยนเป็นกระจก Low-E ค่าการส่องผ่านของแสง 60% ขอบหน้าต่างทาด้วยสีขาว (Traffic white) ค่าการสะท้อนแสง 88% และกระจกฝ้าด้านบนด้านทิศตะวันออกเปลี่ยนเป็นกระจกใส ค่าการส่องผ่านของแสง 89%

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเรียนพิทักษ์สุนทรเพื่อใช้เป็นแบบอย่างแนวทางในการปรับปรุงอาคารเรียนเก่า ให้เป็นอาคารที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) และเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพแสงของแบบอาคารเรียน 324 ล./55 ก. มาตรฐานของสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐาน

5.1 สรุปผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารและแสงสว่างในอาคาร

5.1.1 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร จากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงด้วยการจำลองอาคารโดยโปรแกรม BEC V.1.0.6 สามารถสรุปแนวทางได้ 4 ข้อดังนี้

1) ทาสีอาคารด้วยสีขาว

2) เปลี่ยนกระจกใสและกระจกฝ้าด้านบนเป็นกระจก Low-E (Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green)

3) การทาสีหลังคากระเบื้องลอนคู่เป็นสีขาว

4) การติดตั้งฉนวนใยแก้วบริเวณใต้หลังคา

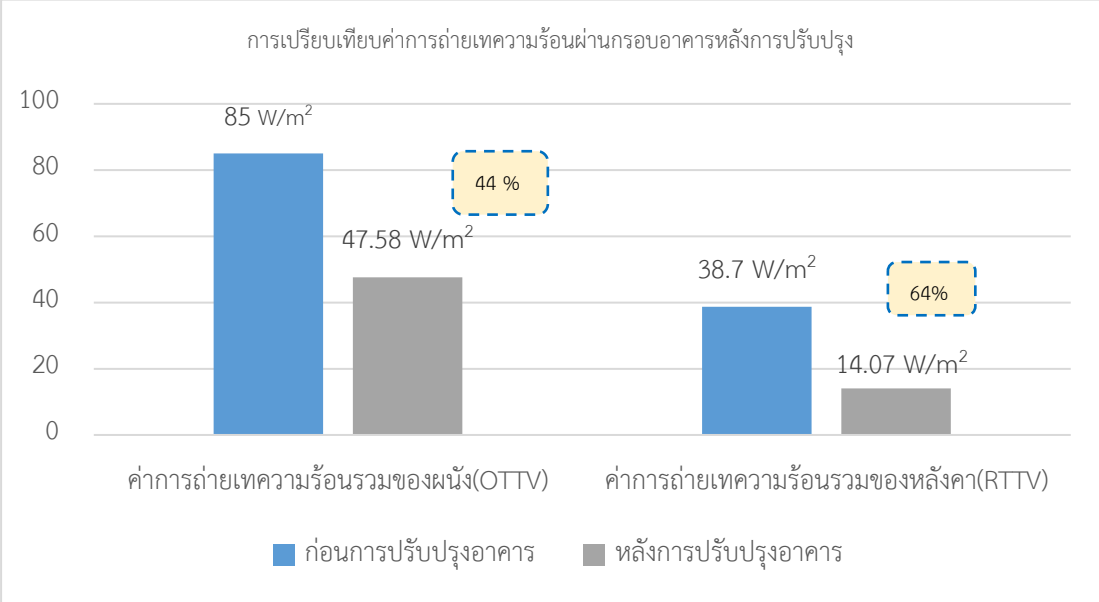
จากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงที่ได้ พบว่าการทาสีอาคารด้วยสีขาวและการทาสีหลังคากระเบื้องลอนคู่เป็นสีขาว คือการใช้สีเพื่อลดอุณหภูมิความร้อนในอาคาร เนื่องจากสีอ่อนมีค่าการดูดซับแสงอาทิตย์ที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2556) การเปลี่ยนมาใช้กระจก Low-E แทนการใช้กระจกใส สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 13% แผนภูมิที่ 7 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Chiradeja, 2019) และการติดตั้งฉนวนใยแก้วบริเวณใต้หลังคา สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) ตามตารางที่ 86 สอดคล้องตามงานวิจัยของ (โสพิศ ชัยชนะ, 2558)

ตารางที่ 86 สรุปผลการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารด้วยโปรแกรม BEC V.1.0.6

	สภาพอาคารเดิม	**อาคารพิทักษ์สุนทร**	**การประเมิน**
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) W/m^2	85.05	47.58	ผ่าน

ตารางที่ 86 สรุปผลการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารด้วยโปรแกรม BEC V.1.0.6 (ต่อ)

	สภาพอาคารเดิม	อาคารพิทักษ์สุนทร	การประเมิน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) W/m^2	38.70	14.07	ผ่าน



แผนภูมิที่ 7 การเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 87 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานสุทธิของอาคารอ้างอิงกับอาคารพิทักษ์สุนทรก่อนและหลังการปรับปรุง

	การใช้พลังงานสุทธิ (อาคารอ้างอิง) kWh/Year	การใช้พลังงานสุทธิ (อาคารพิทักษ์สุนทร) kWh/Year	การประเมิน	การลดการใช้พลังงานลงได้ kWh/Year
การใช้พลังงานในอาคารก่อนการศึกษาการปรับปรุง	713,929	662,236	ผ่าน	44,334 13%
การใช้พลังงานในอาคารหลังการศึกษาการปรับปรุง		577,902		

ที่มา : ข้อมูลในโปรแกรม BEC V.1.0.6

5.1.2 แนวทางการปรับปรุงแสงสว่างในอาคาร จากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงด้วยการจำลองอาคารโดยโปรแกรม Dialux Evo 9.2 สามารถสรุปแนวทางได้ดังนี้

1) การทาสีห้องเรียนภายนอกและภายในให้เป็นสีขาว

2) การทาสีเฟอร์นิเจอร์ให้เป็นสีขาว

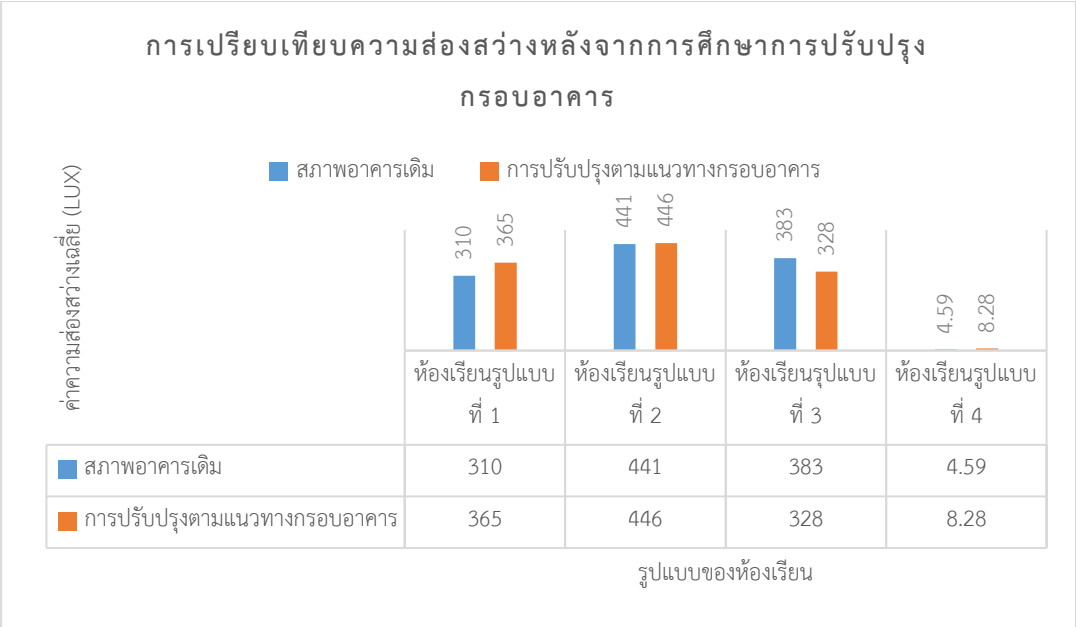
หลังจากการศึกษาการปรับปรุงห้องเรียนทั้ง 4 รูปแบบตามแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารและคุณภาพแสงสว่างที่ดี ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ลดลงจากค่าเดิม 41.38 % รายละเอียดดังนี้ตามตาราง 88-89

ตารางที่ 88 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเมื่อลดการใช้แสงประดิษฐ์

ชั้นที่	**พลังงานการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างก่อนการปรับปรุง W**	**พลังงานการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างหลังการปรับปรุง (เมื่อลดการใช้แสงประดิษฐ์) W**	**พื้นที่ m^2**
1	3,522	3,522	572
2	1,872	528	582
3	2,016	528	604
4	2,016	528	604
5	2,016	528	604
6	2,016	528	604
7	2,319	1,599	647
รวม	15,777	7,761	4,217

ตารางที่ 89 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอด LED

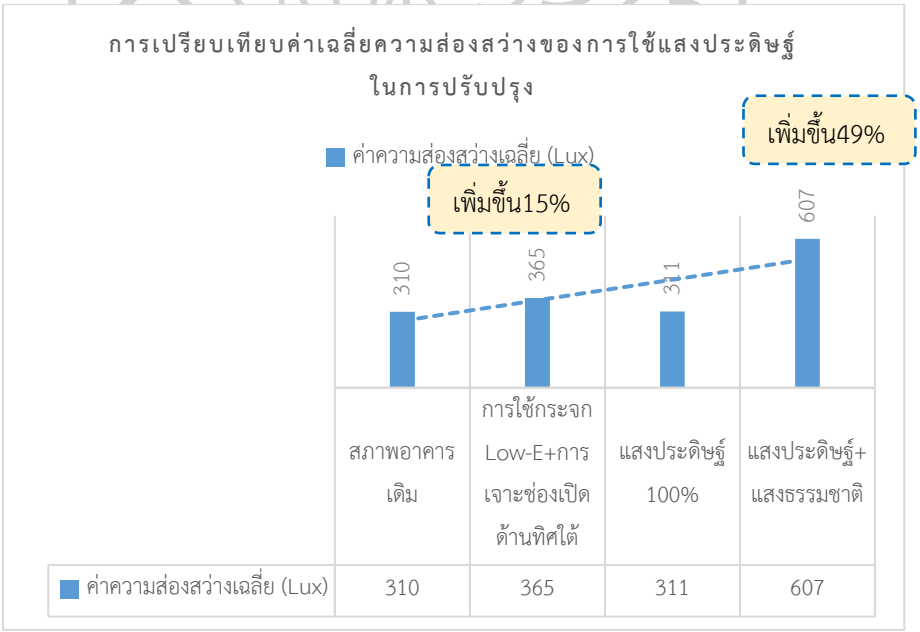
	กำลังไฟฟ้า (Power Density) W/m^2	**ลดลงจากค่าเดิม**
ก่อนการปรับปรุง (หลอดฟลูออเรสเซนต์)	6.38	41.38 %
หลังการปรับปรุง (หลอด LED)	3.74	



แผนภูมิที่ 8 การเปรียบเทียบความส่องสว่างหลังจากการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคาร

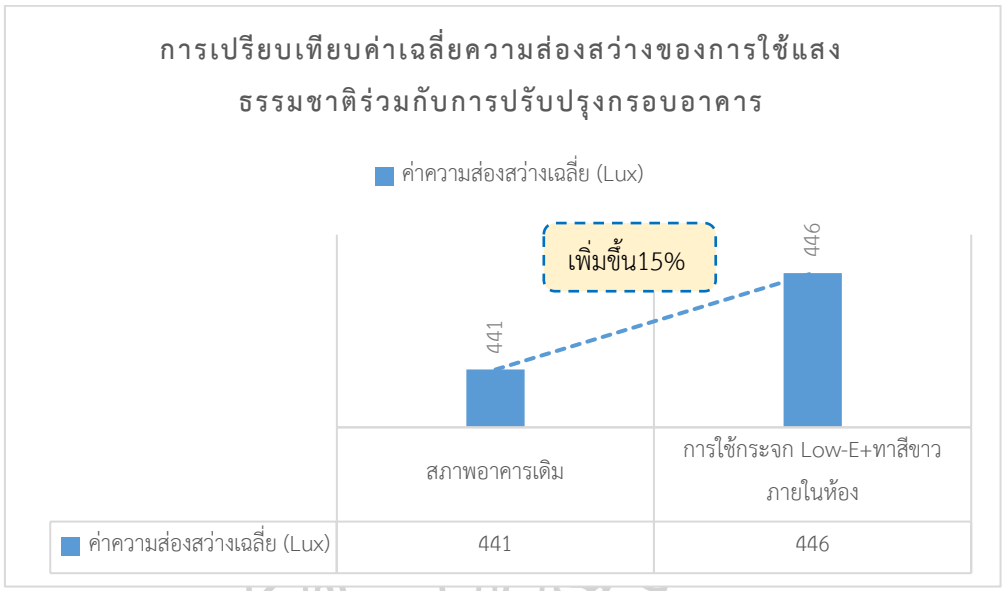
จากแผนภูมิที่ 8 พบว่า ห้องเรียนแบบที่ 1-3 สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการเปลี่ยนชนิดกระจกและทาสีขาวภายในห้องเรียน โต๊ะ และเก้าอี้ ห้องเรียนรูปแบบที่ 4 ที่อยู่ด้านทิศตะวันตก มีอาคารข้างเคียงบังช่องเปิดแสงทำให้เป็นห้องที่แทบจะไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติได้เลยจึงมีการใช้แสงประดิษฐ์ในการแก้ปัญหา

1) การปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 1 โดยการใช้กระจก Low-E การเจาะช่องเปิดด้านทิศใต้ และการทาสีขาวภายในห้องเรียน



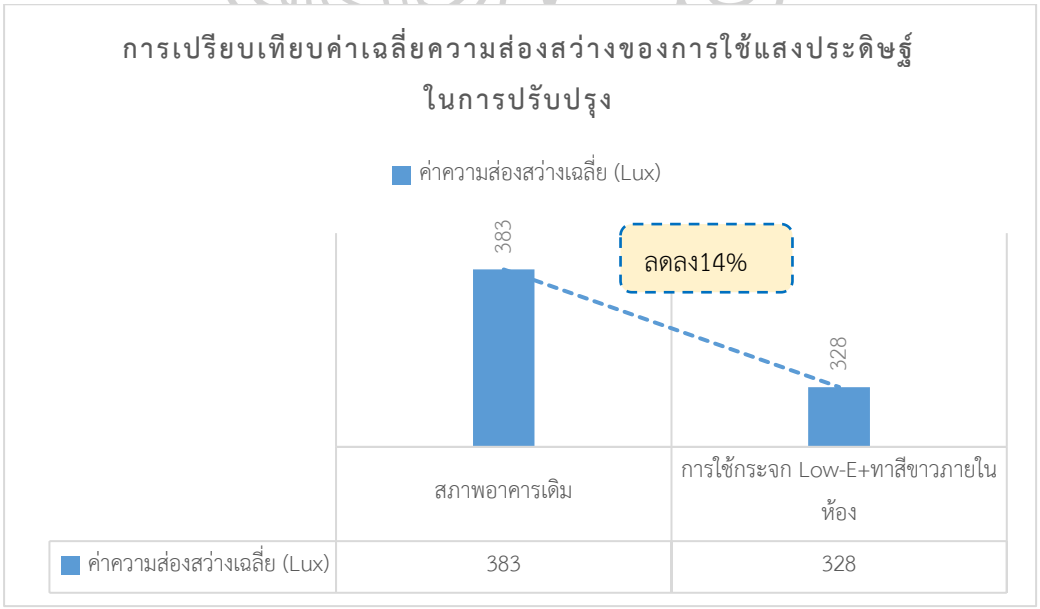
แผนภูมิที่ 9การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการใช้แสงประดิษฐ์ในการปรับปรุง

2) การปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 2 โดยการใช้กระจก Low-E และทาสีขาวภายในห้องเรียน



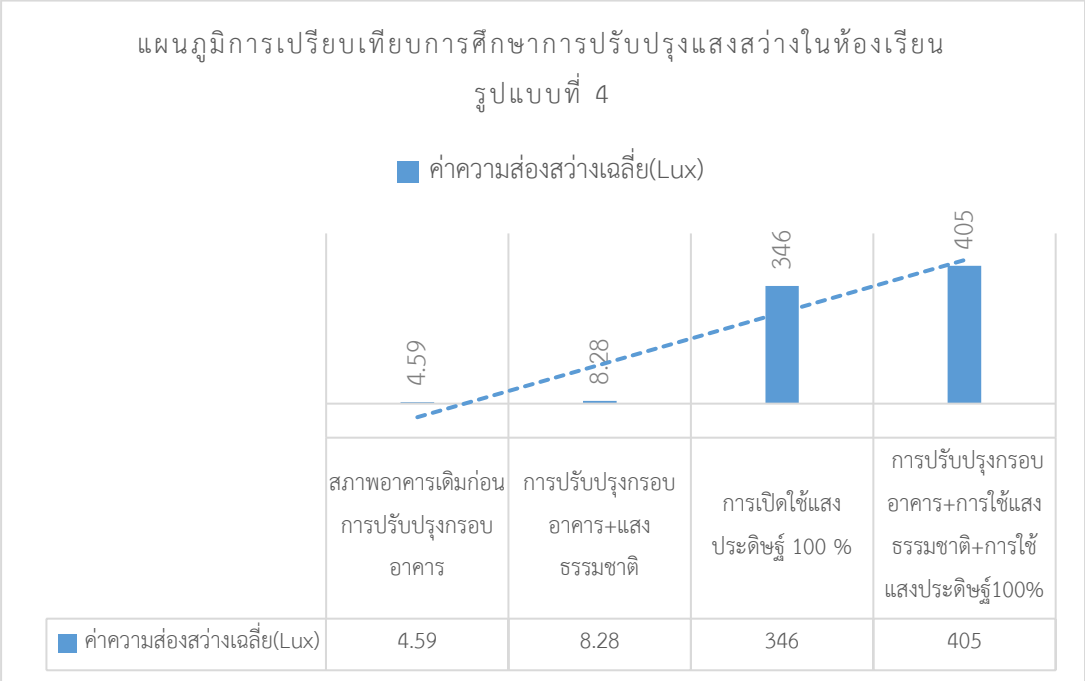
แผนภูมิที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการปรับปรุงกรอบอาคาร

3) การปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 3 โดยการใช้กระจก Low-E และทาสีขาวภายในห้องเรียน โต๊ะเรียน



แผนภูมิที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการปรับปรุงกรอบอาคาร

4) การปรับปรุงห้องเรียนรูปแบบที่ 4 แนวทางที่ใช้ในการศึกษาการปรับปรุงคือการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ทั้งหมด สามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างจาก 5 W/m^2 เป็น 2.5 W/m^2



แผนภูมิที่ 12 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเมื่อมีการใช้แสงประดิษฐ์

5.2 อุปสรรคหรือข้อจำกัดในการศึกษา

5.2.1 การไปเก็บข้อมูลด้านแสงสว่างที่โรงเรียนนาคประสิทธิ์ จังหวัดนครปฐมในวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ.2564 แสงสว่างธรรมชาติไม่คงที่ทำให้การเก็บข้อมูลใช้เวลานานอาจทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนได้

5.2.2 อาคารมีการต่อเติม และดัดแปลงผังแต่ไม่มีรายละเอียดตรงส่วนพื้นที่ดัดแปลง

5.2.3 การวางผังอาคาร และอาคารข้างเคียงทำให้บางห้องไม่ได้รับแสงสว่าง และไม่สามารถศึกษาการปรับปรุงเพื่อแก้ปัญหาแสงสว่างในอาคารได้

5.2.4 การวัดแสงในห้องเรียนในช่วงที่มีการใช้งานในอาคารอาจทำให้สภาพแสงสว่างไม่คงที่

5.3 ข้อเสนอแนะ

อาคารเรียนพิทักษ์สุนทรมีปัญหาอยู่ 2 เรื่อง คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารสูงทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) กำหนดให้ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังด้านนอก (OTTV) ไม่เกิน 50 W/m^2 เดิมมีค่า 85.05 W/m^2 และ คาการถายเทความรอนรวมของหลังคา (RTTV) ไม่เกิน 15 W/m^2 เดิมมีค่า

38.70 W/m^2 เนื่องจากวัสดุที่ใช้มีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ และบริเวณพื้นที่ห้องเรียนแสงสว่างไม่เพียงพอเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานแสงสว่างตาม IES ขั้นต่ำ ซึ่งกำหนดให้พื้นที่ห้องเรียนมีค่าความส่องสว่างอย่างน้อย 300 Lux เดิมมีค่า 310 Lux เนื่องจากปัญหาด้านแสงสว่างที่จริงแล้วมาจากการออกแบบรูปทรงของตัวอาคารและการวางตัวที่ไม่สามารถเอื้อต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ จึงแบ่งแนวทางการศึกษาปรับปรุงเป็น 2 ด้าน คือ 1) การปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และ 2) การปรับปรุงให้พื้นที่ห้องเรียนมีคุณภาพแสงสว่างที่ดีและสามารถนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ให้ได้มากที่สุด แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารที่ได้จากการศึกษา คือ การทาสีอาคารภายนอกสามารถแก้ปัญหาอุณหภูมิภายในอาคาร ทำได้ง่ายไม่กระทบต่อโครงสร้างหลักและไม่สิ้นเปลือง และการใช้กระจก Low-E ถึงทำให้สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคารจะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง (BEC) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังด้านนอก (OTTV) ลดลงเท่ากับ 47.58 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ลดลงเท่ากับ 14.07 W/m^2 แต่เนื่องจากกระจก Low-E มีราคาสูง ผู้วิจัยจึงอยากเสนอแนะให้สำหรับผู้ที่สนใจที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารควรเลือกวิธีการเพิ่มพื้นที่ผนังทึบ ซึ่งมีการลงทุนที่ต่ำกว่าการใช้กระจก Low-E และจากการเปรียบเทียบผลการวิจัยของ (โสพิศ ชัยชนะ, 2558) ซึ่งใช้วิธีการปรับปรุงผนังทึบโดยการติดตั้งฉนวนพบว่าใช้เงินลงทุนน้อยและคืนทุนเร็วที่สุด และสำหรับการปรับปรุงให้พื้นที่ห้องเรียนมีคุณภาพแสงสว่างที่ดี แนวทางการแก้ปัญหาด้วยการทาสีอ่อนภายในพื้นที่อาคารเรียน และเลือกใช้เฟอร์นิเจอร์ที่มีสีอ่อนภายในห้องเรียน เพื่อเพิ่มค่าการสะท้อนแสงสามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างให้เพิ่มขึ้นได้ สามารถทำได้ง่ายไม่สิ้นเปลือง และเสนอแนะให้เปลี่ยนการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W เป็นหลอดไฟ LED ขนาด 18 W ซึ่งสามารถลดอัตราการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลงจาก 6.38 W/m^2 เป็น 3.74 W/m^2 ลดลงไป 41.38% และเปลี่ยนจากการใช้กระดานไวท์บอร์ดธรรมดาที่เงาวาวซึ่งทำให้เกิดเงาสะท้อนเป็นกระดานที่สามารถลดเงาสะท้อน เช่น กระจกไวท์บอร์ด ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสำหรับอาคารเรียนที่มีลักษณะคล้ายกับอาคารพิทักษ์สุนทร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

Chiradeja, P. N., A. (2019). Energy and Economic Analysis of Tropical Building Envelope Material in Compliance with Thailand's Building Energy Code. Retrieved October 20, 2021, from https://www.mdpi.com/2071-1050/11/23/6872.

David, L., et al. (2011). The Lighting Handbook Tenth Edition. North America: Illuminating Engineering Society of North America.

Saihong, N. (2007). Guidelines for Lighting Design in Multimedia Classroom. Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS), 5(1), 67-81. Retrieved from https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jars/article/view/169218.

Setiati, T. W. B., A. (2021). Optimization of Lighting Design in Classroom for Visual Comfort (Case Study : Universitas Tridinanti Palembang Tower). A.IOP Conference Series. Earth and Environmental Science; Bristol, 738(1), 1-9 doi:http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012035

กระทรวงพลังงาน. (2553). คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(อาคาร). เข้าถึงเมื่อ 12 สิงหาคม 2564 เข้าถึงได้จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html

ชลิดา ตระกูลสุนทร. (2558). สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอย. เข้าถึงเมื่อ 28 สิงหาคม 2564. เข้าถึงได้จาก http://pws.npru.ac.th/chalida/. Retrieved from http://pws.npru.ac.th/chalida/data/files/0

ปัทมพร กิตติก้อง. (2560). การศึกษาระดับความเข้มแสงสว่างในห้องเรียน และลักษณะทางกายภาพของห้องที่มีผลต่อความรู้สึกเมื่อยล้าทางสายตาของนักเรียน กรณีศึกษา: โรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่ง จังหวัดขอนแก่น. สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 7 ขอนแก่น, 24(3), 10-18.

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2564). การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม MS Excel. เข้าถึงเมื่อ 20 สิงหาคม 2564. เข้าถึงได้จาก https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=8206.

พวงรัตน์ เกษรแพทย์. (2555). การบริหารจัดการชั้นเรียน. เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.kruchiangrai.net/2012/08/11/.

พัชริยา ชินฮาต. (2555). การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารพักอาศัยประเภททางเดินกลาง กรณีศึกษา : จังหวัดขอนแก่น. วารสารสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวินิจฉัย, 11(1), 63-75. เข้าถึงได้จาก https://so01.tci-thaijo.org/index.php/arch-kku/article/view/45253/37457.

ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2556). สีและการลดความร้อนในอาคาร. วารสารวิชาการ สิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวินิจฉัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 12(1), 113-118. เข้าถึงได้จาก https://so01.tci-thaijo.org/index.php/arch-kku/article/view/45193.

โรงพยาบาลจะนะ. (2558). อันตรายจากแสงสว่าง เข้าถึงเมื่อ 15 สิงหาคม 2564 เข้าถึงได้จาก https://www.chanahospital.go.th/content/.

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. (2559). คู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายในอาคาร เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2564 เข้าถึงได้จาก https://www.yotathai.com/yotanews/illuminate-building.

สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์. (2544). อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคาร. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์. เข้าถึงได้จาก http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/65170.

โสพิศ ชัยชนะ. (2558). แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

อำนาจ จันทน์กะพ้อ, ว. ว. แ. จ. (2550). การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนและวิเคราะห์ต้นทุนของผนังกระจก. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 3(1), 15-21. เข้าถึงได้จาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jit_journal/article/view/3837/3333.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุพัตรา คุมพล
วัน เดือน ปี เกิด	15 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
วุฒิการศึกษา	2560 สำเร็จการศึกษาปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม (หลักสูตร 5ปี) ภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2560 ศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม (การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร) ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	372 หมู่1 ตำบลบางเตย อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73210

มหาวิทยาลัยศิลปากร