



แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา
กรณีศึกษาอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม

โดย

นายณวิทย์ มิสาทอ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา
กรณีศึกษาอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม

โดย
นายณวิทย์ มิสาทอ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**IMPROVING LIGHTING EFFICIENCY OF SCHOOL GYMNASIUM
CASE STUDY : SARAHPITTAYAKOM SCHOOL GYMNASIUM**

**By
Navit Misato**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ARCHITECTURE

Department of Architecture

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2011

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา กรณีศึกษาอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม” เสนอโดย นายณวิทย์ มิสาทิ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัตน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาริณี รามสูต

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ มานี ศรีสุวรรณ)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.นวลวรรณ ทวยเจริญ)

...../...../.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรัชญา มัทธนเทวี)

...../...../.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาริณี รามสูต)

...../...../.....

51054217 : สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คำสำคัญ : อาคารเรียนพลศึกษา / ช่องแสงด้านบน / โปรแกรม Desktop Radiance

ณวิทย์ มิสาทอ : แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา
กรณีศึกษาอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.
ธารณี รามสูต. 110 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงสนามกีฬาในร่มให้มีสภาพแวดล้อมด้านแสงสว่างที่เหมาะสม และก่อให้เกิดความสบายตาในการทำกิจกรรมการเรียนการสอนและการแข่งขันกีฬา และเพื่อศึกษาแนวทางการใช้แสงธรรมชาติให้เกิดการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง

โดยศึกษารูปแบบอาคารสนามกีฬาในร่มของโรงเรียนสารคามพิทยาคมซึ่ง จากการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่ามีปัญหาเรื่องแสงสว่างไม่เพียงพอต่อการเรียนการสอน จึงทำการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 ปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) และค่าความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) มีขั้นตอนการปรับปรุงดังนี้

ปรับเปลี่ยนรูปแบบช่องแสงทางด้านบน (Top Aperture) เป็น 3 รูปแบบ แบบที่ 1 แบบ Clerestory แบบที่ 2 แบบ Sawtooth และแบบที่ 3 คือ แบบ Two-story พบว่ารูปแบบที่ดีที่สุดในการปรับปรุง คือ แบบ Clerestory สามารถเพิ่มค่าส่องสว่างของแสงได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 400 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมออยู่ที่ 0.6

จากนั้นนำอาคารรูปแบบ Clerestory มาปรับปรุงเพิ่มเติมโดยการเพิ่มวัสดุสะท้อนแสงได้หลังคาแบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบที่ 1 ติฝ้าด้วยวัสดุแผ่นฝ้าไวโนลสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 75เปอร์เซ็นต์ และแบบที่ 2 แผ่นฝ้าไวโนลสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 86เปอร์เซ็นต์ พบว่ารูปแบบที่สองทำให้อาคารมีค่าความส่องสว่างของแสงเพิ่มมากขึ้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน และมีค่าความสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดผลดีต่อผู้ใช้อาคารในการเรียนการสอน

51054217 : MAJOR : ARCHITECTURE

KEYWORDS : SCHOOL GYMNASIUM / TOP APERTURE / DESKTOP RADIANCE COMPUTER
PROGRAMME

NAVIT MISATO : IMPROVING LIGHTING EFFICIENCY OF SCHOOL GYMNASIUM,
CASE STUDY : SARAKHAMPITTAYAKOM SCHOOL GYMNASIUM. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. THARINEE RAMASOOT, Ph. D. 110 pp.

This research investigates new daylighting strategy for Sarakhampittayakhom school gymnasium. It is intended to propose a lighting solution that is satisfactory in term of function, energy efficiency and visual comfort. A survey showed that the existing lighting condition is insufficient for teaching physical education and playing sports. The study tested a range of daylighting solutions using a Desktop Radiance computer programme to simulate the lighting conditions. The criteria used to assess the lighting conditions were Illuminance and Uniformity. The test was carried out with three different types of top aperture: clerestory, sawtooth and two-story. It was found that the clerestory aperture was the most suitable solution with the uniformity of 0.62 and the average illuminance exceeding 500 lux as recommended by IES and CIE. The study attempted to increase the performance of the clerestory aperture solution by adding reflective ceiling and found that illuminance and uniformity were much improved.

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2011

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธารณี รามสูต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยแนะแนวทางในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาทุกขั้นตอนในการทำวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานต่าง ๆ ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนทุนการศึกษา รวมถึงให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความสำคัญและปัญหาในการศึกษา	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
ขอบเขตการศึกษา.....	2
วิธีดำเนินการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
นิยามศัพท์	4
ทฤษฎีการมองเห็น	5
แสงกับการมองเห็น.....	7
สภาวะความสบายทางตา (Visual Comfort).....	8
แสงบาดตา (Glare and Sparkle).....	10
การให้แสงสว่างสนามกีฬา.....	12
มาตรฐานการส่องสว่างสำหรับกีฬาแต่ละประเภท.....	13
แสงธรรมชาติ.....	16
เกณฑ์การพิจารณาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้.....	17
การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้	18
สรุป.....	22
3 การดำเนินการศึกษา.....	23
การสำรวจอาคารตัวอย่าง	23
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	27

บทที่	หน้า
	การจำลองสภาพแสงด้วยโปรแกรม Desktop Radiance..... 29
	ขั้นตอนในการปรับปรุงอาคารตัวอย่าง 32
4	ผลการศึกษา 39
	การเก็บข้อมูลสภาพแสงในอาคารตัวอย่าง 39
	การออกแบบปรับปรุงอาคาร..... 41
	การจำลองอาคารพื้นฐานด้วยโปรแกรม Desktop Radiance..... 44
	การปรับปรุงช่องแสงด้านบนอาคารแบบที่ 1 แบบ Clerestory..... 46
	การปรับปรุงช่องแสงด้านบนอาคารแบบที่ 2 แบบ Sawtooth 51
	การปรับปรุงช่องแสงด้านบนอาคารแบบที่ 3 แบบ Two-story..... 56
	การพัฒนาหลังคาแบบ Clerestory ด้วยการเพิ่มวัสดุฝ้าเพดานที่มี
	การสะท้อนแสง 75 เปอร์เซนต์..... 61
	การพัฒนาหลังคาแบบ Clerestory ด้วยการเพิ่มวัสดุฝ้าเพดานที่มี
	การสะท้อนแสงมากขึ้น 63
	การศึกษาการประหยัดพลังงานที่ได้จากการปรับปรุงอาคารตัวอย่าง 68
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 71
	การออกแบบปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนของอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
	ในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา 71
	การออกแบบปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนแสงได้หลังคา 72
	สรุปผลการทดลอง 75
	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 75
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	79
	ภาคผนวก ก ค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ 80
	ภาคผนวก ข ตารางแสดงรูปภาพที่จำลองได้..... 97
ประวัติการวิจัย	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงความสว่างที่ต้องการในพื้นที่แบบต่าง ๆ.....	11
2	ระดับความสว่างสำหรับพื้นที่ของกีฬาแต่ละประเภทของ NCAA (North Carolina High School Athletic Association) Lighting standards	14
3	แสดงค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมกับกีฬาแต่ละประเภทตามมาตรฐาน CIE	14
4	แสดงค่าระดับความสว่างเบื้องต้นที่ IES	15
5	แสดงค่าความส่องสว่างของแสงที่วัดจากอาคารตัวอย่าง	41
6	ค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Desktop radiance ที่ตำแหน่งต่าง ๆ	45
7	แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Clerestory เดือนเมษายน และเดือนมิถุนายน ในช่วงเวลาต่าง ๆ	48
8	แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Clerestory เดือนกันยายน และเดือนธันวาคม ในช่วงเวลาต่าง ๆ	49
9	แสดงค่า Light uniformity (Emin/Eave) Clerestory type	50
10	แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Sawtooth เดือนเมษายน และเดือนมิถุนายน ในช่วงเวลาต่าง ๆ	53
11	แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Sawtooth เดือนกันยายน และเดือนธันวาคม ในช่วงเวลาต่าง ๆ	54
12	ค่า Light uniformity (Emin/Eave) Sawtooth type	55
13	แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Two-story เดือนเมษายน และเดือนมิถุนายน ในช่วงเวลาต่าง ๆ	58
14	แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Two-story เดือนกันยายน และเดือนธันวาคม ในช่วงเวลาต่าง ๆ	59
15	ค่า Light uniformity (Emin/Eave) Two-story type	60
16	ค่า Light uniformity (Emin/Eave) Clerestory type แบบเพิ่มวัสดุฝ้าที่มี การสะท้อนแสง 75 เปอร์เซ็นต์	63
17	ค่า Light uniformity (Emin/Eave) Clerestory type แบบเพิ่มวัสดุฝ้าที่มี การสะท้อนแสง 86 เปอร์เซ็นต์	65

ตารางที่	หน้า
18	แสดงค่าความส่องสว่างของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดาน ในช่วงเวลาต่าง ๆ 66
19	แสดงค่าความส่องสว่างของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดาน ในช่วงเวลาต่าง ๆ 66
20	ค่าไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง..... 70
21	สรุปผลการทดลอง..... 74
22	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Two-story วันที่ 21 ธันวาคม... 81
23	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Two-story วันที่ 21 มีนาคม..... 82
24	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Two-story วันที่ 21 มิถุนายน .. 83
25	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Two-story วันที่ 21 กันยายน ... 84
26	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Sawtooth วันที่ 21 มีนาคม 85
27	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Sawtooth วันที่ 21 กันยายน 86
28	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Sawtooth วันที่ 21 มิถุนายน 87
29	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Sawtooth วันที่ 21 ธันวาคม 88
30	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory วันที่ 21 ธันวาคม... 89
31	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory วันที่ 21 มิถุนายน .. 90
32	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory วันที่ 21 เมษายน 91
33	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory วันที่ 21 กันยายน ... 92
34	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดาน ที่มีค่าการสะท้อนแสง 86% วันที่ 21 เมษายน 93
35	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดาน ที่มีค่าการสะท้อนแสง 86% วันที่ 21 มิถุนายน..... 94
36	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดาน ที่มีค่าการสะท้อนแสง 86% วันที่ 21 กันยายน 95
37	แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดาน ที่มีค่าการสะท้อนแสง 86% วันที่ 21 ธันวาคม 96
38	แสดงรูปภาพที่จำลองรูปแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดานที่มีการสะท้อนแสง 86% ได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนมีนาคม..... 98

ตารางที่		หน้า
39	แสดงรูปภาพที่จำแลงได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนมิถุนายน .	99
40	แสดงรูปภาพแบบ False colour ที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนมีนาคม	102
41	แสดงรูปภาพแบบ False colour ที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนมิถุนายน	104
42	แสดงรูปภาพแบบ False colour ที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนกันยายน	106
40	แสดงรูปภาพแบบ False colour ที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนธันวาคม	108

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงขอบเขตการมองเห็นของตาในระนาบแนวตั้ง.....	6
2	แสดงขอบเขตการมองเห็นของตาในระนาบแนวนอน.....	6
3	แสดงระดับความสว่างของแสงที่ตายอมรับได้ในมุมมองต่าง ๆ	9
4	แสดงการเปรียบเทียบความเปรียบต่าง	10
5	ช่องแสงด้านบนหลังคาแบบต่าง ๆ.....	18
6	สัดส่วนระหว่างความสูงของช่องเปิดต่อความลึกที่แสงธรรมชาติเข้าถึง.....	19
7	รูปแบบช่องเปิดแบบต่าง ๆ ของงานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	20
8	แสดงตำแหน่งของช่องแสงและลักษณะแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร	21
9	แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงที่ตั้งของโรงเรียนสารคามพิทยาคม	24
10	ผังอาคารเรียน โรงเรียนสารคามพิทยาคม มหาสารคาม	24
11	บรรยากาศภายนอกอาคารตัวอย่าง (ถ่ายเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2553).....	25
12	ผังอาคารเรียนพลศึกษา โรงเรียนสารคามพิทยาคม	25
13	รูปด้านของอาคารพลศึกษา โรงเรียนสารคามพิทยาคม.....	26
14	รูปตัด A-A อาคารเรียนพลศึกษา โรงเรียนสารคามพิทยาคม	26
15	รูปตัด B-B อาคารเรียนพลศึกษา โรงเรียนสารคามพิทยาคม	27
16	เครื่องมือวัดแสงลักซ์ ยี่ห้อ 4 in 1 Digital Multifunction Meter มิเตอร์รุ่น DT8820..	27
17	ตำแหน่งในการวัดแสงระนาบพื้น	28
18	ลักษณะการทำงานของโปรแกรม Desktop Radiance	29
19	ขั้นตอนการทำงานและการประมวลผลของโปรแกรม Desktop radiance.....	31
20	ช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Clerestory.....	32
21	แสดงรูปตัดของหลังคาแบบ Clerestory.....	32
22	ช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Sawtooth.....	33
23	แสดงรูปตัดของหลังคาแบบ Sawtooth	34
24	ช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Two-story.....	35
25	แสดงรูปตัดของหลังคาแบบ Two-story.....	35
26	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	37

ภาพที่		หน้า
27	แผนผังตำแหน่งที่วัดค่าความส่องสว่าง.....	39
28	ความส่องสว่างในอาคารตัวอย่างที่วัดได้จากเครื่องมือลักซ์มิเตอร์ เมื่อวันที่ 21 กันยายน เวลา 10.00 น.	40
29	อาคารพื้นฐานที่จำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance	42
30	แสดงรายละเอียดและองค์ประกอบของอาคารพื้นฐาน	43
31	ผังหลังคาของอาคารตัวอย่าง	43
32	ค่าความส่องสว่างของแสงที่จำลองด้วยโปรแกรม Desktop radiance	44
33	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่วัดจากอาคารพื้นฐานและความส่องสว่าง ที่จำลองจากโปรแกรม Desktop radiance.....	45
34	รูปแบบหลังคาแบบ Clerestory	46
35	แสดงลักษณะของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารแบบที่ 1 (Clerestory) 21 กันยายน 10.00 น.....	47
36	แสดงตัวอย่างบางส่วนของผลการจำลองอาคารแบบที่ 1 (Clerestory) ด้วยโปรแกรม Desktop radiance 21 กันยายน 10.00 น.....	47
37	แสดงรูปแบบหลังคาแบบ Sawtooth	51
38	แสดงลักษณะของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารแบบที่ 2 (Sawtooth) 21 กันยายน 10.00 น.	52
39	แสดงตัวอย่างบางส่วนของผลการจำลองอาคารแบบที่ 2 (Sawtooth) ด้วยโปรแกรม Desktop radiance 21 กันยายน 10.00 น.....	52
40	แสดงรูปแบบหลังคาแบบ Two-story	56
41	แสดงลักษณะแสงที่เกิดขึ้นภายในอาคารแบบที่ 3 (Two-story) 21 กันยายน 10.00 น....	57
42	แสดงตัวอย่างบางส่วนผลการจำลองอาคารแบบที่ 3 (Two-story) ด้วยโปรแกรม Desktop radiance 21 กันยายน 10.00 น.....	57
43	แสดงรูปแบบหลังคาแบบ Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 75 เปอร์เซนต์	61
44	แสดงลักษณะแสงที่เกิดขึ้นภายในอาคารแบบที่ 4 แบบ Clerestory ด้วยการเพิ่มวัสดุ ฝ้าเพดาน 21 กันยายน 10.00 น.	62
45	แสดงผลการจำลองอาคารรูปแบบที่ 4 Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มี การสะท้อนแสง 75 เปอร์เซนต์ 21 กันยายน 10.00 น.	62

ภาพที่		หน้า
46	แสดงรูปแบบหลังคาแบบ Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 86 เปอร์เซนต์	64
47	แสดงลักษณะแสงในอาคารรูปแบบที่ 5 แบบ Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 86 เปอร์เซนต์ 21 กันยายน 10.00 น.	64
48	แสดงผลการจำลองอาคารแบบที่ 5 แบบ Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 86 เปอร์เซนต์ 21 กันยายน 10.00 น.	65
49	ผังตำแหน่งดวงโคมไฟฟ้าภายในอาคารเรียนพลศึกษา โรงเรียนสารคามพิทยาคม...	68
50	รูปแบบหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มวัสดุสะท้อนแสงที่มีค่าสะท้อนแสง 86% ได้หลังคา.....	73
51	การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของรูปแบบหลังคาแต่ละแบบ	73
52	การเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของแสงของหลังคาแบบต่าง ๆ	74

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและปัญหาในการศึกษา

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 พ.ศ. 2550-2554 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 2552) มีแนวคิดพื้นฐานในการยึดคนเป็นศูนย์กลางของการพัฒนา เพื่อมุ่งสู่สังคมที่เข้มแข็งและมีคุณภาพ มีเป้าหมายหลักเพื่อลดอัตราการเพิ่มของการเจ็บป่วยด้วยโรคที่ป้องกันได้ และส่งเสริมให้คนไทยหันมาออกกำลังกายมากขึ้น และมุ่งเสริมสร้างสุขภาวะของคนไทยให้มีสุขภาพแข็งแรงทั้งกายและใจ จึงมีการกำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาการกีฬาแห่งชาติขึ้น โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อให้เด็กและเยาวชน ตลอดจนประชาชน ออกกำลังกายเล่นกีฬาเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต โดยให้ความสำคัญกับการส่งเสริมและพัฒนา ศักยภาพและทักษะทางการกีฬาของเด็กเยาวชน ทั้งในระบบโรงเรียนและนอกโรงเรียน มีมาตรการในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและอุปกรณ์กีฬา กำหนดมาตรฐานในการพัฒนา ปรับปรุง บำรุงรักษา ในระดับมาตรฐานสากล และจัดสภาพแวดล้อมให้เอื้อต่อการเรียนการสอนกิจกรรมกีฬาและการออกกำลังกาย

การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการให้แสงสว่างในอาคารของประเทศไทยประกอบเป็นร้อยละ 22 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร (เกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ภายใต้ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) 2550) การใช้ระบบไฟฟ้าส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีจึงมีส่วนสำคัญที่จะทำให้สภาวะในอาคารดี และเกิดการอนุรักษ์พลังงานทั่วภูมิภาคของประเทศไทย มีแสงธรรมชาติอย่างเพียงพอในช่วงเวลากลางวัน การที่จะได้แสงธรรมชาติที่มีคุณภาพดีและอนุรักษ์พลังงานจำเป็นต้องมีการออกแบบที่ดีตั้งแต่ต้น

การออกแบบระบบแสงสว่างในสนามกีฬากลางในอาคารที่ดีและถูกต้องตามมาตรฐาน เป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้นักเรียนสามารถทำกิจกรรมกีฬาได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงนักกีฬาที่สามารถทำการแข่งขันได้อย่างดีและผู้ชมสามารถชมการแข่งขันได้อย่างชัดเจนสนุกสนาน และจะต้องไม่เป็นอุปสรรคต่อนักกีฬาในการแข่งขัน

สนามกีฬาในร่มเป็นอาคารที่เป็นอาคารช่วงพาดยาว และมีความสูงมาก การให้แสงสว่างในอาคารสนามกีฬาในปัจจุบันหลายแห่ง เช่น สนามกีฬาในร่มของโรงเรียนต่าง ๆ ยังไม่มีการออกแบบที่ถูกต้อง จะพบปัญหาของความสว่างไม่เพียงพอ เป็นอุปสรรคต่อนักเรียน นักกีฬาในการแข่งขัน และต่อผู้ชมในการชมการแข่งขัน มีการให้แสงจากการใช้โคมไฟฟ้า ทำให้เกิดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองมาก นอกจากนี้ ในบางครั้งแสงธรรมชาติ และปัญหาความจ้าของดวงโคมซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาแสงบาดตาเกิดขึ้น การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติ และการให้แสงแบบ Indirect light จากด้านบนของอาคาร จะสามารถลดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลงและทำให้เกิดแสงที่มีความสม่ำเสมอ เอื้ออำนวยต่อการเล่นหรือแข่งกีฬา

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงสนามกีฬาในร่มให้มีสภาพแวดล้อมด้านแสงสว่างที่เหมาะสม และก่อให้เกิดความสบายตาในการทำกิจกรรมการเรียนการสอน
2. เพื่อศึกษาแนวทางการใช้แสงธรรมชาติให้เกิดการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงาน

ขอบเขตการศึกษา

1. จะทำการศึกษาอาคารสนามกีฬาในร่มของโรงเรียนสารคามพิทยาคม ซึ่งใช้ในการเรียนการสอนกีฬาหลายประเภท
2. การศึกษาจะทำการทดลองด้วยแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance 2.0
3. มุ่งศึกษาอาคารสนามกีฬาในร่ม โดยเวลาที่ศึกษา คือ เวลา 08.00-16.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่มีการเรียนการสอนปกติและสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ได้
4. การศึกษามุ่งเน้นในส่วนของการส่องสว่างของแสง ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร
5. วันที่ศึกษา คือ วันที่ 21 ของเดือนธันวาคม มิถุนายน มีนาคม และกันยายน เนื่องจากเป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งสำคัญ คือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 ธันวาคมอยู่ในช่วงฤดูหนาว ซึ่งดวงอาทิตย์จะอยู่ทางใต้มากที่สุด และมีกลางวันยาวนานกว่ากลางวัน สำหรับวันที่ 21 มีนาคมและ 21 กันยายน ดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงกับเส้นศูนย์สูตรพอดี และมีเวลากลางวันเท่ากับกลางคืน และในวันที่ 21 มิถุนายน อยู่ในช่วงกลางฤดูร้อน ซึ่งดวงอาทิตย์จะอยู่ทางเหนือมากที่สุด และมีกลางวันยาวกว่ากลางคืน

วิธีดำเนินการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของอาคารเรียนและศึกษาของโรงเรียนสารคามพิทยาคมทั้งแบบแปลนในปัจจุบัน สภาพแวดล้อมทางกายภาพ และลักษณะการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง และทฤษฎีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการออกสำรวจภาคสนามโดยสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างของนักเรียนผู้ใช้งานอาคาร
3. ใช้เครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์ในการเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่าง และความสม่ำเสมอของแสง
4. วิเคราะห์ข้อมูลและศึกษาแนวทางการปรับปรุง
5. สร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาสภาพแสงสว่างที่ได้จากแนวทางการออกแบบต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance 2.0
6. สรุปผลการวิจัย และนำเสนอแนวทางการออกแบบอาคารสนามกีฬาในร่มในอนาคต รวมทั้งหาแนวทางการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคาร พร้อมสรุปข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยครั้งต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบอาคารสนามกีฬาในร่มที่มีการใช้แสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้แสงประดิษฐ์ลง
2. เพื่อทราบแนวทางการออกแบบแสงสว่างภายในสนามกีฬาในร่มให้เกิดความสบายตาและมีการให้แสงที่เหมาะสมกับกิจกรรมกีฬา
3. เพื่อทราบแนวทางการใช้แสงธรรมชาติเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานและสามารถนำไปประยุกต์ในการออกแบบแสงสว่างในอาคารประเภทอื่น ๆ ได้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบแสงสว่างในอาคารเรียนพลศึกษาให้เหมาะสมจำเป็นจะต้องศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นและมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้แสงสว่างในสนามกีฬาในร่ม ในบทนี้เป็นการรวบรวม วิเคราะห์เอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับการให้แสงสว่างในอาคารนี้

นิยามศัพท์

นิยามศัพท์ของแสงเกิดขึ้นมาก่อนมีการประดิษฐ์หลอดไฟฟ้า จึงอ้างอิงแสงจากเทียนไขที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงในสมัยก่อน เกิดเป็นหน่วยความสว่างที่เกี่ยวข้องกับเทียน เช่น แรงเทียน (candlepower) แคนเดลา (candela, cd) ฟุตแคนเดิล (footcandle, fc) และฟุตแลมเบิร์ต (footlambert, FL)

แสง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของแสงจากเทียน 1 เล่ม ที่ส่องในความมืดและแสงจากเทียน 1 เล่ม ที่ส่องบนพื้นที่ 1 ตารางฟุต ให้สว่างขึ้นก็คือระดับความสว่าง 1 ฟุตแคนเดิล หน่วยของแสงที่กล่าวมา คือ หน่วยที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งต่างกับหน่วยของแสงที่ใช้ในยุโรป ที่เป็นระบบ SI รายละเอียดของคำนิยามต่าง ๆ มีดังนี้

1. ความเข้มแสง (Luminous Intensity, I) เป็นค่าที่ใช้บอกความมากน้อยของปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ความเข้มแสงจะเปรียบได้กับแรงเทียน (Candlepower)

2. ความส่องสว่าง (Illuminance, E) คือ ปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ใด ๆ

3. ความสว่าง (Luminance, L) คือ แสงที่ตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับหรือส่องผ่านเข้าตา ทำให้มองเห็นวัตถุนั้น มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) หรือฟุตแลมเบิร์ต (footlambert, FL)

ทฤษฎีการมองเห็น

แสงมีความสัมพันธ์กับการมองเห็น โดยการมีเราจะมองเห็นได้นั้น ต้องมีแสงเป็นหนึ่ง ในปัจจัยหลัก ดังนั้น การที่เราจะออกแบบสภาพแสงในสนามกีฬาในร่มให้เหมาะกับการเล่นกีฬา จึงจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการมองเห็น มุมมองของสายตา ปัจจัยการมองเห็น เป็นต้น

1. มุมมองของสายตา

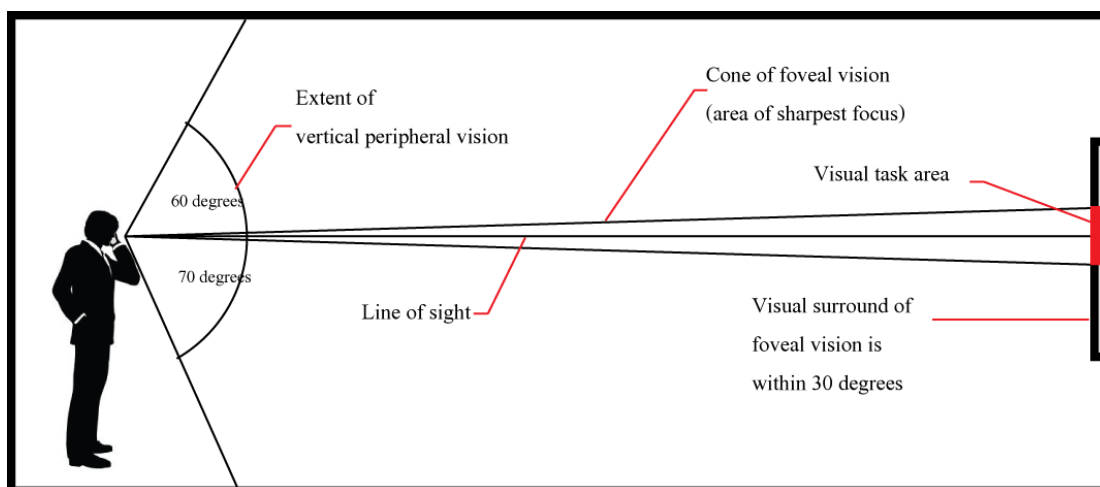
มุมมองของสายตาตามนุษย์มีขีดจำกัดการรับรู้ ในการมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ซึ่งแต่ละ มุมมองสายตาจะมีความสามารถในการรับภาพแตกต่างกัน ซึ่งขอบเขตการมองแบ่งเป็นประเภท ดังนี้

1.1 ขอบเขตการมองของตาในระนาบแนวตั้ง

ขอบเขตการมองเห็นในระนาบแนวตั้งอยู่ที่ 130 องศา พื้นที่ส่วนกลางการมองเห็นจะอยู่ ณ ตำแหน่ง 1-2 องศาจากระดับสายตา ซึ่งพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ที่เกิดการมองเห็นชัดเจน ที่สุด เรียกว่า การมองเห็นในส่วนกลางการรับภาพ (the central foveal vision) พื้นที่ถัดมาจะทำมุม 30 องศากับระดับสายตาซึ่งพื้นที่นี้จะมองเห็นภาพไม่ละเอียดนัก แต่สามารถแยกความแตกต่าง ระหว่างสิ่งแวดล้อมกับวัตถุได้ ซึ่งพื้นที่นี้ เรียกว่า พื้นที่จอร์รับภาพ (the foveal vision) และพื้นที่ ส่วนที่เหลือการมองเห็นรูปร่างและวัตถุจะผิดไปจากความเป็นจริง โดยพื้นที่ส่วนนี้ เรียกว่า การมองเห็นส่วนขอบ (the peripheral vision) ดังภาพที่ 1

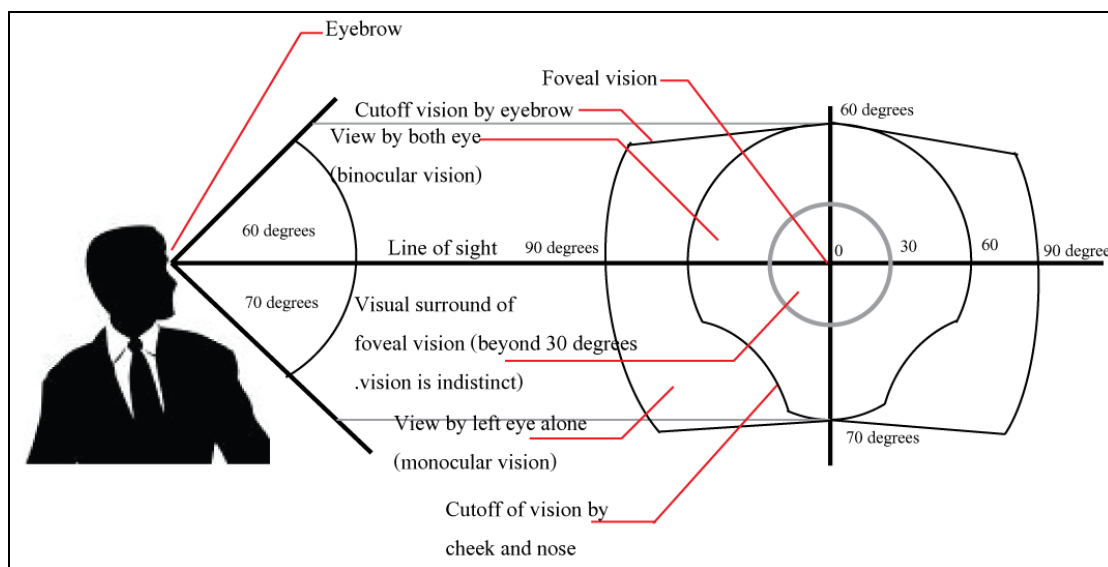
1.2 ขอบเขตการมองเห็นของตาในระนาบแนวนอน

การมองของตาทั้ง 2 ข้างมีจุดโฟกัสของภาพอยู่ที่จุดศูนย์กลางเดียวกัน ความแตกต่างของภาพที่มองเห็นจากตา 2 ข้าง ทำให้เกิดเป็นภาพสามมิติ การมองเห็นภาพทั้ง 2 ตา มีขอบเขตความกว้างมากกว่า 120 องศาในแนวระนาบ ทั้งนี้ องค์ประกอบต่าง ๆ ของใบหน้า เช่น จมูกและแก้ม เป็นตัวลดขอบเขตการมองเห็นของตาแต่ละข้าง (Egan and Olgyay 2002) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงขอบเขตการมองเห็นของตาในระนาบแนวตั้ง

ที่มา : David M. Egan and Victor W. Olgyay, *Architectural Lighting*, 2nd ed. (New York : McGraw-Hill Book Co., 2002), 40.



ภาพที่ 2 แสดงขอบเขตการมองเห็นของตาในระนาบแนวนอน

ที่มา : David M. Egan and Victor W. Olgyay, *Architectural Lighting*, 2nd ed. (New York : McGraw-Hill Book Co., 2002), 40.

จากทฤษฎีเรื่องมุมมองของสายตา พบว่าผู้ใช้อาคารเรียนพลศึกษานั้นจะมีมุมมองอยู่บริเวณผนังทั้งสี่ด้านของอาคารในกรณีเมื่อมองออกไปตรง ๆ แต่ในกรณีที่มีการทำกิจกรรม เช่น เล่นกีฬาต่าง ๆ ผู้ใช้อาคารจะมีมุมมองทั้งบริเวณพื้น และเหนือศีรษะขึ้นไปแล้วแต่ชนิดของกีฬาที่เล่น ดังนั้นในการออกแบบจึงควรคำนึงถึงความส่องสว่างในระดับพื้นอาคาร และในการเล่นกีฬาบางประเภทอาจรวมถึงเพดานของอาคารด้วย

2. ปัจจัยในการมองเห็น

การออกแบบแสงสว่างที่ดีควรคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ขนาดของวัตถุ (Size) คนเราสามารถมองเห็นขนาดวัตถุขนาดใหญ่ได้ง่ายกว่าขนาดเล็ก

2.2 ความสว่าง (Luminance) ความสว่างมีผลต่อการมองเห็น ถ้าแสงสว่างเพียงพอเหมาะสมจะทำให้เห็นวัตถุอย่างชัดเจน

2.3 ความเปรียบต่าง (Contrast) ความเปรียบต่างนี้มีความสัมพันธ์กับความสว่าง ยกตัวอย่างเช่น วัตถุสีดำบนพื้นขาว จะทำให้ง่ายต่อการมองเห็นจึงไม่ต้องการแสงสว่างมาก

2.4 ระยะเวลาในการมอง (Exposure time) ในการมองตาคนเราไม่สามารถเห็นวัตถุได้ทันที ตาต้องใช้เวลาในการปรับกล้ามเนื้อตายืด-หดให้เข้ากับปริมาณแสงที่ได้รับ ซึ่งถ้าปริมาณแสงน้อย ตาก็ใช้เวลาในการปรับมากขึ้นและเมื่อแสงมากในระดับหนึ่ง การปรับกล้ามเนื้อตาจะคงที่ เพราะตามีขีดจำกัดในการปรับกล้ามเนื้อ ดังนั้น การทำงานที่มีปริมาณแสงที่เพียงพอและเหมาะสมจะเป็นทางที่ดีที่สุด

จากปัจจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นถือเป็นปัจจัยหลักในการมองเห็น แต่ก็ยังมีปัจจัยอื่น ๆ รองลงมา เช่น รูปแบบของฉากหลัง ขอบเขตของแสงจ้า การปรับม่านตา และความชัดของสี

แสงกับการมองเห็น

การมองเห็นมีความสัมพันธ์กับสภาพแสงสว่าง โดยเมื่อตาได้รับแสงในระดับที่สว่างหรือมืดเกินไป รวมทั้งในสภาวะที่มีความเปรียบต่างมาก ตาจึงต้องมีการปรับสายตา ดังนี้

1. การปรับตัวของตากับความสว่าง (Adaptation)

การปรับตัวของตาในบริเวณที่สว่างและมืด อย่างเช่น Light adaptation เมื่อออกจากที่ซึ่งมีแสงสว่างน้อย เช่น ในห้องมืด ๆ มายังห้อง ซึ่งมีแสงสว่างจ้า คนโดยทั่วไปจะเกิดอาการที่เรียกว่า “ตาบอดชั่วคราว” เนื่องมาจากสายตายังคุ้นเคยกับความมืด เมื่อตาละจากความมืดและเข้าสู่ระดับความสว่างภายนอก ม่านตาจะปรับตัวเล็กลงเพื่อให้แสงผ่านเข้ามายังม่านตาได้น้อยลง จึงทำให้มองไม่เห็นสิ่งต่าง ๆ เป็นช่วงเวลาหนึ่ง ต้องใช้เวลาประมาณ 2-3 วินาที ในการปรับสายตาเข้าสู่

ภาวะปกติ ในขณะเดียวกัน Dark adaptation เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่สว่างไปยังที่ที่มีความสว่างน้อยกว่า ตาต้องมีการปรับสายตากับความมืดซึ่งใช้เวลานานถึง 10-30 วินาที โดยจะเห็นว่าการปรับตัวของตาจากที่สว่างสู่มืดจะใช้เวลามากกว่า ดังนั้นการออกแบบแสงสว่างในบริเวณเดียวกันไม่ควรให้เกิดความสว่างที่มีค่าแตกต่างกันมาก เพราะจะทำให้เกิดความไม่สบายตาเกิดขึ้นเนื่องจากความเมื่อยล้าในการปรับตัวของสายตา (Moore 1991)

2. การปรับตัวของสายตากับวัตถุ (Accommodation)

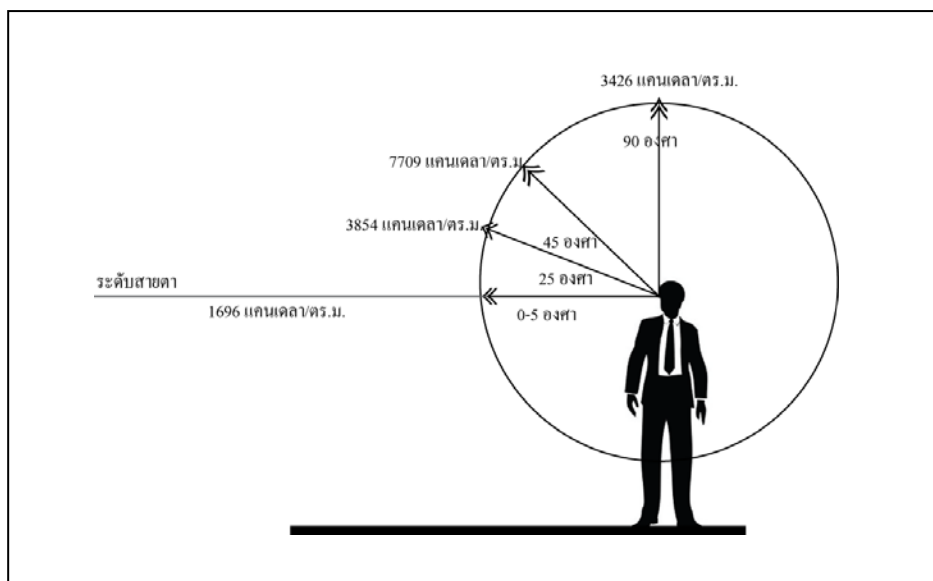
คือ กระบวนการของตาที่จะเปลี่ยนกำลังหักเหเพื่อให้แสงสะท้อนจากภาพของวัตถุมีจุดโฟกัสที่จอตา การปรับระยะชัดของเลนส์ตาของมนุษย์ตามธรรมชาติแล้ว การปรับระยะชัดตามมนุษย์สามารถปรับให้เห็นได้ชัดในระยะตั้งแต่ 150 มิลลิเมตร ถึงระยะอนันต์ (Infinity) ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับระยะชัดของเลนส์ตา คือ ขนาดวัตถุ ระยะของวัตถุและสายตา มิติ และความสว่าง (Kaufman 1984)

ในสนามกีฬาในร่มหากมีความแตกต่างของความสว่างมากเกินไปจะทำให้ให้นักกีฬาต้องใช้เวลาในการปรับสายตาซึ่งจะลดความสามารถในการเล่นกีฬาลงไปไม่มากนัก

สภาวะความสบายทางตา (Visual Comfort)

สภาวะสบายทางสายตา มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับเรื่องแสงไม่ว่าจะเป็นความจ้าของแสง ความเปรียบต่างและค่าความสว่างที่เหมาะสม ในการออกแบบอาคารใด ๆ จึงควรมีการคำนึงถึงเรื่องนี้เป็นหลัก โดยปกติแล้วความสว่างช่วยให้เราสามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ แต่ถ้าสายตาได้รับความสว่างมากเกินไปจะทำให้เกิดความไม่สบายตาได้ ทั้งนี้ มุมมองสายตาแต่ละระดับสามารถรับความสว่างได้แตกต่างกัน ซึ่งมุมมองระดับสายตานั้นรับความสว่างจ้าน้อยกว่ามุมมองระดับสูง (Flynn 1988) ระดับความสว่างที่ตายอมรับได้ในมุมมองต่าง ๆ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. มุมมอง 0 - 5 องศา ความสว่างจ้าที่ตายอมรับได้เท่ากับ 1696 แคนเดลา/ตารางเมตร
2. มุมมอง 5 - 25 องศา ความสว่างจ้าที่ตายอมรับได้เท่ากับ 3854 แคนเดลา/ตารางเมตร
3. มุมมอง 25 - 45 องศา ความสว่างจ้าที่ตายอมรับได้เท่ากับ 7709 แคนเดลา/ตารางเมตร
4. มุมมอง 45 - 90 องศา ความสว่างจ้าที่ตายอมรับได้เท่ากับ 3426 แคนเดลา/ตารางเมตร



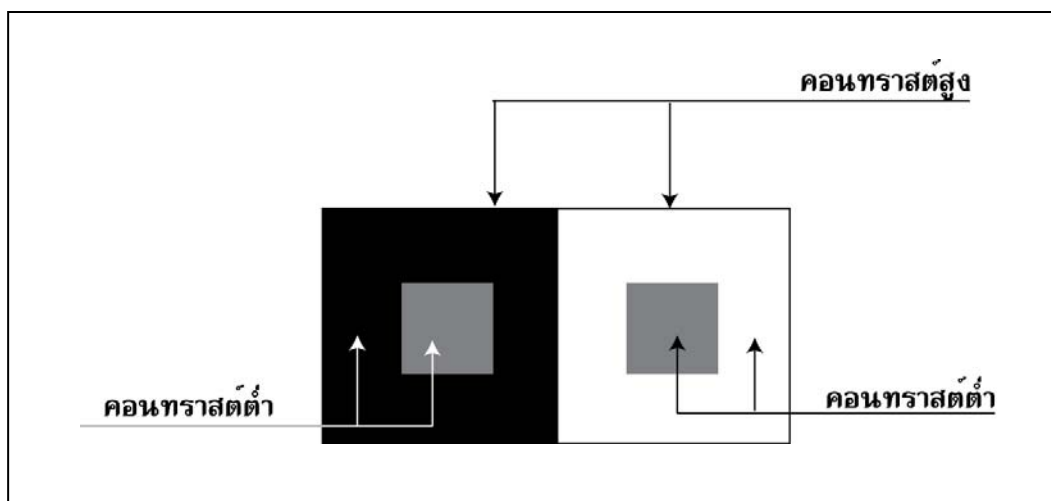
ภาพที่ 3 แสดงระดับความสว่างของแสงที่ตายอมรับได้ในมุมมองต่าง ๆ

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า (กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541), 94.

ดังนั้น ในการออกแบบอาคารเรียนพลศึกษาในมุมมองของระดับสายตา จึงไม่ควรให้มีช่องเปิดที่มีความกว้างมากเปิดรับแสงเข้ามาโดยตรง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะความไม่สบายตาเกิดขึ้นในการใช้งานอาคาร

ค่าความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) คือ ลักษณะของแสงที่มีความสว่างใกล้เคียงกันทำให้มีการปรับของสายตาน้อยซึ่งการปรับตัวของสายตากรณีความความสว่างเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วการเคลื่อนที่จากที่มีดไปที่สว่างสายตาก็ใช้เวลาปรับตัวไม่นานมาก แต่การเคลื่อนที่จากที่สว่างไปที่มีดสายตาก็ใช้เวลาปรับตัวนานกว่า มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร

ส่วนในเรื่องความเปรียบต่างก็เป็นอีกหนึ่งประเด็นสำคัญที่มีผลต่อความสบายตา ความเปรียบต่างในที่นี้ หมายถึง ความสว่างของวัตถุที่ต้องการมองกับความสว่างรอบข้าง (Kaufman 1981) ถ้าแตกต่างกันมากเกินไปจะเกิดความไม่สบายตาในการมองเห็นได้ เพราะการปรับตัวของกล้ามเนื้อทำให้ตาเกิดความเมื่อยล้า



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบความเปรียบต่าง

ที่มา : Lou Michel, Light : The Shape of Space (New York : John Willy & Sons, 1995), 13.

แสงบาดตา (Glare and Sparkle)

มีอยู่ด้วยกันสองแบบใหญ่ ๆ คือ แสงบาดตาแบบที่ลดความสามารถในการมองเห็น (Disability Glare) และแสงบาดตาแบบที่ก่อให้เกิดความไม่สบายตา (Discomfort Glare) เกิดขึ้นจากการเข้ามาของแสงที่มีความเข้มสูงสู่มุมมองของสายตา โดยแสงนี้มีความสว่าง มากหรือมีความจ้ามาก เมื่อเทียบกับความจ้าในสภาพแวดล้อมทั่วไป มีผลทำให้มีปัญหาในการมอง แสงบาดตาอาจเกิดขึ้นได้จาก 2 แนวทาง ดังนี้

1. **แสงบาดตาที่เกิดขึ้นโดยตรง (Direct Glare)** เกิดขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างสูงมาก อยู่ภายในภาพที่มองเห็น จะมีความรุนแรงมากหากการมองมีทิศทางสู่แหล่งกำเนิดแสงสว่างโดยตรง สามารถเกิดขึ้นได้ในอาคารเรียนพลศึกษาในกรณีที่เปิดช่องแสงด้านข้างหรือด้านบนอาคารเพื่อรับแสงธรรมชาติโดยตรง

2. **แสงบาดตาที่เกิดขึ้นจากการสะท้อน (Reflected Glare)** แสงบาดตาที่เกิดขึ้นจากการสะท้อน (Reflected Glare, Reflected Sparkle) เกิดขึ้นจากการสะท้อนแบบเหมือนกระจกจากแหล่งกำเนิดแสง บนพื้นผิวที่มีความมันวาว ตัวอย่างพื้นผิวภายในห้อง เช่น พื้นโต๊ะ กระจก มีผลให้เกิดความรำคาญต่อสายตา แสงบาดตาในกรณีนี้สามารถพบได้ในอาคารเรียนพลศึกษาที่ใช้วัสดุพื้นเป็นวัสดุที่มีความมันวาว เช่น พื้นปูนขัดมัน หรือพื้นลามิเนตขัดมันเป็นต้นหรือแสงบาดตาที่เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวภายในหรือภายนอกอาคาร เช่น ผนังห้อง ได้รับแสงในปริมาณเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวภายในหรือภายนอกอาคาร เช่น ผนังห้อง ได้รับแสงในปริมาณมากแล้วสะท้อนหรือส่องผ่านแสงทำให้

พื้นผิวนั้น ๆ มีความสว่างมากเกินไป ภายในอาคารเรียนพลศึกษาสามารถเกิดแสงบาดตาทางอ้อมขึ้นได้ในกรณีที่ผนังอาคารหรือพื้นมีสีอ่อนหรือมีค่าการสะท้อนแสงที่สูง เป็นต้น

ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารเรียนพลศึกษาจึงควรมีการคำนึงถึงแสงบาดตาที่จะเกิดขึ้น

การให้ความสว่างเพื่อการใช้งานอาคารนั้นจะมีเกณฑ์การให้ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของกิจกรรมที่ทำ หรือลักษณะการใช้งานของอาคารเป็นต้น อาคารเรียนพลศึกษาจัดว่าเป็นอาคารที่เป็นพื้นที่ที่ต้องให้ความสว่างค่อนข้างมาก เพราะในการเรียนการสอนกีฬาจำเป็นต้องเห็นอุปกรณ์กีฬา หรือสนามกีฬาอย่างชัดเจนเพื่อให้การทำกิจกรรมเป็นไปอย่างราบรื่น และถูกต้อง ดังตารางที่ 1 แสดงค่าความส่องสว่างที่ต้องการในแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 1 แสดงความสว่างที่ต้องการในพื้นที่แบบต่าง ๆ

ลักษณะกิจกรรม	ค่าความส่องสว่าง (Lux)	ลักษณะของแสง ที่มองเห็น	การอ้างอิงบริเวณ ของการใช้งาน
พื้นที่ที่ไม่ต้องการแสงสว่างมาก เช่น ทางเดินและพื้นที่ใช้งานภายนอก	20-50	สว่างน้อย	บริเวณพื้นที่ โดยทั่วไป
พื้นที่ที่มีการใช้งานชั่วคราว เช่น ทางเดินภายใน และการแหวะผ่าน ระยะสั้น ๆ	50-100		
พื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ทำงานแบบต่อเนื่องเป็น ระยะเวลานาน ๆ	100-200	สว่างปานกลาง	บริเวณพื้นที่ ใช้งาน
พื้นที่ที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น ในโรงงาน ชิ้นงานขนาดใหญ่	200-500		
พื้นที่ที่ใช้สายตาปานกลางเช่นงานเขียนแบบ	500-1,000		
พื้นที่ที่ใช้สายตาปานกลางเป็นพิเศษ	1,000-2,000	สว่างมาก	บริเวณพื้นที่ ใช้งานและ พื้นที่โดยทั่วไป
พื้นที่ที่ใช้สายตาเพื่อการทำงานมาก เป็นพิเศษ	มากกว่า 2,000		

ที่มา : Benjamin Stein and John S. Reynolds, Mechanical and Electrical Equipment for Building, 11th ed. (New York : John Wiley & Sons, 1998), 1058.

การให้แสงสว่างสนามกีฬา

การส่องสว่างไฟสนามกีฬา แตกต่างจากการให้แสงทั่ว ๆ ไป ไม่ว่าจะเป็นสำนักงานหรือไฟภายนอก เพราะการส่องสว่างสนามกีฬา ต้องให้แสงสว่างมากพอสำหรับ การเล่นเพื่อการพักผ่อน การแข่งขัน เป็นต้น ซึ่งลักษณะของแสงที่ให้ก็จะต่างกัน

แสงไฟในสนามกีฬาจะต้องตอบสนองประโยชน์ใช้สอย คือ ช่วยให้ผู้เล่นและผู้ชมสามารถมองเห็นวัตถุ สี ระยะห่าง และการเคลื่อนไหวอย่างชัดเจน ดังนั้นระดับความสว่างที่เพียงพอ ความสม่ำเสมอของแสง และไม่มีแสงจ้าสะท้อนเงา จึงมีความสำคัญในการจัดระบบไฟส่องสว่างสำหรับสนามกีฬา

การให้แสงสว่างสำหรับสนามกีฬานอกจากที่ต้องพิจารณาหลักเกณฑ์ดังที่กล่าวไปแล้ว ยังต้องพิจารณาชนิดของกีฬาด้วย

การให้แสงสว่างในสนามกีฬาไม่ว่าจะเป็นกลางแจ้งหรือในร่ม ก็มีหลักการให้แสงคล้าย ๆ กันคือ ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ความส่องสว่าง ความสม่ำเสมอของแสง สีและคุณภาพของสี

1. การจัดไฟส่องสว่างในระดับแนวราบ (Illuminance in the horizontal plane)

เนื่องจากบริเวณที่มีการแข่งขันกีฬา เป็นจุดที่มีความสำคัญมากสำหรับการมองเห็นของทั้งผู้แข่งขันและผู้ชม ดังนั้น การจัดไฟส่องสว่างแนวราบในระดับพื้น จึงทำหน้าที่ในการสร้างการปรับสภาพสายตาให้กับผู้แข่งขันและผู้ชมการจัดไฟให้มีความสว่างในแนวราบอย่างเพียงพอ จึงเป็นเรื่องจำเป็นมาก

2. การจัดไฟส่องสว่างในระดับแนวตั้ง (Illuminance in the vertical plane)

การจัดไฟส่องสว่างในแนวตั้ง มีความจำเป็น สำหรับการมองเห็นวัตถุในแนวตั้งและเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถมองเห็นตัวผู้เล่นได้ชัดเจนและแม่นยำสูงสุดในทุกทิศทาง การกำหนดคุณสมบัติของแสงไฟในแนวตั้ง จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อช่วยให้ทั้งผู้เล่นและผู้ชมสามารถมองเห็นตามลูกบอลหรือวัตถุที่ใช้ในการแข่งขันได้ชัดเจน ไม่ว่าลูกบอลหรือวัตถุนั้นจะอยู่สูงจากระดับที่ทำการแข่งขันเพียงใดก็ตาม

3. ความสม่ำเสมอของแสงสว่าง (Uniformity)

ความสม่ำเสมอของแสงสว่างทั้งในระดับแนวราบและแนวตั้ง มีความสำคัญในการป้องกันการเกิดแสงตัดกันและการมองเห็นที่ไม่ชัดเจนของผู้เล่นและผู้ดู หากแสงไม่มีความสม่ำเสมอมากพอ ทำให้เป็นไปได้อีกที่ผู้เล่นหรือผู้ชม จะไม่สามารถมองเห็นผู้เล่นอีกฝ่าย หรือลูกบอลหรือวัตถุอื่นได้ชัดเจนเพียงพอรดับคุณภาพความสม่ำเสมอของแสง ใช้การวัดเป็นอัตราส่วนโดยอาจคิดเป็นสัดส่วนระหว่างระดับความสว่างต่ำสุดเทียบกับระดับความสว่างสูงสุด ($E_{min}/$

E_{max}) หรือระดับความสว่างต่ำสุดเทียบกับระดับความสว่างโดยเฉลี่ย (E_{min}/E_{aver}) อย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้

อัตราส่วนระหว่างความส่องสว่างต่ำสุด กับความส่องสว่างเฉลี่ยสำหรับสนามกีฬาทั่วไปควรให้ดังนี้ (ราชบัณฑิต อภัยนิพัฒน์ 2546)

สนามกีฬาสำหรับเล่นเพื่อฝึกซ้อม	ไม่น้อยกว่า 0.5 (1/2)
สนามกีฬาสำหรับการเล่นเพื่อแข่งขัน	ไม่น้อยกว่า 0.67 (1/1.5)

4. สีและคุณภาพของสี

ในกีฬาหลายประเภท สีของแสงจากหลอดไฟมีผลต่อการเล่นด้วย เพราะการให้แสงสีที่ต่างกันทำให้การมองเห็นต่างกันด้วย เช่น ลูกบอลที่ใช้เล่นถ้ามีสีขาวเมื่อถูกแสงสีขาวจากหลอด ความดันสูงก็เด่นกว่าเมื่อถูกแสงสีจากหลอดโซเดียม เป็นต้น สีของแสงพิจารณาได้จากอุณหภูมิสีของแสง ส่วนความถูกต้องของแสงพิจารณาจากค่า CRI ของแสง

4.1 อุณหภูมิสีหรืออุณหภูมิสีเทียบเคียง (Colour temperature) อุณหภูมิสี คือ การเปรียบเทียบสีของแสงจากหลอดไฟกับสีของแสงที่แผ่ออกมาจากการเผาวัตถุดำที่อุณหภูมิต่าง ๆ สำหรับหลอดชนิดอื่น ๆ จะเรียกอุณหภูมิสีเทียบเคียง (Correlated Colour Temperature : CCT)

4.2 การแสดงสี (Colour rendering) การแสดงสี หมายถึง คุณสมบัติของแสงจากหลอดไฟซึ่งสามารถทำให้วัตถุแสดงสีที่เป็นจริงตามธรรมชาติ ใช้เป็นดัชนีแสดงคุณภาพด้านสีของหลอดไฟเพื่อให้สามารถเลือกใช้หลอดไฟให้เหมาะสมกับงานที่มีความสำคัญเรื่องสี เช่น งานพิมพ์สี หรืองานผสมสีผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ตัวชี้วัดคุณภาพดังกล่าวเรียก ดัชนีการแสดงสี หรือ Colour rendering index (CRI) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย ค่า 0 หมายถึง หลอดไฟที่ให้แสงที่ทำให้สีของวัตถุผิดเพี้ยนจากความจริงอย่างสิ้นเชิง ส่วนค่า 100 คือ แสงที่ทำให้สีของวัตถุแสดงสีที่แท้จริงตามธรรมชาติ

มาตรฐานการส่องสว่างสำหรับกีฬาแต่ละประเภท

มาตรฐานการส่องสว่างสำหรับกีฬาแต่ละประเภทจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของกีฬาต่าง ๆ กีฬาที่ใช้สายตาในการเล่นหรือมองอุปกรณ์กีฬา เช่น กีฬาประเภทลูกกลมจะมีความต้องการใช้แสงสว่างที่มากกว่ากีฬาที่ไม่ต้องใช้ใช้อุปกรณ์ เช่น กีฬาประเภทลู่วิ่งหรือลาน เป็นต้น สำหรับมาตรฐานที่จะนำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 แสดงระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ของกีฬาแต่ละประเภทของ NCAA
(North Carolina High School Athletic Association) Lighting standards

พื้นที่ที่ให้แสง	Target Light Levels Lux (footcandles) Avg
เบสบอล/ซอฟต์บอล ในสนาม	535(50)
ฟุตบอล/ลาครอส/ฮ็อกกี้/รักบี้ สนามฝึกซ้อมที่มีผู้ชมไม่มาก	321(30)
ยิมนาสติก เพื่อฝึกซ้อม	535(50)
กีฬาประเภทลาน	321(30)

ที่มา : NCHSAA (North Carolina High School Athletic Association), “NCHSAA Policy Committee and Approved by the NCHSAA Board of Directors,” 30 April 2008. (Mimeographed)

ตารางที่ 3 แสดงค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมกับกีฬาแต่ละประเภทตามมาตรฐานของ CIE

ชนิดกีฬา	ระดับความส่องสว่างในแนวนราบ(ลักซ์)
เทนนิส	
1. แข่งขัน	500
2. คลับ	200
3. พักผ่อน	100
กีฬาฤดู	10 - 50
ฝึกซ้อม	10 - 50
กีฬาอื่น ๆ	
1. คลับ	100 - 200
2. พักผ่อน หรือ ฝึกหัด	50 - 100
สนามฟุตบอล	
1. แข่งขัน	400 - 800
2. พักผ่อน	150 - 250
ว่ายน้ำ	100 - 200

ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติ, เทคนิคการส่องสว่าง (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540), 198.

มาตรฐาน DIN 67 526 Part I กำหนดค่าความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงที่ระนาบความสูง 1 เมตรเหนือพื้น โดยกำหนดความส่องสว่างโดยทั่วไปสำหรับกีฬาเกือบทุกชนิดอยู่ที่ 200 ลักซ์ สำหรับการฝึก ยกเว้น ฟุตบอล แอนด์บอล รักบี้ วิ่งลู่วิ่ง ยิมนาสติก บาสเกตบอล วอลเลย์บอล สเก็ต ให้ความส่องสว่าง 80 ลักซ์ ส่วนการส่องสว่างเพื่อการแข่งขันกำหนดไว้ส่วนใหญ่ออยู่ที่ 400 ลักซ์

ตารางที่ 4 แสดงค่าระดับความสว่างเบื้องต้นที่ IES

ชนิดกีฬา	สถานที่	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)
ปิงปอง	สนามแข่งขัน	500
	สนามฝึกซ้อม	200
วอลเลย์บอล	สนามแข่งขัน	200
	สนามฝึกซ้อม	100
แฮนด์บอล	สนามแข่งขัน	500
สนามสโมสร	สนามในอาคารที่มีผนัง 4 ด้าน	300
ยิมนาสติก (กีฬาเฉพาะอย่าง)	บริเวณออกกำลังกายทั่วไป, หย่อนใจ	300
ฟุตบอล 6 คน	สนามโรงเรียนหรือวิทยาลัย	200
แบดมินตัน	การแข่งขัน	300
	การพักผ่อน	100

ที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง (กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2546), 395.

สำหรับความต้องการของอาคารพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม เนื่องจากเป็นอาคารเรียนเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่เน้นการแข่งขัน กีฬาที่ทำการสอนประกอบด้วย กีฬาวอลเลย์บอล, บาสเกตบอล, ตะกร้อ, กีฬายืดหยุ่น ดังนั้น ค่าความสว่างของแสงที่ต้องการจึงอยู่ที่ 500 ลักซ์เป็นอย่างน้อย และค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ต้องการอยู่ที่ 0.5

แสงธรรมชาติ

การใช้แสงสว่างธรรมชาติภายในอาคารเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างภายในอาคาร อีกทั้งแสงธรรมชาติมีประสิทธิผลการส่องสว่าง (Luminous efficacy) ที่สูงกว่าแสงจากหลอดประดิษฐ์ กล่าวคือ ในการให้ค่าความสว่างที่เท่ากัน แสงจากธรรมชาติจะก่อให้เกิดปริมาณความร้อนภายในอาคารน้อยกว่าแสงจากหลอดไฟจึงสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ นอกจากนี้แสงธรรมชาียังส่งผลดีอื่น ๆ อีก เช่น คุณภาพของแสงที่ดี ทำให้มีการมองเห็นสิ่งต่าง ๆ มีความถูกต้อง ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานอาคาร

1. แหล่งที่มาของแสงธรรมชาติ

1.1 แสงจากดวงอาทิตย์ (Sunlight) คือ แสงที่ส่องตรงมาจากดวงอาทิตย์ค่าความส่องสว่าง (Luminance) ของดวงอาทิตย์ มีค่าประมาณ 2×10^9 Cd/m² (Chirarattananon and Chaiwiwatworakul 2001) เนื่องจากแสงจากดวงอาทิตย์มีค่าความสว่างสูงมาก โดยทั่วไปจึงไม่นิยมใช้แสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงสำหรับอาคาร

1.2 แสงจากท้องฟ้า (Skylight) คือ แสงที่กระจายมาจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า โดยแสงส่วนนี้เกิดขึ้นจากการกระจายของแสงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับโมเลกุลของก๊าซและฝุ่นละอองต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ แต่ละส่วนของท้องฟ้าจะมีค่าความส่องสว่างแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาพท้องฟ้า

1.3 แสงสะท้อนจากพื้นดินและพื้นผิวอื่น ๆ คือ แสงที่เกิดจากการสะท้อนของแสงจากดวงอาทิตย์และแสงจากท้องฟ้าที่ตกกระทบบนพื้นดินและพื้นผิวอื่น ๆ

2. ลักษณะของสภาพท้องฟ้า

2.1 ท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมน้อย โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้าประมาณ 0-30 เปอร์เซนต์

2.2 ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเป็นบางส่วน โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้าประมาณ 40-70 เปอร์เซนต์

2.3 ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก (Overcast sky) ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเป็นส่วนใหญ่ โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้า 80 เปอร์เซนต์ขึ้นไป

ท้องฟ้าที่จังหวัดมหาสารคามเป็นแบบท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆปกคลุมน้อย

3. ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติในประเทศไทย

ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้ง (ละติจูดและลองจิจูด) เวลา และสภาพของท้องฟ้า จากการศึกษาปริมาณแสงสว่างธรรมชาติในประเทศไทยพบว่า ค่าความสว่าง

(Illuminance) มีค่าสูงตลอดปี โดยมีค่าไม่แตกต่างกันมากในแต่ละเดือน ค่าความสว่างของแสงจากดวงอาทิตย์ ค่าความสว่างของแสงจากท้องฟ้า และค่าความสว่างของแสงจากดวงอาทิตย์รวมกับแสงจากท้องฟ้าวัดที่แนวระนาบ มีค่าเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงสูงสุดเท่ากับ 50, 48 และ 105 กิโลลักซ์ ตามลำดับ (Chirattananon and Chaiwiwatworakul 2001)

4. องค์ประกอบของแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร

แสงสว่างธรรมชาติ ณ ตำแหน่งใด ๆ ในอาคาร จะมีผลมาจากองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ

4.1 แสงจากดวงอาทิตย์และท้องฟ้า

4.2 แสงสะท้อนจากอาคารและสิ่งก่อสร้างโดยรอบ

4.3 แสงที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นผิววัสดุภายในห้อง

เกณฑ์การพิจารณาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้

ลด Contrast หลีกเลี่ยงการออกแบบที่จะเกิดการ Contrast ระหว่างบริเวณที่สว่างมาก และบริเวณที่มีมืดกว่า โดยการหลีกเลี่ยงการใช้หน้าต่างที่เปิดกว้างและให้แสงส่องผ่านได้โดยตรง การใช้ช่องเปิดด้านบนหลังคาเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ได้โดยไม่ก่อให้เกิด Contrast หากมีการใช้ หิ้งสะท้อนแสงควรคำนึงถึงการใช้อย่างเหมาะสมเพื่อควบคุมการเกิดแสงบาดตาด้วย

การเลือกสีที่ใช้สำหรับงานภายใน สีของผนัง เพดาน พื้น ไปจนถึงเฟอร์นิเจอร์ มีความสำคัญต่อการใช้แสงธรรมชาติ สีที่อ่อนจะมีการสะท้อนของแสงเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีกว่าสีทึบ

เลือกใช้วัสดุทำเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง จะช่วยในการสะท้อนและกระจายแสงเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี

หากเลือกใช้การเปิดช่องแสงด้านบนหลังคา ควรคำนึงถึงสัดส่วนขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ ดังนี้

สำหรับอาคารเรียนพละ ช่องเปิดที่หันไปทางทิศใต้ สัดส่วนของกระจกต่อพื้นที่ คือ 5-8% ช่องเปิดที่หันไปทางทิศเหนือ สัดส่วนของกระจกต่อพื้นที่คือ 7-10% (ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย 2542)

เลือกใช้แผงควบคุมเพื่อกรองรังสีจากดวงอาทิตย์เข้ามาโดยตรง และช่วยในการกระจายแสงและ ลดแสงบาดตา

เลือกใช้ระบบ ควบคุมการหรี่ไฟร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติ วางผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้สอดคล้องกับการนำแสงสว่างเข้ามาใช้

ออกแบบการวางผังเฟอร์นิเจอร์ให้เหมาะสมกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้

1. ช่องแสงด้านข้าง (Viewing Window)

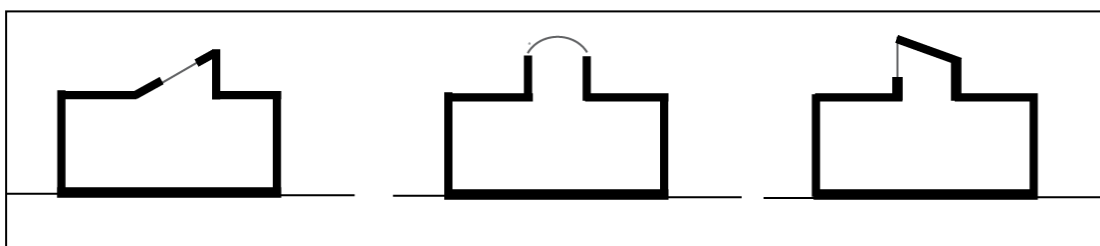
กรณีที่มีช่องเปิดเพียงด้านเดียวพบว่าจะมีแสงธรรมชาติอยู่ในระดับที่ 50 ฟุตแคนเดิล (ประมาณ 538 ลักซ์) อยู่ในระยะ 2-3 เมตร จากหน้าต่างเท่านั้น (สุนทร บุญญธิการ 2539) ช่องเปิดนี้มีมุมมองอยู่ในระดับสายตาพอดี ทำให้ลดความอึดอัดภายในห้อง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในช่องแสงตำแหน่งนี้ คือ แสงจ้าเนื่องจากอยู่ในระดับสายตา (0-5 องศาจากระนาบสายตา) ซึ่งคนเราทนต่อแสงจ้าเฉลี่ยที่ระดับ 583 ลักซ์เท่านั้น ดังแสดงในรูป 2.7 A, B และ C

2. ช่องแสงทางด้านบน (Top Window)

การใช้ช่องเปิดช่วงบน คือ ช่องเปิดที่มีความสูงจากพื้นประมาณ 2 เมตรขึ้นไป จะสามารถดึงแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ได้มากกว่าช่องแสงด้านข้าง โดยแสงที่เข้ามาจะเข้ามาได้ลึกกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่า แต่บริเวณที่อยู่ใกล้ช่องเปิดจะมีแสงไม่เพียงพอ ช่องแสงด้านบนแบบนี้ไม่ค่อยมีปัญหาในเรื่องความจ้า เนื่องจากแสงที่มาจากด้านบนนั้นคนสามารถรับความจ้าได้มากกว่าแสงจากด้านข้าง ข้อเสียของช่องเปิดแบบนี้คือ ผู้ใช้อาคารสูญเสียทัศนวิสัยที่ดีไป ดังภาพที่ 5

3. ช่องแสงด้านบนหลังคา (Top Aperture)

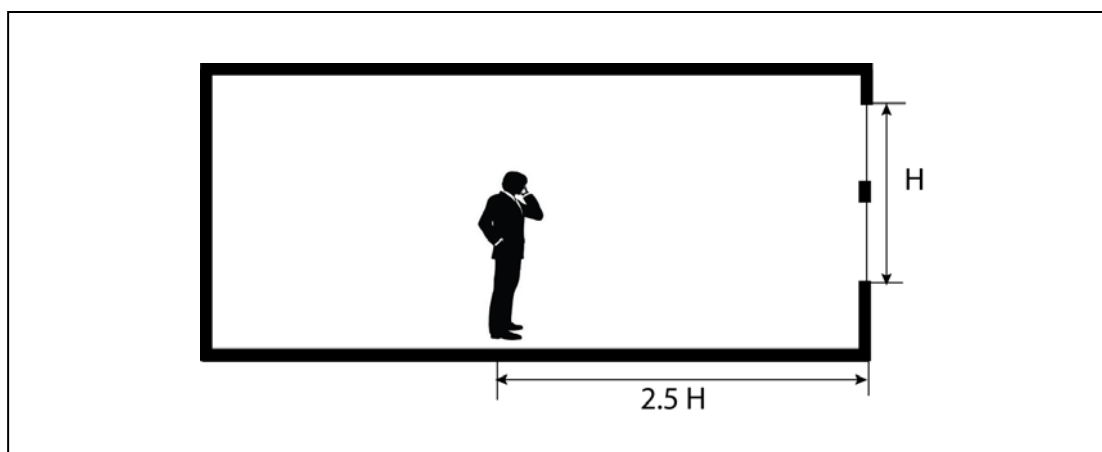
ช่องแสงลักษณะนี้สามารถดึงแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารได้ลึกและมีการกระจายแสงในทุกทิศทางอย่างสม่ำเสมอ และไม่มีปัญหาเรื่องความจ้าของแสง เนื่องจากแสงที่เข้ามาจากทางด้านบน แต่ปัญหาที่พบคือ แสงที่ได้รับอาจจะมีปริมาณความร้อนเข้ามาในปริมาณที่สูง



ภาพที่ 5 ช่องแสงด้านบนหลังคารูปแบบต่าง ๆ

ที่มา : David M. Egan and Victor W. Olgyay, *Architectural Lighting*, 2nd ed. (New York : McGraw -Hill book Co., 2002), 169.

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าแสงธรรมชาติสามารถเข้ามาลึกได้แค่ไหน ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของช่องแสงและความลึกของช่องเปิดในตัวอาคาร ปกติการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารนั้นแสงสามารถเข้ามาได้ลึก 2.5 เท่าของความสูงจากระนาบทำงานถึงขอบบนสุดของช่องเปิด

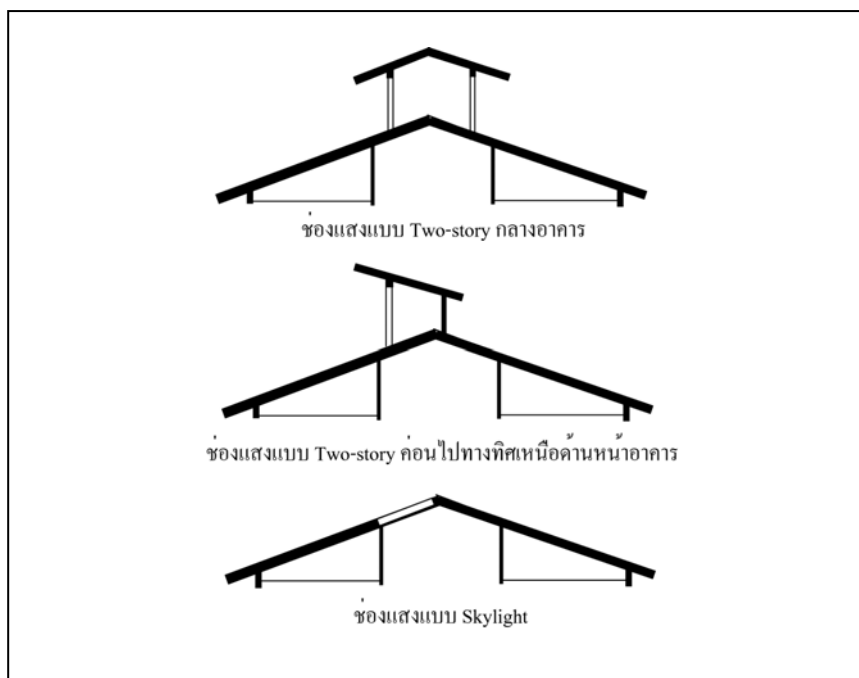


ภาพที่ 6 สัดส่วนระหว่างความสูงของช่องเปิดต่อความลึกที่แสงธรรมชาติเข้าถึง

ที่มา : David M. Egan and Victor W. Olgyay, *Architectural Lighting*, 2nd ed. (New York : McGraw -Hill book Co., 2002), 169.

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงด้วยการนำช่องแสงด้านบนหลังคามานำใช้จะมีความเหมาะสมมากกว่า เพราะในอาคารประเภทอาคารเรียนพลศึกษาไม่มีความจำเป็นจะต้องให้แสงทางด้านข้าง เพราะแสงทางด้านข้างอาคารสามารถก่อให้เกิดแสงบาดตาได้เมื่อมีการเรียนการสอน ในการวิจัยนี้จึงมุ่งประเด็นไปที่การใช้ช่องแสงทางด้านบนหลังคาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติและสามารถปรับปรุงใช้กับอาคารเรียนพลศึกษาโดยทั่วไปในประเทศไทยได้

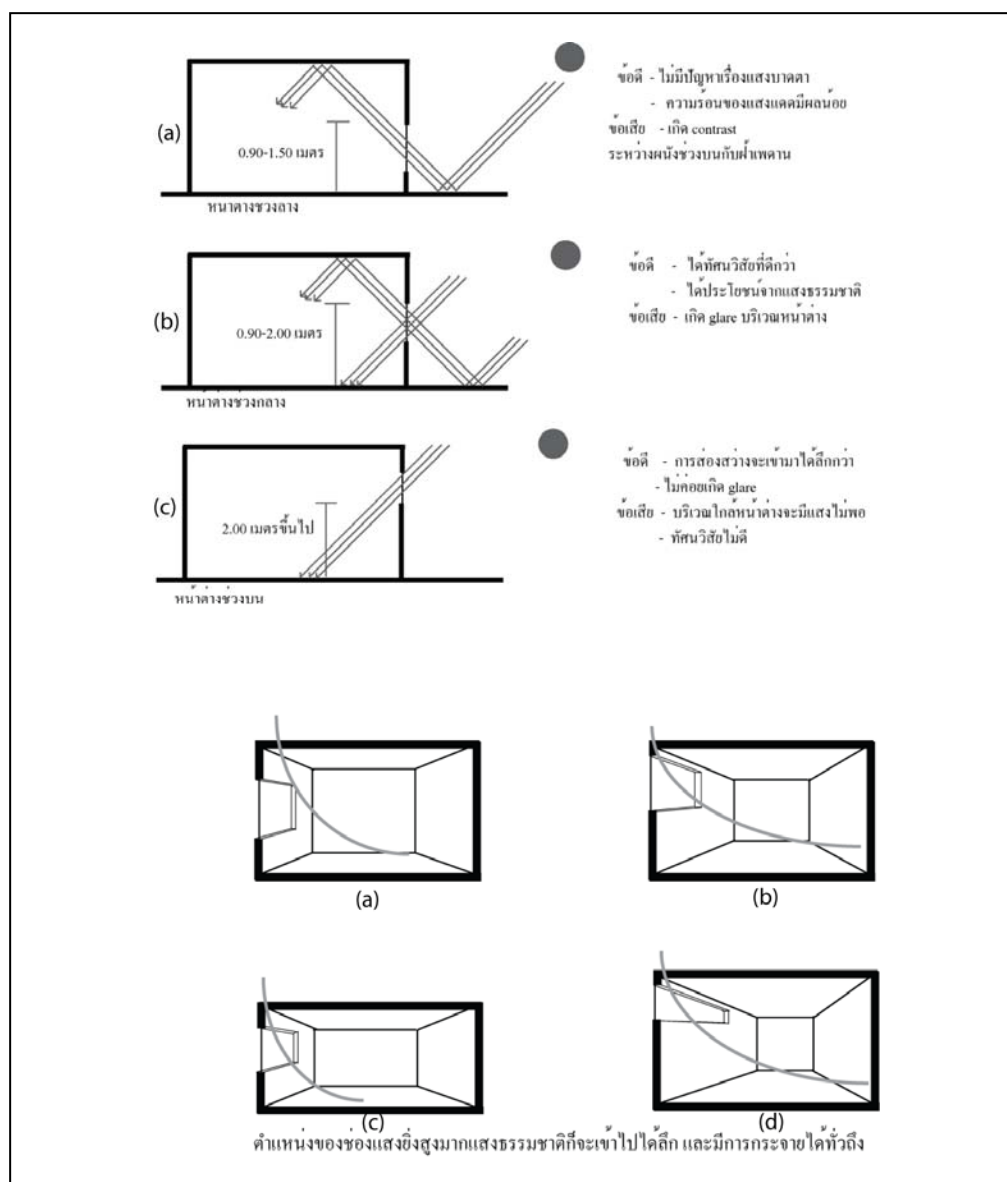
จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีการศึกษาเรื่องหลังคาสำหรับอาคารโถงสูง เพื่อความสบายทางด้านแสงสว่าง วิธีการทดลองทำโดยการสร้างหุ่นจำลองสามแบบ คือ แบบ Two-story, แบบ Two-story ค่อนข้างทึบหนือของอาคาร และแบบ Skylight ทำการวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นภายในหุ่นจำลองทั้งสามแบบ ผลจากการศึกษาพบว่า รูปแบบหลังคาที่เหมาะสมคือ แบบ Two-story และช่องเปิดควรมีพื้นที่ร้อยละ 10-25 ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด



ภาพที่ 7 รูปแบบช่องเปิดแบบต่าง ๆ ของงานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยของอรินันท์ โสภางค์ ศึกษาเรื่องแนวทางการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร สถานีขนส่งเพื่อลดการใช้แสงประดิษฐ์ : กรณีศึกษา สถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต 2 ศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร สถานีขนส่งเพื่อลดการใช้แสงประดิษฐ์ การศึกษาได้เลือกอาคารสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต 2 เป็นอาคารกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นอาคารที่มีการเปิดใช้งานตลอด 24 ชม. พบว่า หลังคาและที่จอดรถรับ-ส่ง ขนาดใหญ่ที่บริเวณชั้น 2 ทางด้านทิศตะวันออก เป็นอุปสรรคต่อการส่งผ่านของแสงธรรมชาติสู่ภายในอาคาร การจัดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารไม่สอดคล้องกับตำแหน่งช่องเปิด และช่องแสงด้านบนของอาคารซึ่งเป็นกระจกสีที่มีปริมาณแสงสว่างและความร้อนที่มากับแสงสว่างมากจนเกินไปทำให้ต้องมีการติดตั้งแผ่นกรองไว้ได้ช่องเปิด ซึ่งทำให้ปริมาณความส่องสว่างที่วัดได้ภายในอาคารมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดจึงจำเป็นต้องใช้แสงประดิษฐ์เสริมตลอดเวลา ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการสำรวจ ประเมินผลและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาเพื่อศึกษาปัญหาในเรื่องการใช้แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดแนวทางเลือกในการปรับปรุง โดยการนำเสนอ 3 แนวทาง คือ การปรับปรุงช่องแสงด้านบน การเจาะช่องเปิดเพิ่มที่ผนังอาคารชั้นลอยและการใช้หิ้งสะท้อนแสงที่สำนักงานชั้น 3

ผลการวิจัยพบว่า แนวทาง การปรับปรุงช่องแสงด้านบนเป็นหลังคาพื้นเลื่อยที่มีช่องเปิด 15% การเจาะช่องเปิดเพิ่มที่ผนังอาคารชั้นลอย ร่วมกับการใช้หิ้งสะท้อนแสงที่มีค่าการสะท้อน 80% สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 281,825.37 กิโลวัตต์ต่อปี สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ 787,747.05 บาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 1.83 ปี



ภาพที่ 8 แสดงตำแหน่งของช่องแสงและลักษณะแสงธรรมชาติที่เข้ามามีภายในอาคาร
ที่มา : James F. Moore, Concept and Practice of Architectural Daylighting (New York : Van Nostrand Reinhold, 1986), 121.

สรุป

จากการรวบรวม วิเคราะห์เอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีต่าง ๆ สิ่งที่ต้องคำนึงในการทำงานวิจัยครั้งนี้ คือ

1. การนำแสงธรรมชาติที่มีมากตลอดปีเข้ามาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการลดพลังงานการใช้ไฟฟ้าของอาคาร
 2. การให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องแสงด้านบนเป็นการให้แสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพดีและเกิดความสบายตาในการใช้งานอาคาร
 3. เกณฑ์การให้แสงสำหรับอาคารสนามกีฬาในร่มของโรงเรียนสารคามพิทยาคมนี้ เนื่องจากเป็นอาคารที่มีการเรียนการสอนกีฬาหลายประเภท จึงกำหนดเกณฑ์การให้แสงสว่างอยู่ที่ 500 ลักซ์อ้างอิงตามเกณฑ์ที่กำหนดโดย CIE IES และ DIN
 4. ค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่างควรมีค่าอยู่ที่ 0.5 เพราะอาคารสนามกีฬาในร่มโรงเรียนสารคามพิทยาคมนี้เป็นอาคารที่ใช้ในการเรียนการสอน ไม่เน้นการแข่งขัน
 5. ต้องมีการระมัดระวังในการออกแบบไม่ให้เกิด แสงบาดตา ควรมีการคำนึงถึงเรื่องการปรับสายตาของผู้ใช้งานอาคารด้วย
- ทฤษฎีที่ได้ศึกษามา นำมาใช้ในการหารูปแบบ และพิจารณารูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับอาคารสนามกีฬาในร่มต่อไป

บทที่ 3

การดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการให้แสงสว่างธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอาคารเรียนพลศึกษา โดยการศึกษาสภาพแสงที่เหมาะสมกับการใช้งานภายในอาคาร งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการใช้แสงธรรมชาติจากช่องเปิดทางด้านบนหลังคาโดยให้แสงเข้ามาได้มาก และมีความสม่ำเสมอของแสงสว่าง

การศึกษาทำโดยสำรวจอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop radiance เพื่อจำลองสภาพแสงในอาคารทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง นำผลการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน IES และ CIE เพื่อหารูปแบบของช่องแสงที่มีสภาพแสงที่เหมาะสมกับการใช้งานในอาคารมากที่สุด

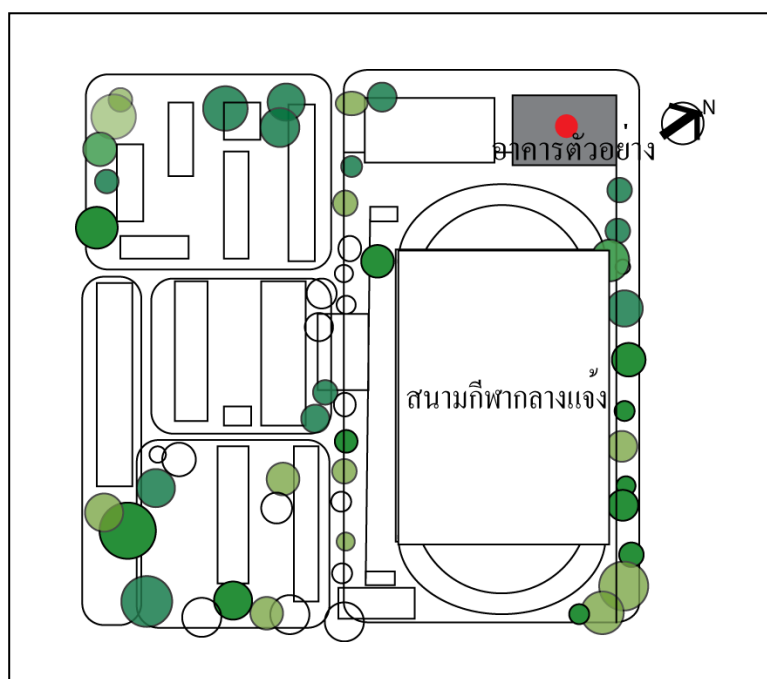
การสำรวจอาคารตัวอย่าง

อาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม เป็นอาคารแบบ 100/27 ของกองการออกแบบและก่อสร้าง กรมสามัญศึกษากระทรวงศึกษาธิการ เป็นอาคารที่ใช้ในโรงเรียนสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งหลักในการพิจารณาเลือกอาคารเรียน มีดังนี้

1. อาคารเรียนพลศึกษาเป็นโครงสร้างช่วงพาดยาวที่มีหลังคาสูง ใช้เพื่อทำการเรียนการสอนกีฬาหลายประเภท
2. เป็นอาคารเรียนมีการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ ซึ่งอาจต้องมีการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟประกอบด้วยเมื่อแสงธรรมชาติไม่เพียงพอต่อความต้องการ
3. อาคารข้างเคียงของอาคารเรียนพลศึกษามีความสูงสองชั้น ทำให้บังแสงสว่างที่จะเข้าไปในอาคารเรียนพลศึกษา



ภาพที่ 9 แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงที่ตั้งของโรงเรียนสารคามพิทยาคม



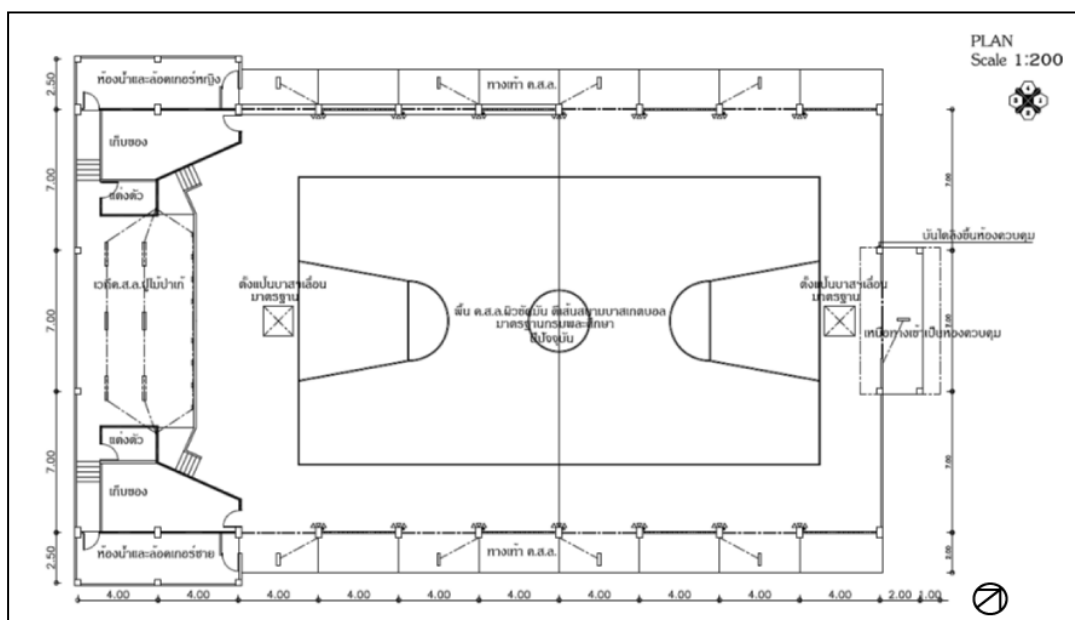
ภาพที่ 10 ผังรวมอาคารเรียนโรงเรียนสารคามพิทยาคม มหาสารคาม

จากการสำรวจ ผู้วิจัยเลือกอาคารเรียนพลศึกษาซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ที่ อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม มีพิกัดที่ตั้งอยู่ที่ละติจูด 16 องศา 11 ลิปดา และลองติจูดที่ 103 องศา 18 ลิปดา (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2) ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพดังนี้

1. ขนาดอาคารกว้าง 25 เมตร ยาว 40 เมตร มีความสูง 11.45 เมตร
2. เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังคาโครงสร้างเหล็กมุงกระเบื้องลอนคู่สีเทา มีกระเบื้องโปร่งแสง ช่วงเสาดะ 1 แผ่น ทั้งสองด้านของมุมหลังคา
3. พื้นเป็นพื้น ค.ส.ล. หล่อกับที่ ผิวขัดมัน
4. ผนังเป็นผนังอิฐฉาบปูนและผนังคอนกรีตบล็อกทาสีเบจ

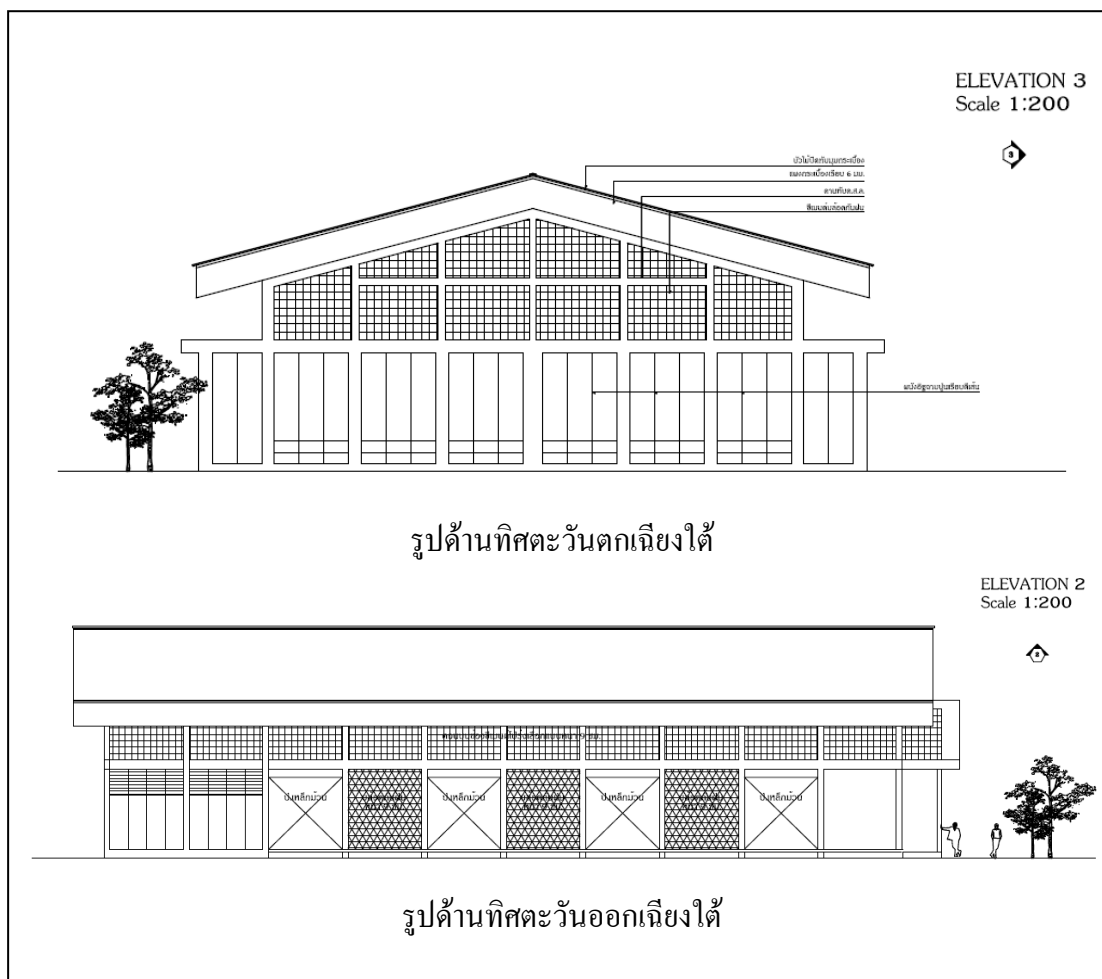


ภาพที่ 11 บรรยากาศภายนอกอาคารตัวอย่าง (ถ่ายเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2553)

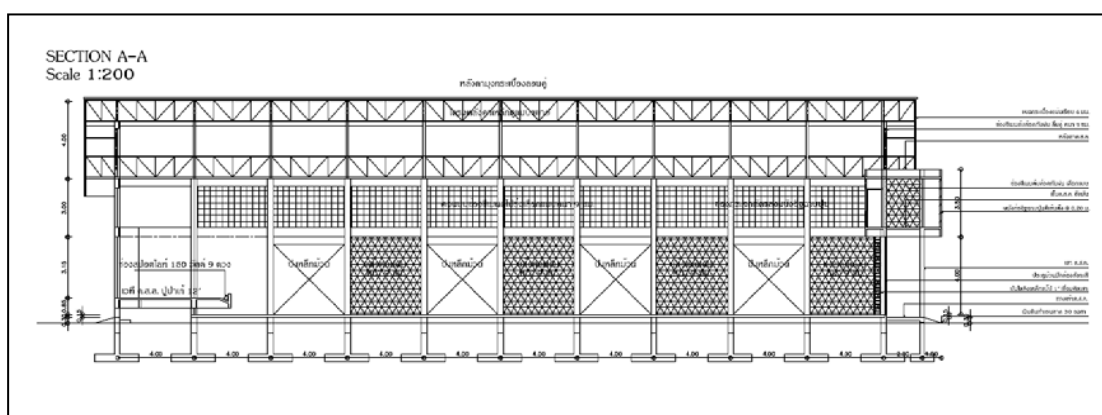


ภาพที่ 12 ผังอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม

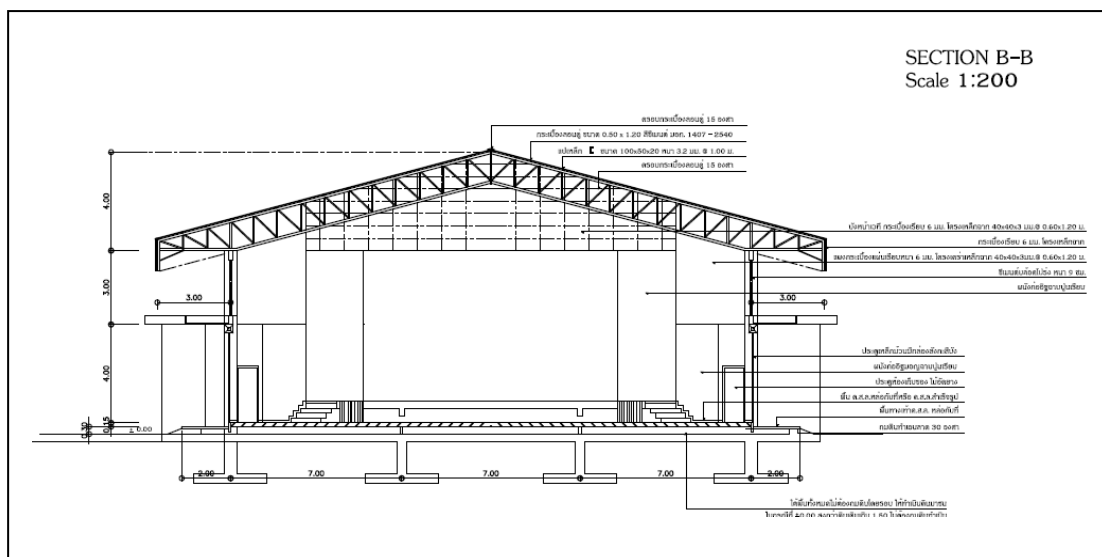
ที่มา : กระทรวงศึกษาธิการ, ผังอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม (กรุงเทพฯ : กองออกแบบและก่อสร้าง กรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ, 2550).



ภาพที่ 13 รูปด้านของอาคารพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม



ภาพที่ 14 รูปตัด A-A อาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม



ภาพที่ 15 รูปตัด B-B อาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม

เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อวัดแสงในอาคารตัวอย่างมีดังนี้

1. **ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)** ยี่ห้อ 4 in 1 Digital Multifunction Meter รุ่น DT8220 ใช้

ในการวัดแสงที่อยู่ในช่วงระหว่าง (Measuring range) 5-50,000 ลักซ์ (ภาพที่ 16)

- ## 2. ตลับเมตร

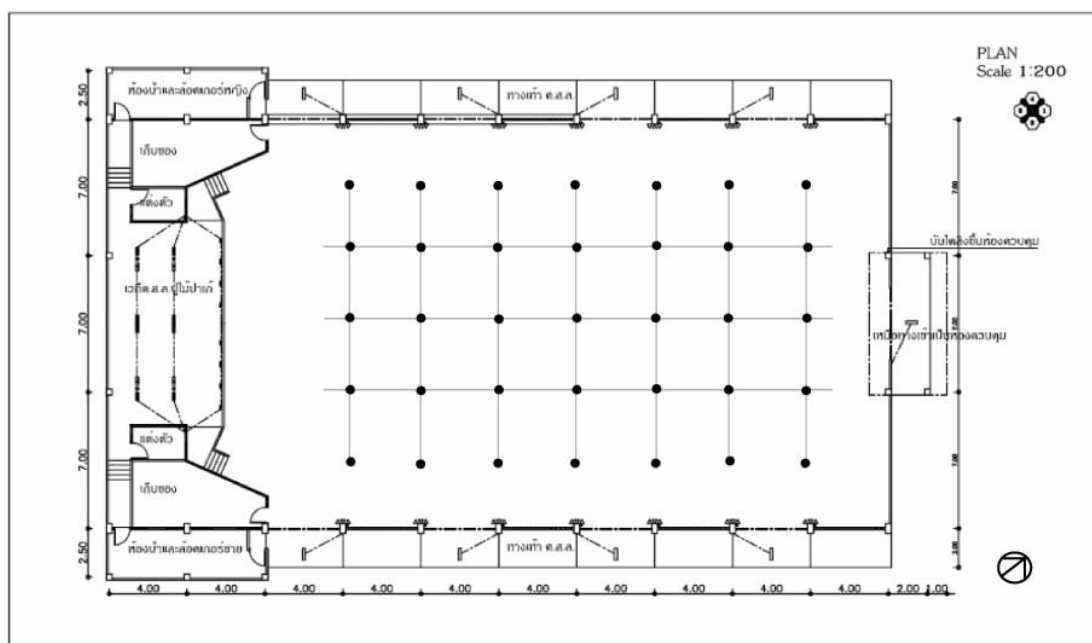


ภาพที่ 16 เครื่องมือวัดแสงลักซ์ ยี่ห้อ 4 in 1 Digital Multifunction Meter มิเตอร์รุ่น DT8820

ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลสภาพแสงในอาคารตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลสภาพแสงในอาคารตัวอย่างมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. ขออนุญาตโรงเรียนที่จะทำการศึกษาเพื่อขอเข้าไปทำการสำรวจอาคารตัวอย่าง
 2. ทำการวัดค่าความส่องสว่างของอาคารเรียนพลศึกษาโดยกำหนดตำแหน่งที่จะใช้วัดค่าแสงที่ระยะ 4 เมตรทุก ๆ ช่วงเสา ซึ่งเป็นระยะที่ผู้เล่นกีฬาใช้ในการเล่นและอยู่ในขอบเขตของการมองเห็นของผู้เล่น โดยใช้ตลับเมตร
 3. วัดที่ระนาบพื้น ซึ่งตัวผู้ทำการวัดจะต้องอยู่ห่างจากเครื่องมือ เพื่อหลีกเลี่ยงการบังแสงขณะที่ทำการวัด (ทำการวัดเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2553 ในเวลา 10.00น.)
 4. นำค่าที่ได้มาบันทึกข้อมูลลงใน MS Excel และเขียนเป็นกราฟ
 5. เปรียบเทียบค่าแสงที่วัดได้กับสภาพแสงที่ได้จากโปรแกรม Desktop radiance
- การเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างของแสง (ลักซ์) ในระนาบพื้น ในตำแหน่งดังภาพที่ 17

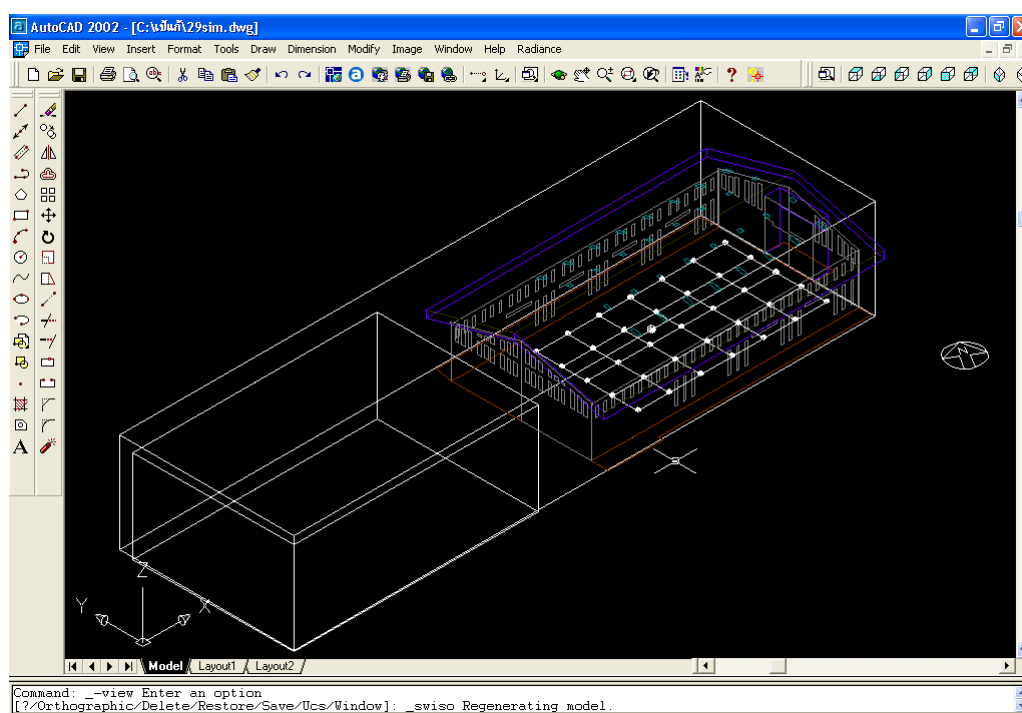


ภาพที่ 17 ตำแหน่งในการวัดแสงระนาบพื้น

การจำลองสภาพแสงด้วยโปรแกรม Desktop Radiance

โปรแกรม Desktop Radiance

โปรแกรม Desktop Radiance เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดย Building Technologies Department ของ Lawrence Berkeley National Laboratory และ California Institute for Energy Efficiency (CIEE) พัฒนาร่วมกับบริษัท Marinsoft Inc. ใช้ในการจำลองสภาพแสงสว่าง ทั้งแสงธรรมชาติ (Daylight) และแสงประดิษฐ์ (Electric lighting) แสดงผลได้ทั้งในลักษณะภาพ และค่าตัวเลข เช่น ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) และค่าความสว่าง (Luminance) ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานบนโปรแกรม AutoCAD และการคำนวณผลดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม Desktop Radiance

ขั้นตอนในการจำลองอาคารตัวอย่างด้วยโปรแกรม Desktop radiance

ภาพที่ 19 อธิบายขั้นตอนการจำลองอาคารตัวอย่างด้วยโปรแกรม Desktop radiance ดังนี้

1. สร้างโมเดลที่จะใช้ทำการจำลองสภาพแสงสว่างให้ใกล้เคียงกับอาคารตัวอย่างด้วย Auto CAD รวมถึงอาคารข้างเคียง

2. กำหนดวัสดุที่มีผลต่อสภาพแสงของโมเดลที่จำลองให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอาคารตัวอย่าง ในการทดลองโมเดลอาคารนี้ประกอบด้วย พื้น ไม้วัสดุ คอนกรีตสีเทาปนน้ำตาล (Brown Grey) หลังคา ไม้วัสดุกระเบื้องลอนคู่สีเทา (Grey) ช่องแสงด้านบน ไม้วัสดุ กระเบื้องลอนใส (Clear Laminet) ผนัง ไม้วัสดุ คอนกรีตบล็อกสีเบจปนเทา (Beige Grey) อาคารข้างเคียง ไม้วัสดุ คอนกรีตสีเบจ (Beige)

3. ใส่ฟอร์นิเจอร์ภายในโมเดลจำลอง ที่มีผลต่อสภาพแสงภายในอาคาร

4. ใส่วงโคมตามตำแหน่งอาคารตัวอย่าง

5. กำหนดองค์ประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย

5.1 โชน เลือกโชนที่จะใช้ในการทดลองโดยครอบคลุมโมเดลและอาคารข้างเคียง

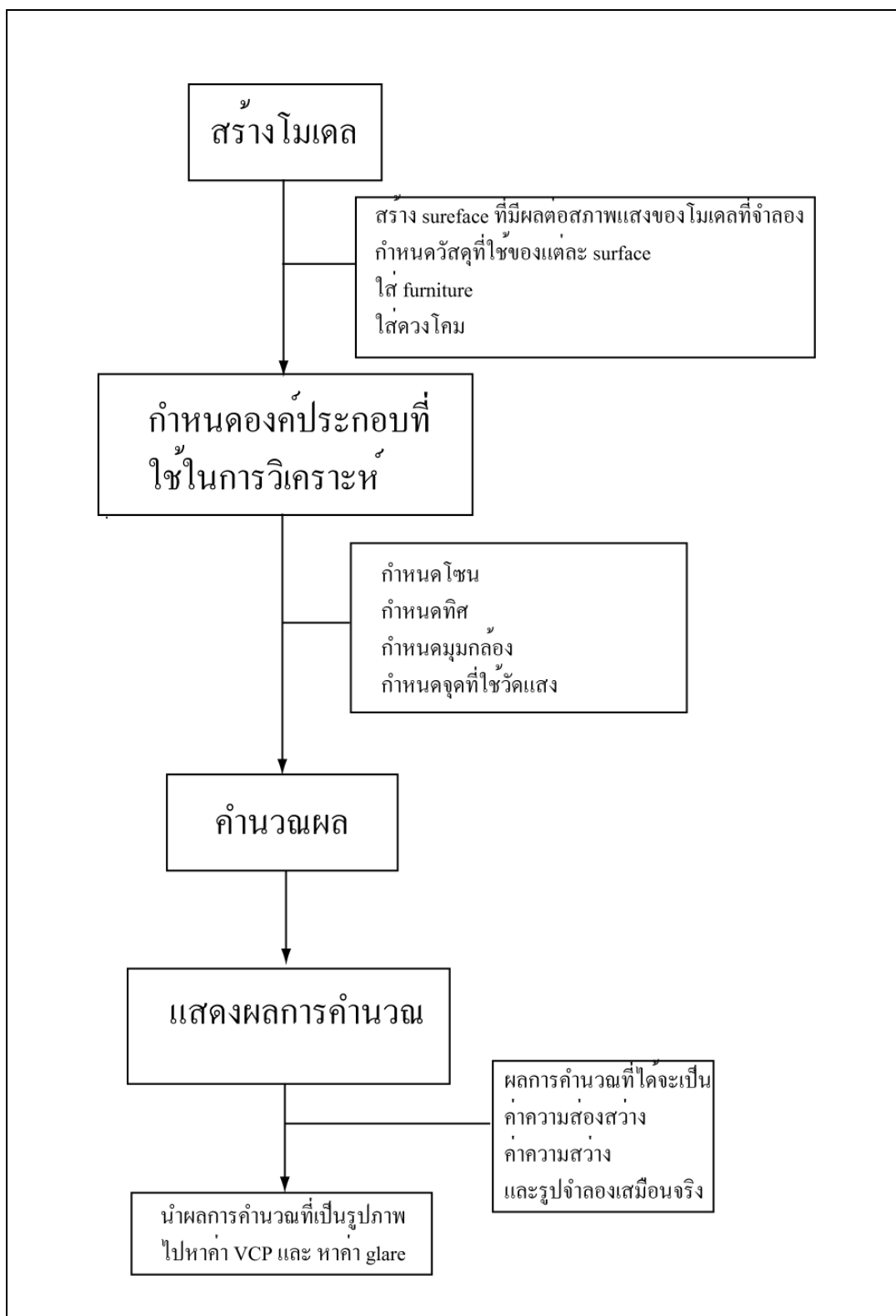
5.2 ทิศ เลือกวางทิศตามทิศที่ตั้งของอาคารตัวอย่าง การทดลองนี้จะวางอาคารตามแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ

5.3 มุมกล้อง เลือกมุมกล้องที่ต้องการให้มุมกล้องมองเข้าไปในอาคาร

5.4 จุดที่ใช้วัดแสง วางตำแหน่งจุดที่จะใช้วัดแสงทุกระยะเสาที่ 4 เมตร

6. คำนวณผลและแสดงผลคำนวณ

7. ผลคำนวณที่ได้จะเป็นค่าความส่องสว่าง, ค่าความสว่าง และรูปจำลองเสมือนจริง



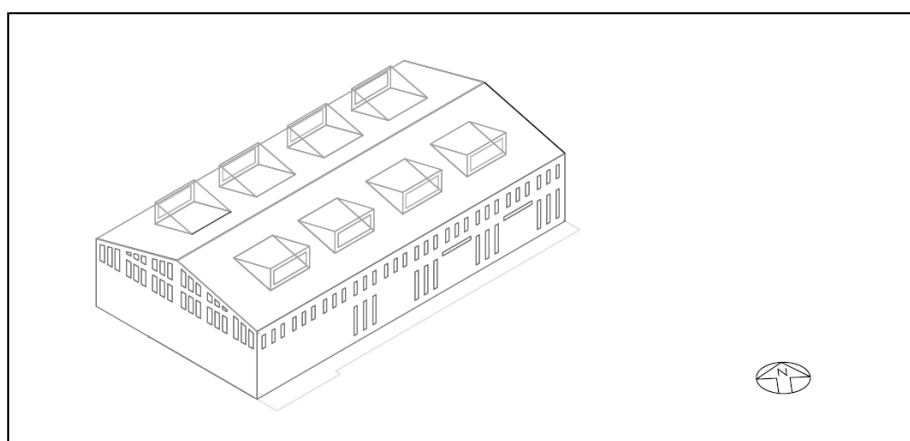
ภาพที่ 19 ขั้นตอนการทำงานและการประมวลผลของโปรแกรม Desktop radiance

ขั้นตอนการปรับปรุงอาคารตัวอย่าง

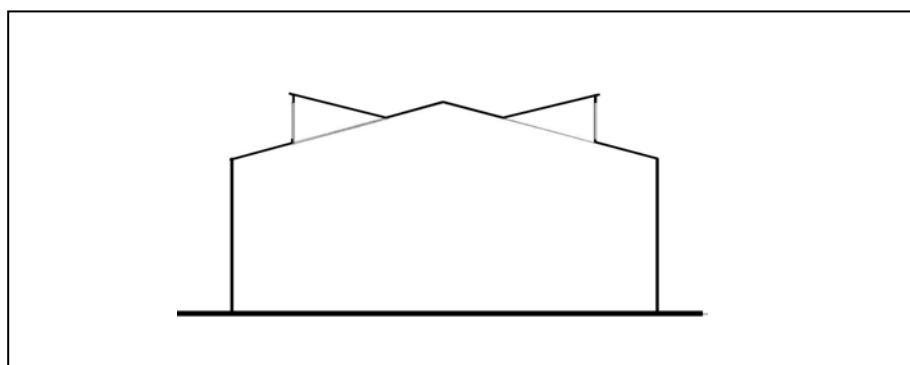
การออกแบบปรับปรุงอาคารตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ การปรับปรุงช่องแสง ด้านบนหลังคาแบบ Clerestory แบบ Sawtooth และแบบ Two-story โดยแบ่งเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Clerestory

แนวความคิดในการปรับปรุง คือ ต้องการออกแบบให้มีช่องรับแสงที่ขนาดใหญ่มากขึ้น จากแบบอาคารตัวอย่าง แต่ไม่เปิดรับแสงโดยตรงจึงออกแบบเป็นช่องเปิดแบบ Clerestory เพื่อให้แสงที่ได้รับเกิดการสะท้อนเข้าไปในอาคาร โดยวางแนวช่องเปิดตามแนวยาวของหลังคาทั้ง 2 ด้าน



ภาพที่ 20 ช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Clerestory



ภาพที่ 21 แสดงรูปตัดของหลังคาแบบ Clerestory

เดิมทีอาคารตัวอย่างนั้นมีการให้แสงจากด้านบนหลังคาด้วยการให้ช่องแสงกระเบื้อง โปรงแสงช่องละหนึ่งช่วงเสา จากการวัดแสง พบว่า ค่าความส่องสว่างของแสงไม่เพียงพอ ทำให้ อาคารมีลักษณะมืด และต้องใช้แสงจากหลอดไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบปรับปรุงใหม่ในส่วน ของช่องแสงด้านบนหลังคาโดยใช้โครงสร้างของอาคารและหลังคาเดิม เพิ่มช่องแสงแบบ Clerestory ทั้งสองด้านของมุมหลังคา ด้านละ 4 ช่อง รวมเป็น 8 ช่อง

การทดลองแบบที่ 1 นี้ทดสอบโดยการใช้โปรแกรม Desktop Radiance โดยมีเกณฑ์การ พิจารณา คือ

1. ค่าความสว่างที่เหมาะสมต่อการเล่นกีฬาประเภทต่างๆ ตามเกณฑ์ CIE และ IES ที่ 500 ลักซ์

2. ค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่าง = $\frac{\text{ความเข้มของแสงสว่างที่ต่ำที่สุด}}{\text{ความเข้มแสงเฉลี่ย}}$

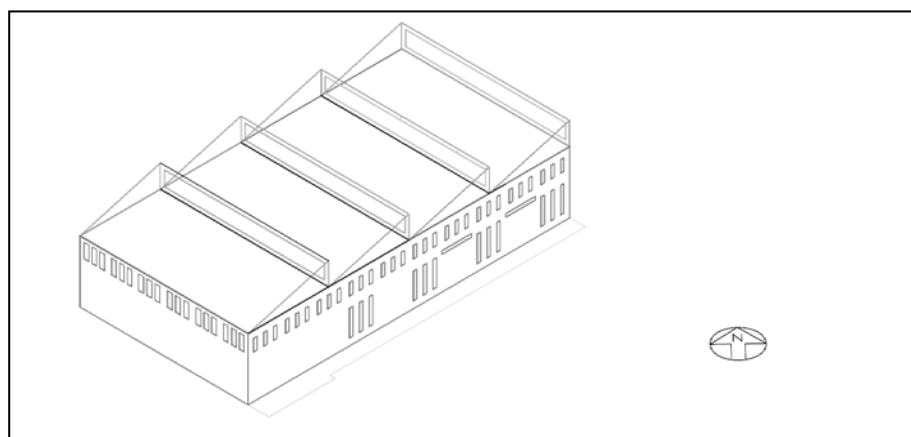
หมายเหตุ : อัตราความสม่ำเสมอของแสงสว่างไม่ควรต่ำกว่า 0.5

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์ 2546)

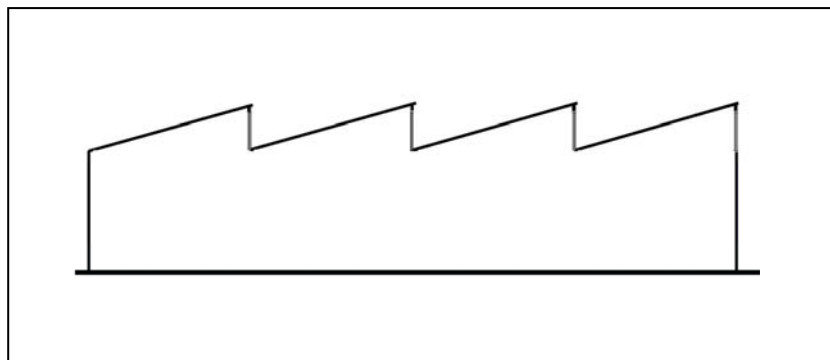
3. ความเป็นไปได้ในการปรับปรุงก่อสร้าง

การทดลองที่ 2 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Sawtooth

แนวความคิดในการปรับปรุงคือ ต้องการเปิดรับแสงธรรมชาติจากด้านทิศเหนือจึงทำ การออกแบบหลังคาเป็นรูปแบบฟันเลื่อย ให้ส่วนที่เป็นช่องแสงวางตามแนวขวางเต็มความยาวของ หลังคาทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 22 ช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Sawtooth



ภาพที่ 23 แสดงรูปตัดของหลังคาแบบ Sawtooth

จากโครงสร้างหลังคาของอาคารตัวอย่างซึ่งเป็นหลังคาจั่ว ผู้วิจัยทำการออกแบบปรับปรุงหลังคาให้มีลักษณะคล้ายรูปแบบฟันเลื่อย โดยมีช่องแสงเพิ่มความยาวของหลังคาทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

การทดลองแบบที่ 2 นี้ ทดสอบโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance โดยมีเกณฑ์การพิจารณาคือ

1. ค่าความสว่างที่เหมาะสมต่อการเล่นกีฬาประเภทต่างๆ ตามเกณฑ์ CIE และ IES ที่ 500 ลักซ์

2. ค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่าง =
$$\frac{\text{ความเข้มของแสงสว่างที่ต่ำที่สุด}}{\text{ความเข้มแสงเฉลี่ย}}$$

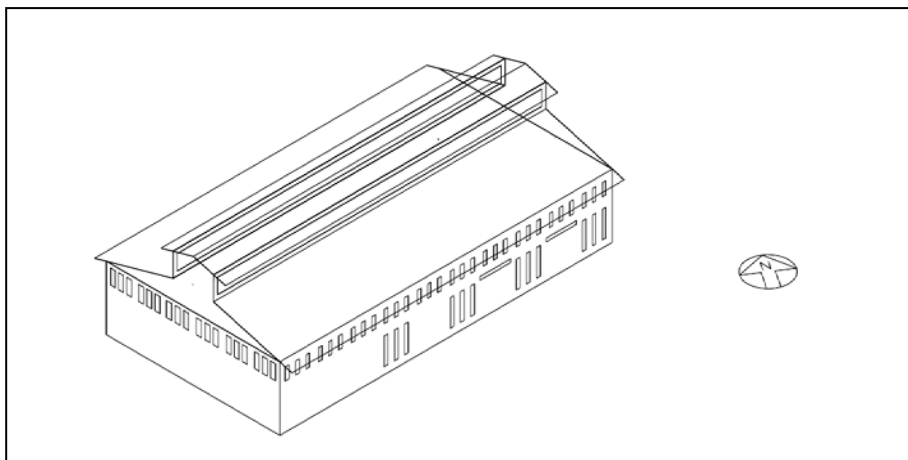
หมายเหตุ : อัตราความสม่ำเสมอของแสงสว่างไม่ควรต่ำกว่า 0.5

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์ 2546)

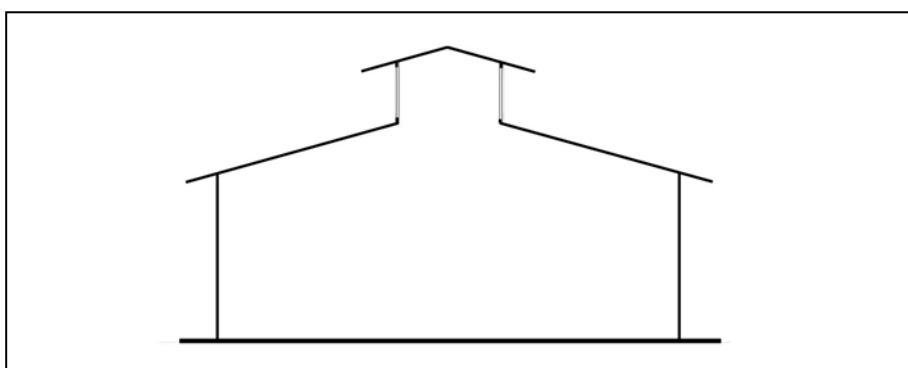
3. ความเป็นไปได้ในการปรับปรุงก่อสร้าง

การทดลองที่ 3 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Two-story

แนวความคิดในการปรับปรุง คือ ต้องการออกแบบให้ช่องแสงมีความยาวตามแนวหลังคาแต่ไม่ต้องการให้ได้รับแสงโดยตรง จึงยกหลังคาขึ้นเป็นสองชั้น เพื่อให้แสงที่เข้าไปภายในอาคารเป็นลักษณะแสงที่สะท้อน



ภาพที่ 24 ช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Two-story



ภาพที่ 25 แสดงรูปตัดของหลังคาแบบ Two-story

จากอาคารตัวอย่าง ผู้วิจัยทำการออกแบบปรับปรุงหลังเป็นแบบยกชั้นสูงขึ้นไป วางตัวตามยาวตลอดทั้งแนวของอาคาร โดยให้ช่องเปิดอยู่บริเวณด้านยาวของหลังคา

การทดลองแบบที่ 3 นี้ ทดสอบโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance โดยมีเกณฑ์การพิจารณา คือ

1. ค่าความสว่างที่เหมาะสมต่อการเล่นกีฬาประเภทต่าง ๆ ตามเกณฑ์ CIE และ IES ที่ 500 ลักซ์

2. ค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่าง = $\frac{\text{ความเข้มของแสงสว่างที่ต่ำที่สุด}}{\text{ความเข้มแสงเฉลี่ย}}$

หมายเหตุ : อัตราความสม่ำเสมอของแสงสว่างไม่ควรต่ำกว่า 0.5

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์ 2546)

3. ความเป็นไปได้ในการปรับปรุงก่อสร้าง

ซึ่งการทดลองทั้งสามรูปแบบนี้ทำการทดลองในวันที่ 21 ของเดือน มีนาคม เมษายน กันยายน และธันวาคม ในเวลา 8.00, 10.00, 12.00, 14.00, และ 16.00 น.

จากนั้นนำรูปแบบที่ดีที่สุดจากทั้ง 3 รูปแบบ มาทำการทดลองต่อด้วยการเพิ่มฝ้าเพดานวัสดุสะท้อนแสงที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง

การทดลองที่ 4 การเพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงได้หลังคา

จำลองรูปแบบของช่องแสงหลังคาที่ให้ผลดีที่สุด เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง

การทดลองแบบที่ 4 ทดสอบโดยการใช้โปรแกรม Desktop Radiance โดยมีเกณฑ์การพิจารณา คือ

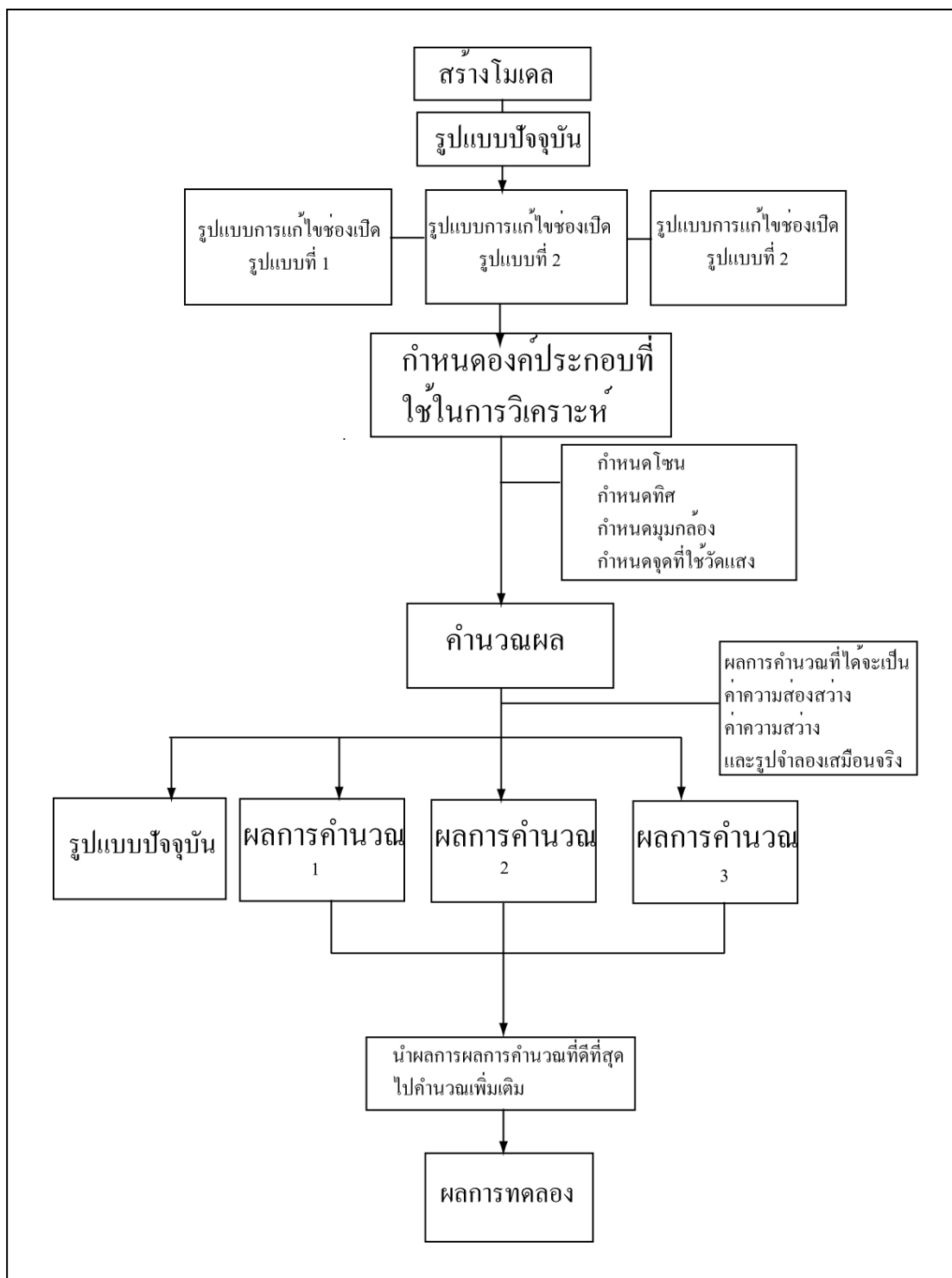
1. ค่าความสว่างที่เหมาะสมต่อการเล่นกีฬาประเภทต่างๆ ตามเกณฑ์ CIE และ IES ที่ 300 - 500 ลักซ์

2. ค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่าง =
$$\frac{\text{ความเข้มของแสงสว่างที่ต่ำที่สุด}}{\text{ความเข้มแสงเฉลี่ย}}$$

หมายเหตุ : อัตราความสม่ำเสมอของแสงสว่างไม่ควรต่ำกว่า 0.5

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์ 2546)

เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ จากนั้นทำการสรุปและอภิปรายผลงานวิจัยเพื่อเสนอเป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารเรียนพลศึกษา



ภาพที่ 26 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 นี้ กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ภาพที่ 26) และการทดลองโดยอธิบายถึงรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนข้อมูลเบื้องต้นของอาคารตัวอย่างที่เลือกมาทำการทดลองและโปรแกรมที่ใช้ในการทำการทดลอง ขั้นตอนของการทำงานและประมวลผลของโปรแกรม เพื่อให้เข้าใจถึงขั้นตอนของการดำเนินการทดลอง

บทที่ 4

ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาถึงความส่องสว่าง ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบปรับปรุงจากอาคารตัวอย่าง โดยนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารผ่านช่องเปิดทางด้านบนของอาคาร 3 รูปแบบ คือ

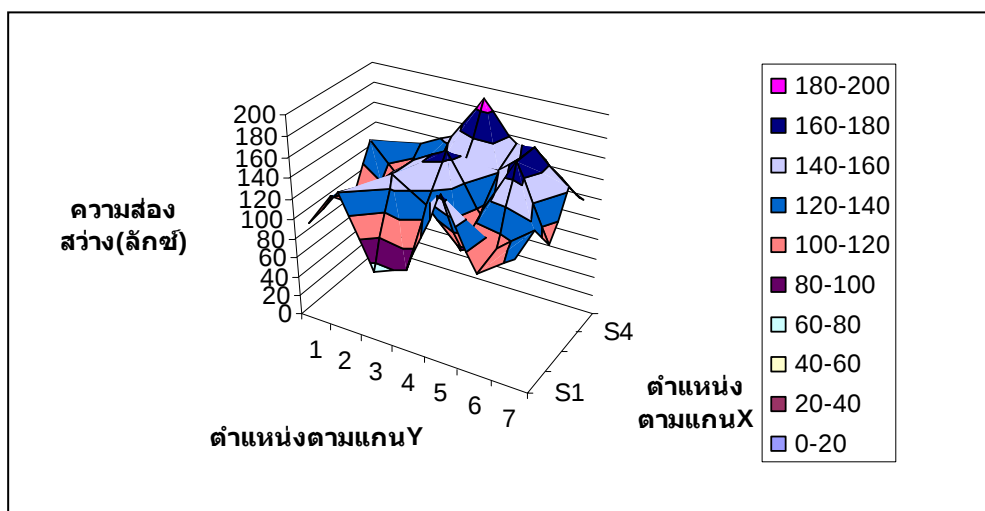
รูปแบบที่ 1 แบบ Clerestories (แบบมีช่องเปิดในระดับสูงกว่าสายตา)

รูปแบบที่ 2 แบบ Sawtooth (แบบมีช่องเปิดแบบฟันเลื่อย)

รูปแบบที่ 3 แบบ Two-story (แบบมีช่องเปิดที่หลังคาซึ่งซ้อนชั้นบนหลังคาเดิม)

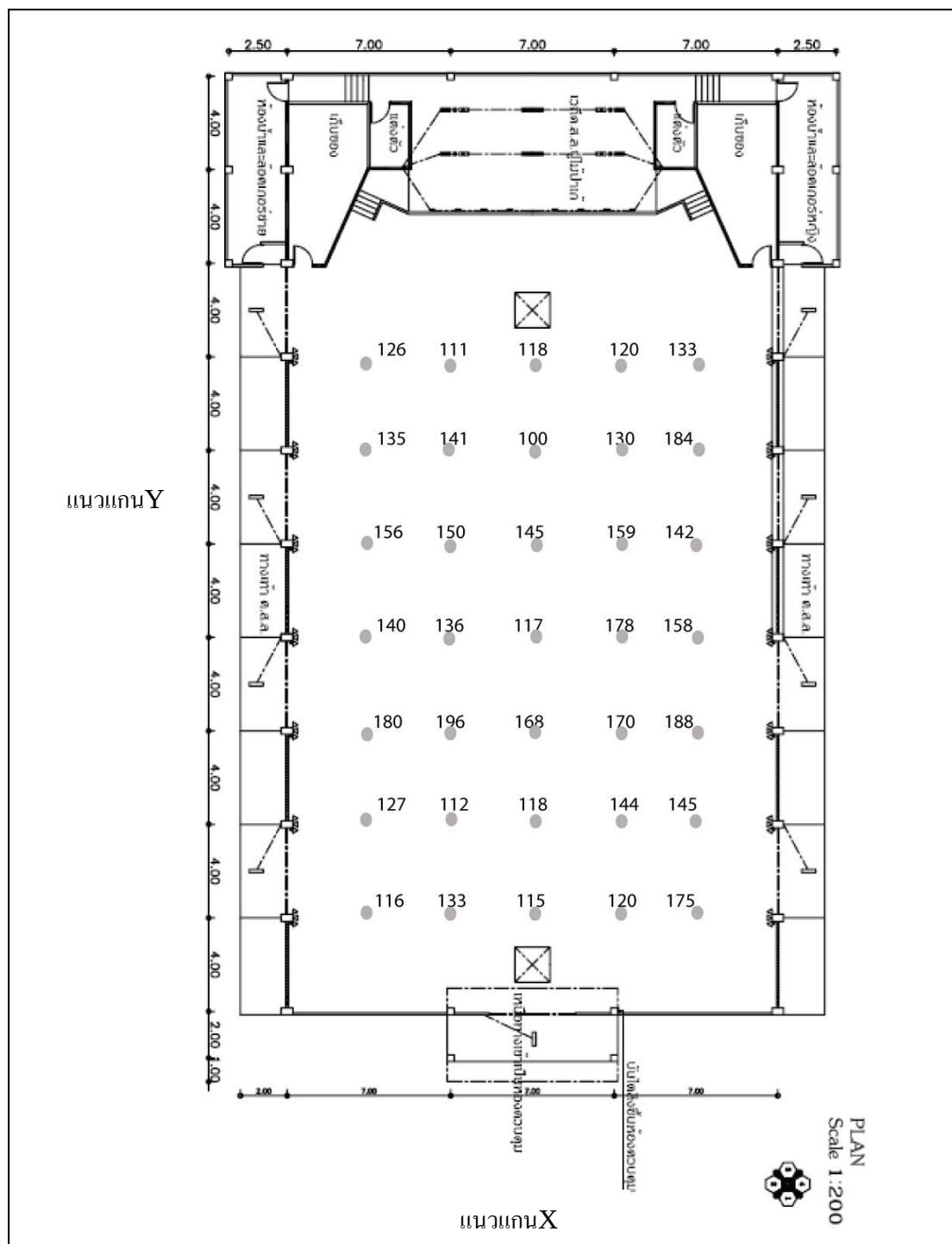
การเก็บข้อมูลสภาพแสงในอาคารตัวอย่าง

จากการวัดความส่องสว่างในอาคารตัวอย่างที่วัด วันที่ 21 กันยายน เวลา 10.00 น. โดยวัดในระนาบพื้นอาคารและสภาพท้องฟ้าแบบ Clearsky เพราะเป็นสภาพท้องฟ้าโดยทั่วไปของจังหวัดมหาสารคาม ผลการทดลองได้ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 แผนผังตำแหน่งที่วัดค่าความส่องสว่าง

พบว่า ค่าความส่องสว่างที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 60 -200 ลักซ์



ภาพที่ 28 ค่าความส่องสว่างของแสงที่วัดได้จากเครื่องมือลักซ์มิเตอร์ เมื่อวันที่ 21 กันยายน เวลา 10.00 น.

ตารางที่ 5 แสดงค่าความส่องสว่างของแสงที่วัดจากอาคารตัวอย่าง

ตำแหน่งวัดแสงใน แกน X	1	2	3	4	5
ความส่องสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	140	139	125	145	157

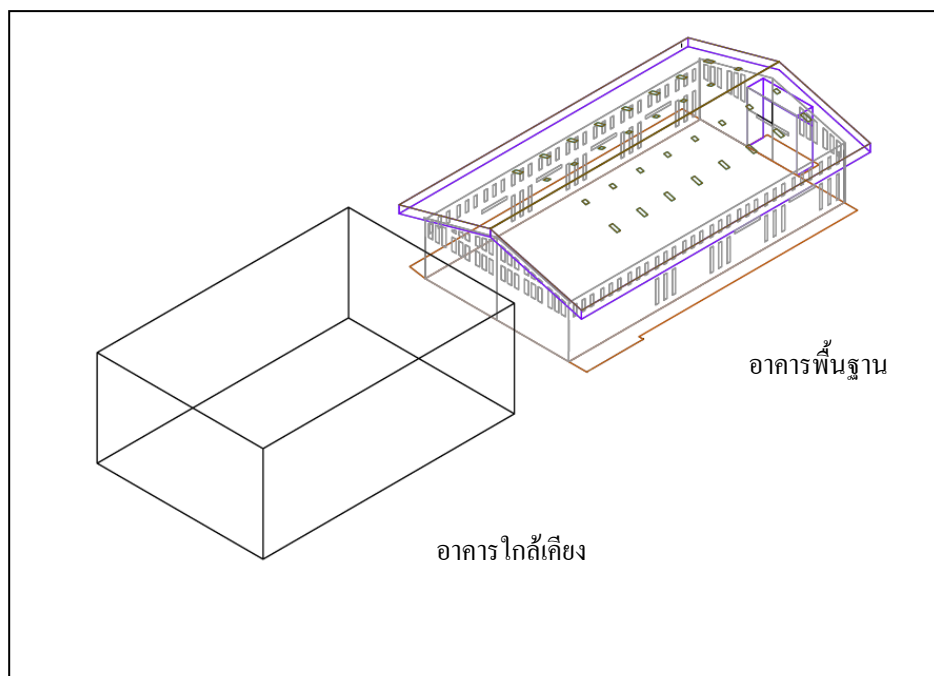
จากภาพที่ 27 และ 28 จะเห็นได้ว่า ค่าความส่องสว่างมีค่าที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ความส่องสว่างเฉลี่ย $E_{average}$ 139 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ($E_{minimum}/E_{average}$) อยู่ที่ 0.79 ซึ่งค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยที่แนะนำ คือ 0.50 แต่ทั้งนี้ ค่าความส่องสว่างที่วัดได้นั้น มีค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 500 ลักซ์อยู่มาก ซึ่งจะทำให้มีปัญหา คือ แสงสว่างในการใช้งานอาคารไม่เพียงพอ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการพิจารณาตัวเลือกต่างๆ ในการออกแบบปรับปรุงอาคารและใช้โปรแกรม Desktop Radiance ในการวิเคราะห์ปริมาณแสงสว่างที่จะเกิดขึ้นภายในอาคาร

การออกแบบปรับปรุงอาคาร

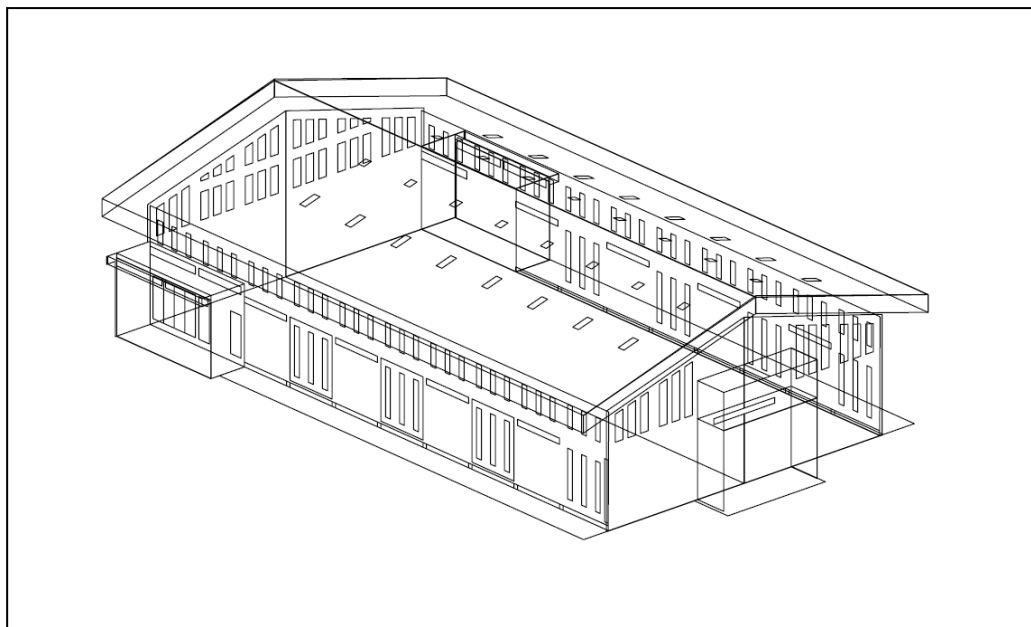
การออกแบบปรับปรุงอาคารนี้จะทำโดยการจำลองสภาพแสงสว่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop radiance โดยพิจารณาถึงความส่องสว่าง (Illuminance) ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity) และก่อให้เกิดความสบายตาโดยในการปรับปรุงอาคารนี้จะเปลี่ยนหลังคา, ช่องเปิดและองค์ประกอบสถาปัตยกรรมของอาคารพื้นฐานเท่านั้น สภาพแวดล้อมภายนอกไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

1. อาคารพื้นฐาน

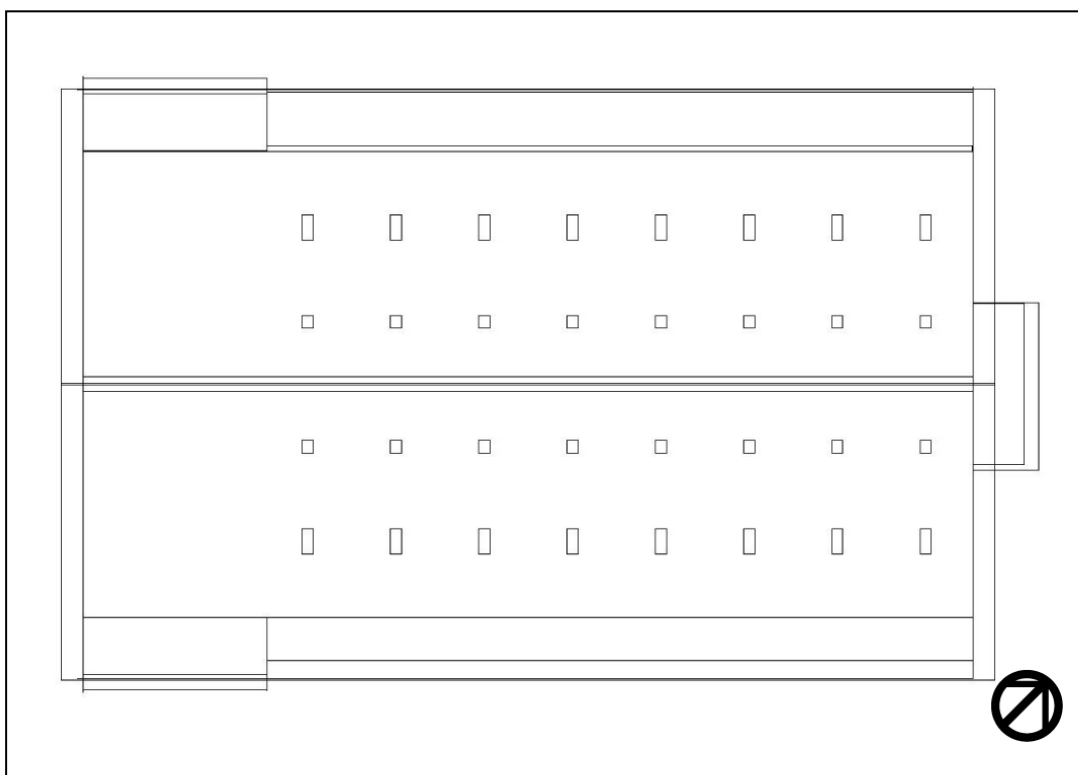


ภาพที่ 29 แสดงอาคารพื้นฐานที่จำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance

การศึกษาอาคารพื้นฐาน (ภาพที่ 29) เป็นการศึกษาอาคารก่อนการปรับปรุงโดยเสนอเป็น ความส่องสว่าง ความส่องสว่างเฉลี่ย (E_{average}) และความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ($E_{\text{minimum}}/E_{\text{average}}$) โดยวัดที่ระดับพื้น ในเวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00น. ในวันที่ 21 ธันวาคม มีนาคม กันยายน และมิถุนายน



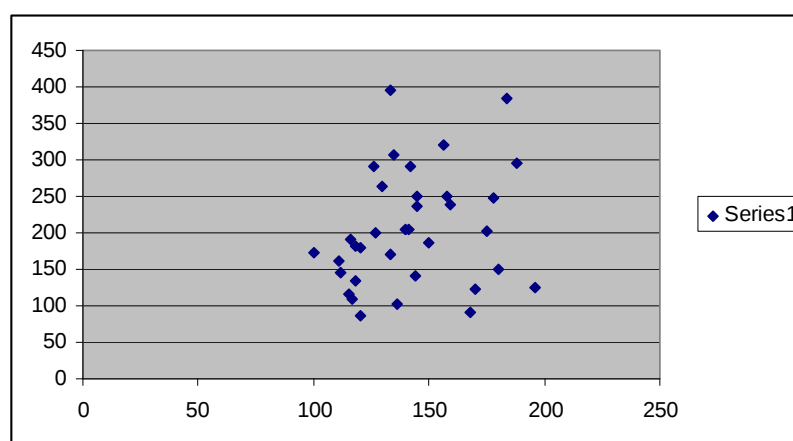
ภาพที่ 30 แสดงรายละเอียดและองค์ประกอบของอาคารพื้นฐาน



ภาพที่ 31 ฝั่งหลังคาของอาคารตัวอย่าง

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Desktop radiance ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

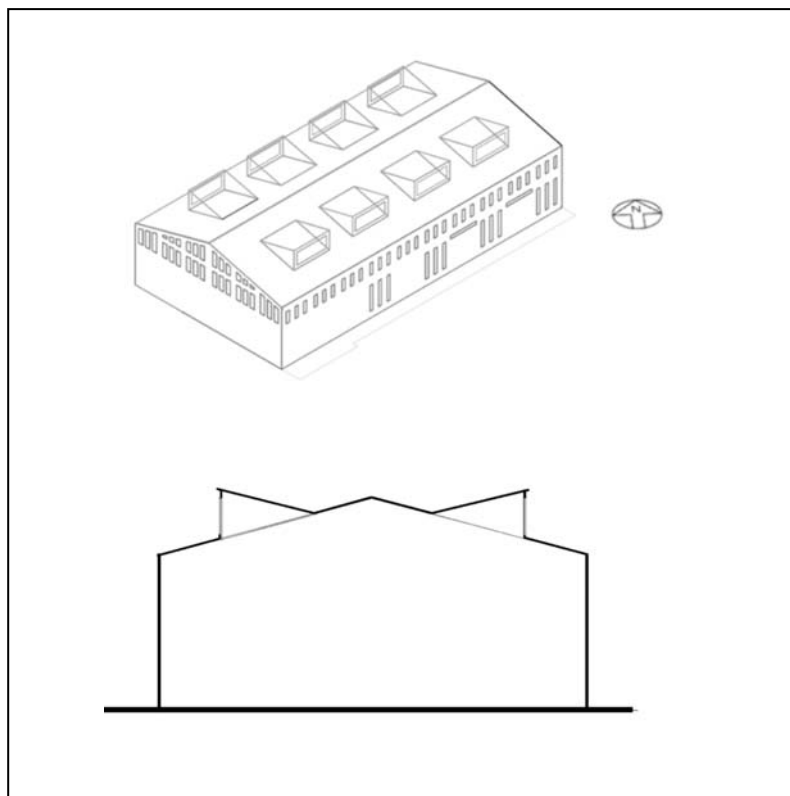
ตำแหน่งวัดแสงใน แกน X	1	2	3	4	5
ความส่องสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	237	156	148	182	295



ภาพที่ 33 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่วัดจากอาคารพื้นฐานและความส่องสว่างที่จำลองจากโปรแกรม Desktop radiance

จากตารางที่ 5 และ 6 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันพบว่า ค่าความส่องสว่างที่วัดจากอาคารพื้นฐานและค่าความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมมีค่าต่างกัน ในแถวที่ 1 และ 5 ในแถวที่ 2, 3 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 33 ในตำแหน่งที่มีค่าแตกต่างกันเกิดขึ้นได้เพราะในขณะที่ทำการวัดค่าความส่องสว่างด้วยเครื่องมือลักซ์มิเตอร์ เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาปกคลุมบางส่วน และในอาคารพื้นฐานมีฝุ่นละอองเนื่องจากการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน

การปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนอาคารแบบที่ 1 แบบ Clerestory

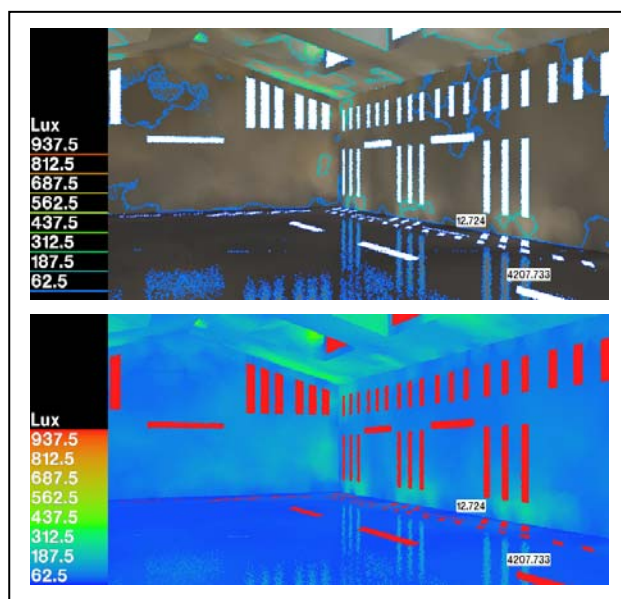


ภาพที่ 34 รูปแบบหลังคาแบบ Clerestory

การปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนอาคารแบบ Clerestory ทำการเจาะช่องเปิดจำนวน 8 ตำแหน่งบนหลังคาโครงสร้างเดิม วัสดุของช่องแสง คือ กระดาษลามิเนตสีใส ความหนา 3 มิลลิเมตร ค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) อยู่ที่ 55.10% หลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่สีเทา มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 25% ใต้หลังคาไม่ตีฝ้าเพดาน ตัวอาคารเป็นก่ออิฐบล็อกจากสีเบจมีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 47% พื้นเป็นคอนกรีตขัดมันสีเทา ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 18%

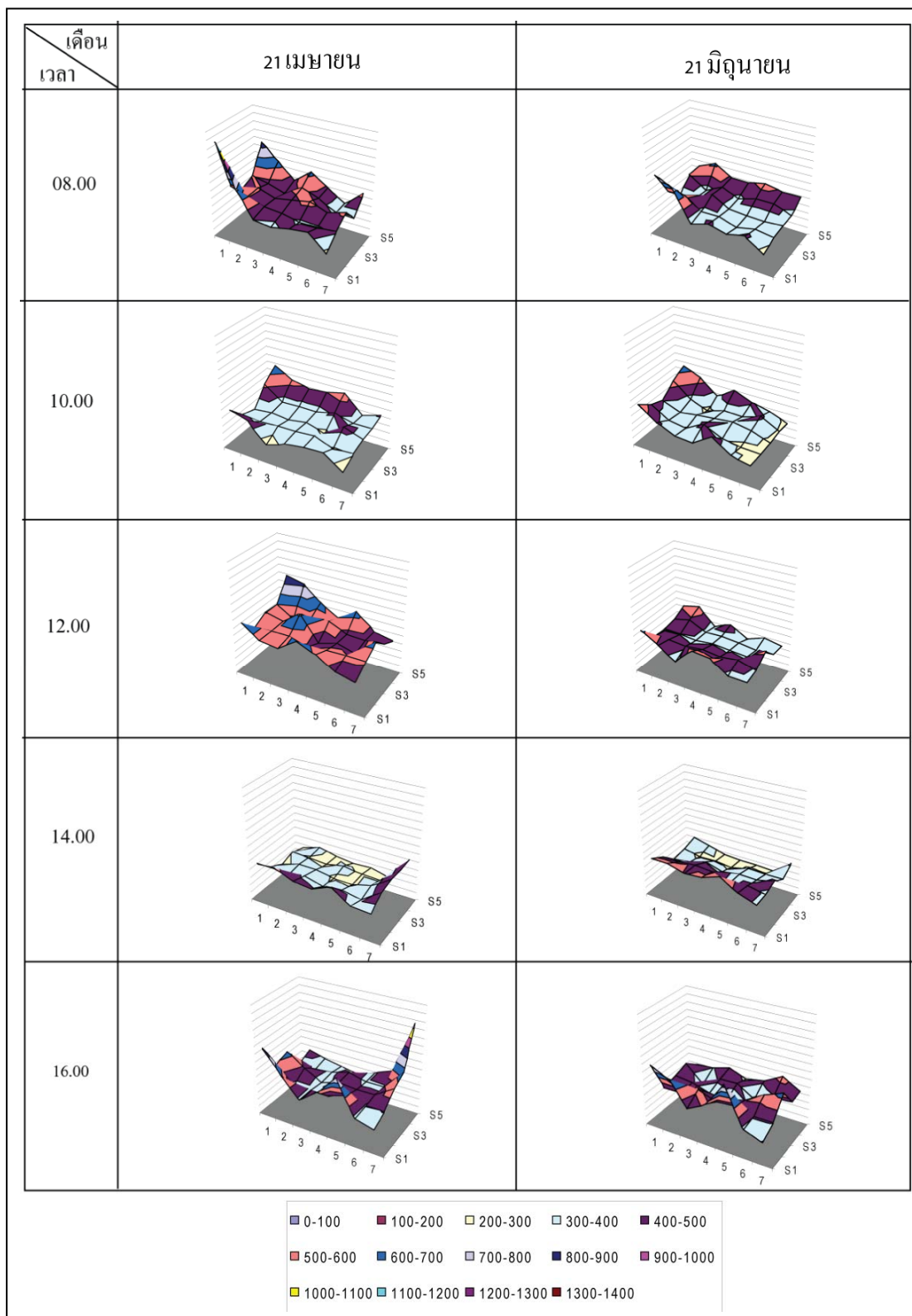


ภาพที่ 35 แสดงลักษณะของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารแบบที่1 (Clerestory)
21 กันยายน 10.00 น.

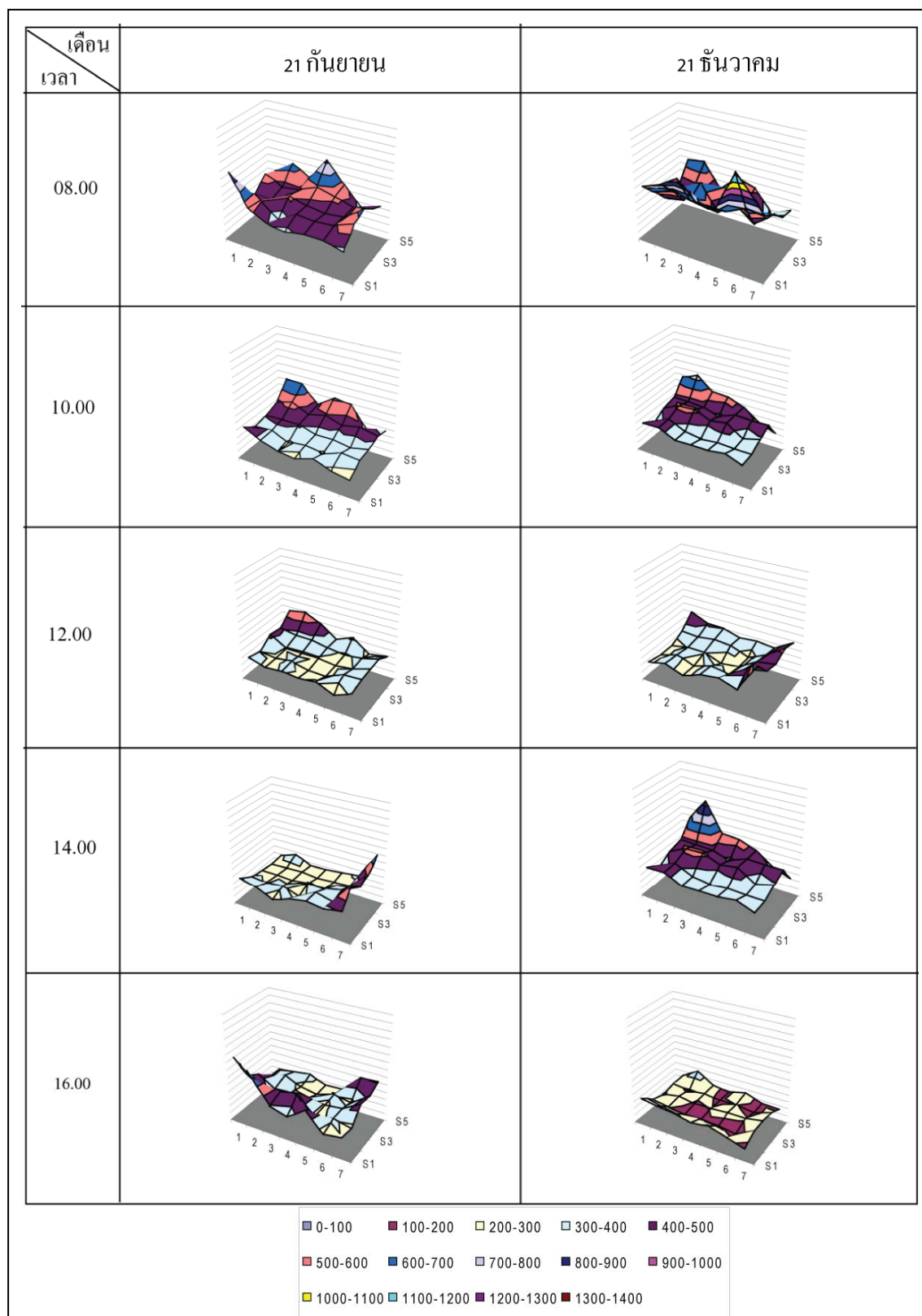


ภาพที่ 36 แสดงตัวอย่างบางส่วนของผลการจำลองอาคารแบบที่1 (Clerestory) ด้วยโปรแกรม
Desktop radiance 21 กันยายน 10.00 น.

ตารางที่ 7 แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Clerestory เดือนเมษายน และเดือน มิถุนายนในช่วงเวลาต่าง ๆ



ตารางที่ 8 แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Clerestory เดือนกันยายนและเดือน ธันวาคมในช่วงเวลาต่าง ๆ



ตารางที่ 9 แสดงค่า Light uniformity (Emin/Eave) Clerestory type

เวลา เดือน	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	เฉลี่ย
เมษายน	0.56	0.58	0.74	0.66	0.62	0.62
มิถุนายน	0.58	0.69	0.70	0.61	0.61	
กันยายน	0.64	0.67	0.62	0.68	0.64	
ธันวาคม	0.35	0.51	0.62	0.67	0.67	

พบว่า หลังจากการปรับปรุง สามารถเพิ่มค่าความเข้มแสงได้จนเกือบเท่ากับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ที่ 500 ลักซ์ (ตารางที่ 30-33) ทั้งนี้ยังมีบางตำแหน่งที่ค่าความส่องสว่างของแสงยังไม่เพียงพอ เช่น ในเดือนธันวาคมเวลา 12.00 น. และ 16.00 น. จะเป็นช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างของแสงต่ำที่สุด คือ เฉลี่ยประมาณ 200 ลักซ์

เมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง พบว่า หลังการปรับปรุงทำให้ความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.62 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่สำหรับสนามกีฬาเพื่อเล่นและฝึกซ้อม ต้องมีค่าความสม่ำเสมอไม่น้อยกว่า 0.5

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าความถูกต้องของแสง เนื่องด้วยเป็นการใช้แสงธรรมชาติ ทำให้มีค่าความถูกต้องของแสงดี ไม่ทำให้สียภายในอาคารผิดเพี้ยน

สรุปข้อดีของหลังคารูปแบบ Clerestory

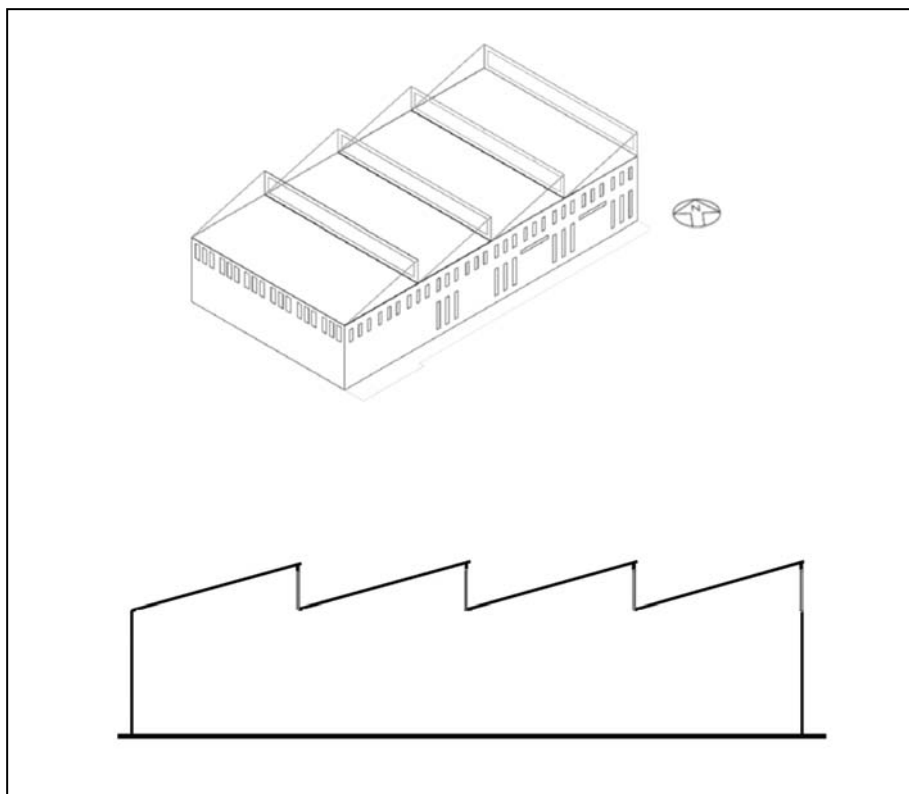
1. แสงที่ได้จะเป็นแสง Indirect light ไม่ส่องลงมาในอาคารโดยตรง ทำให้แสงที่ได้มีความนุ่มนวลความสบายตา และไม่เกิดแสงบาดตา หรือเงสะท้อนบนพื้นอาคาร
2. หลังการปรับปรุงแล้วก็ได้ค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานที่กำหนด
3. การปรับปรุงสามารถทำได้ง่าย ไม่เปลี่ยนรูปแบบของโครงสร้างหลังคามากนัก
4. หลังการปรับปรุงมีความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น

สรุปข้อเสียของหลังคารูปแบบ Clerestory

1. เนื่องจากเปิดช่องรับแสงเพียงสองด้าน อาจจะทำให้ใช้แสงธรรมชาติได้ไม่เต็มศักยภาพ
2. บางช่วงเวลาค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

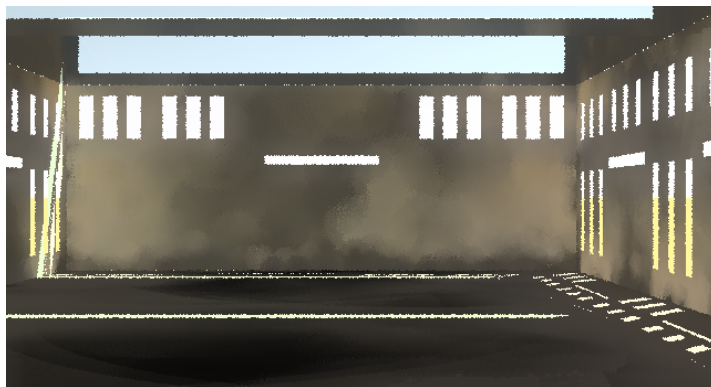
ถึงแม้หลังคาแบบ Clerestory นั้น จะมีข้อดีหลายประการ แต่ก็ยังพบข้อบกพร่องอยู่ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงทดลองตัวเลือกอื่นๆ เช่น หลังคาแบบ Sawtooth

การปรับปรุงช่องแสงด้านบนอาคารแบบที่ 2 แบบ Sawtooth

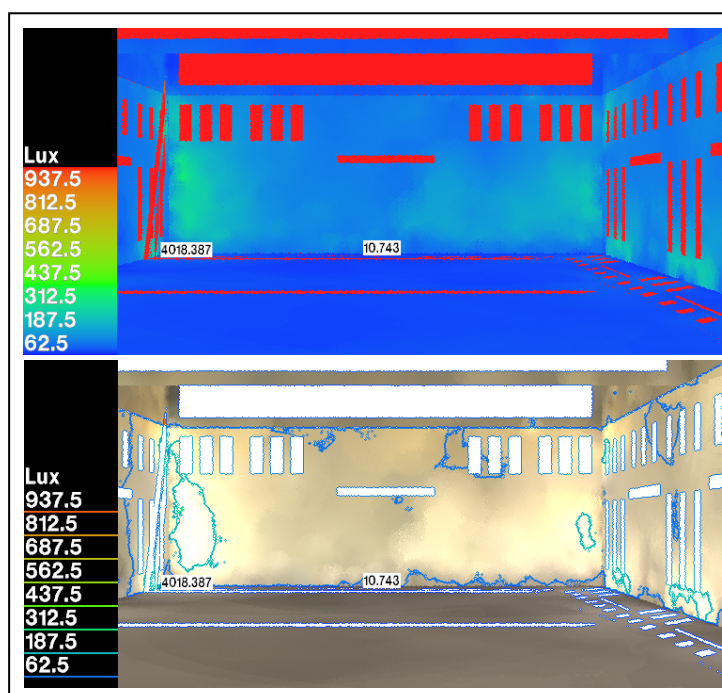


ภาพที่ 37 แสดงรูปแบบหลังคาแบบ Sawtooth

การปรับปรุงช่องแสงบนหลังคาแบบ Sawtooth จะทำการเปลี่ยนรูปแบบของหลังคาให้มีลักษณะคล้ายฟันเลื่อยจำนวน 4 แถว และเปิดช่องแสงตามขวางของแต่ละแถว ให้เต็มพื้นที่ วัสดุที่ใช้คือ กระดาษลามิเนตสีใส ความหนา 3 มิลลิเมตร ค่าส่องผ่านของแสง (Transmittance) อยู่ที่ 55.10% หลังคากระเบื้องลอนคู่สีเทา มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 25% ใต้หลังคาไม้ดีฝา และตัวอาคารเป็น โครงสร้างอิฐบล็อกทาสีเบจ มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 47% พื้นเป็นคอนกรีตขัดมันสีเทา มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 18%

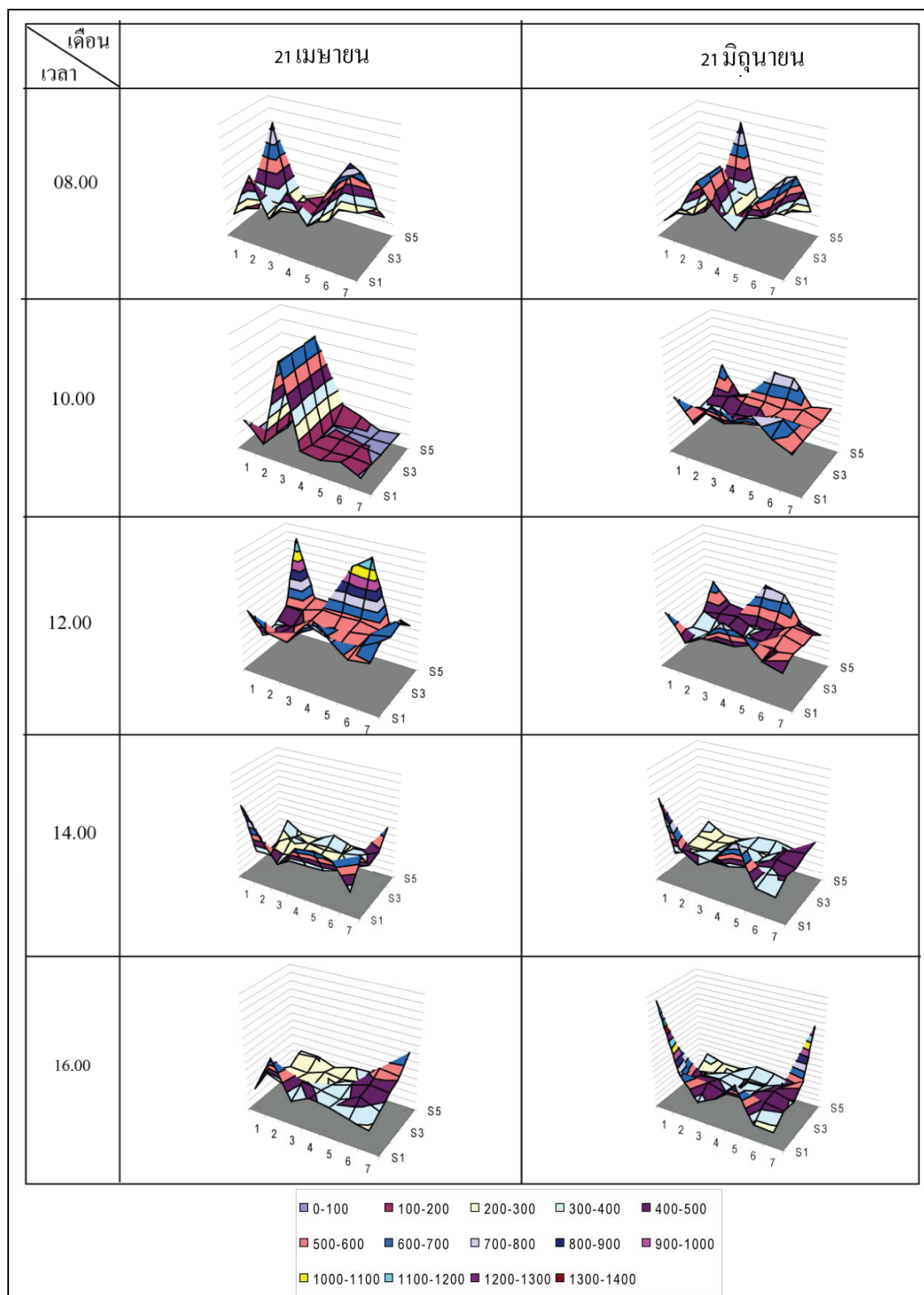


ภาพที่ 38 แสดงลักษณะของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารแบบที่2 (Sawtooth)
21 กันยายน 10.00 น.

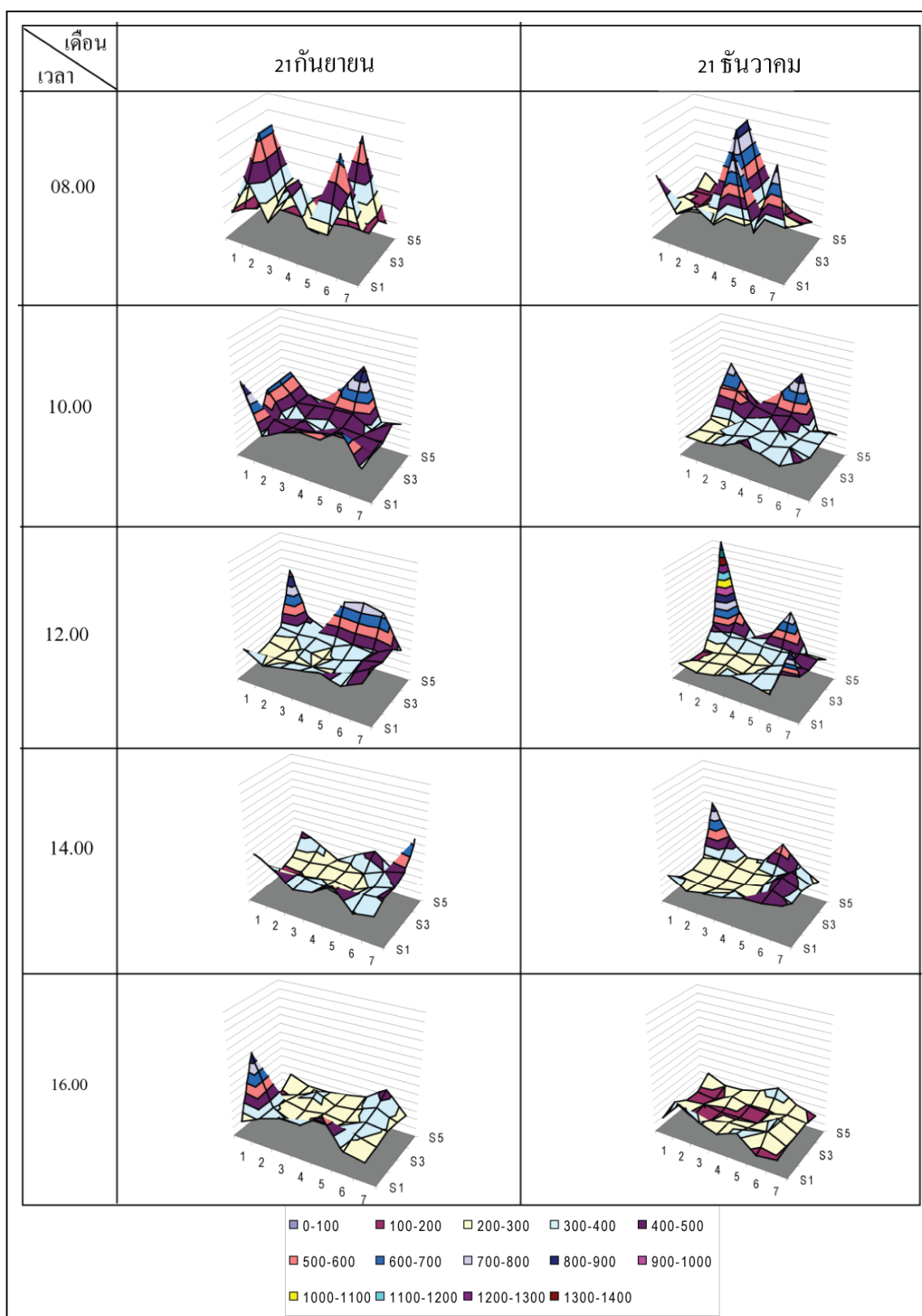


ภาพที่ 39 แสดงตัวอย่างบางส่วนของผลการจำลองอาคารแบบที่ 2 (Sawtooth) ด้วยโปรแกรม
Desktop radiance 21 กันยายน 10.00 น.

ตารางที่ 10 แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Sawtooth เดือนเมษายน และเดือน มิถุนายนในช่วงเวลาต่าง ๆ



ตารางที่ 11 แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Sawtooth เดือนกันยายน และเดือน
ธันวาคมในช่วงเวลาต่าง ๆ



ตารางที่ 12 แสดงค่า light uniformity (Emin/Eave) Sawtooth type

เวลา เดือน	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	เฉลี่ย
เมษายน	0.32	0.38	0.51	0.58	0.57	0.52
มิถุนายน	0.32	0.65	0.59	0.64	0.40	
กันยายน	0.34	0.66	0.66	0.53	0.55	
ธันวาคม	0.36	0.62	0.55	0.64	0.60	

พบว่า หลังจากการปรับปรุงสามารถเพิ่มความเข้มแสงได้มากขึ้นเฉลี่ย 356 ลักซ์จากแบบพื้นฐาน แต่อาจจะเกิดปัญหาความไม่สบายตาเกิดขึ้นเนื่องจากบางช่วงของวัน เช่น ในเวลา 10.00 น. จะเกิดแสงตกกระทบบนพื้นโดยตรงทำให้เกิดเป็นแสงสะท้อนพื้นที่สว่างมาก ความแตกต่างระหว่างบริเวณที่สว่างมากและบริเวณที่มีดออาจทำให้เกิดแสงแยงตา (Glare) ทำให้เป็นปัญหาในการใช้อาคารได้

เมื่อพิจารณาถึงค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่าง พบว่า หลังการปรับปรุงทำให้มีความสม่ำเสมอเฉลี่ยอยู่ที่ 0.52 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

พิจารณาการให้ความถูกต้องของแสง เนื่องจากบางช่วงเช่นในเวลา 16.00 น. ของเดือนธันวาคม จะมีค่าความส่องสว่างของแสงต่ำ อาจจะต้องใช้แสงประดิษฐ์ร่วมด้วยทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และอาจเกิดการผิเคี้ยนของสีที่เกิดจากค่า CRI (Colour Rendering Index) ของแสงประดิษฐ์ได้ ค่า CRI เป็นค่าดัชนีความถูกต้องของสีของวัตถุเมื่อกระทบกับแสงแล้วสะท้อนกลับเข้าตามนุษย์ ถ้ายังมีค่ามากก็จะมีสีที่ถูกต้อง ในแสงธรรมชาติ มีค่า CRI เท่ากับ 100เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น หลอดดิสชาร์จที่นิยมใช้เพื่อให้แสงสว่างแก่สนามกีฬาจะมีค่า CRI ที่ต่ำเช่นหลอดเมทัลฮาไลด์จะให้ค่า CRI ที่ 60 ทำให้สีของวัตถุผิดเพี้ยนได้ ส่วนหลอดที่ให้ค่า CRI สูง โดยส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficacy) ต่ำกว่า

สรุปข้อดีของหลังคาแบบ Sawtooth

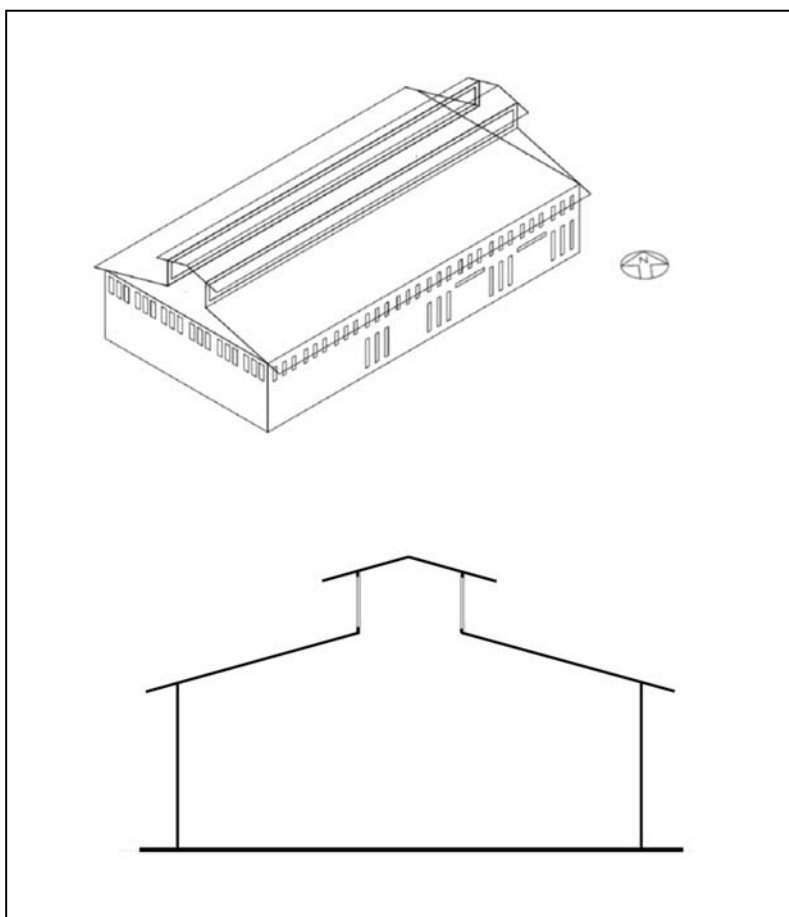
1. มีช่องแสงที่มีขนาดยาว ทำให้สามารถเปิดรับแสงธรรมชาติได้มากกว่า
2. หลังการปรับปรุงสามารถเพิ่มความส่องสว่างของแสงได้
3. หลังการปรับปรุงมีความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น

สรุปข้อเสียของหลังคาแบบ Sawtooth

1. ช่องแสงเปิดรับแสงได้ด้านเดียว ทำให้ใช้ศักยภาพของแสงธรรมชาติได้ไม่เต็มที่
2. การปรับปรุงอาคารหอ โครงสร้างหลังคาเดิม ทำให้สิ้นเปลือง
3. เกิดแสงส่องลงพื้นโดยตรง ทำให้เกิดปัญหาแสงบาดตาเกิดขึ้น
4. ความส่องสว่างที่ได้หลังปรับปรุงเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

การปรับปรุงช่องแสงรูปแบบ Sawtooth จะมีข้อดีคือเพิ่มความส่องสว่างในอาคารได้ดี เทียบเท่ากับ หลังคาแบบ Clerestories แต่มีข้อเสียที่มากกว่า ดังนั้นจึงทำการทดสอบเพิ่มเติม โดยใช้หลังคาแบบ Two-story

การปรับปรุงช่องแสงด้านบนอาคารแบบที่ 3 แบบ Two-story

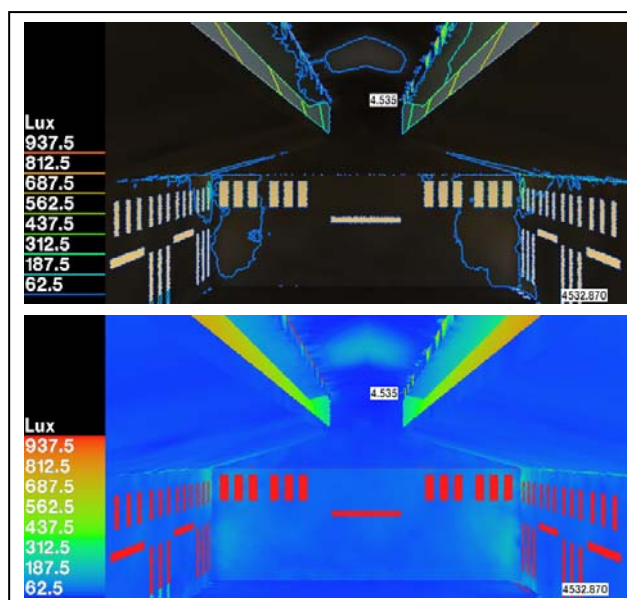


ภาพที่ 40 แสดงรูปแบบหลังคาแบบ Two-story

การปรับปรุงหลังคาแบบ Two-story คือเป็นหลังคาชั้นสูงขึ้นไปจากหลังคาโครงสร้างเดิม ทำการเจาะช่องแสงตามแนวยาวของชั้นหลังคา ตลอดแนว วัสดุช่องแสง คือ กระจกลามิเนตใส หนา 3 มิลลิเมตร ค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) อยู่ที่ 55.10% วัสดุหลังคา คือ กระเบื้องลอนคู่สีเทา มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 25% ได้หลังคาไม่ตีฝ้า โครงสร้างอาคารก่ออิฐบล็อกจากทาสีเบจมีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 47% พื้นเป็นคอนกรีตขัดมันสีเทา มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 18%

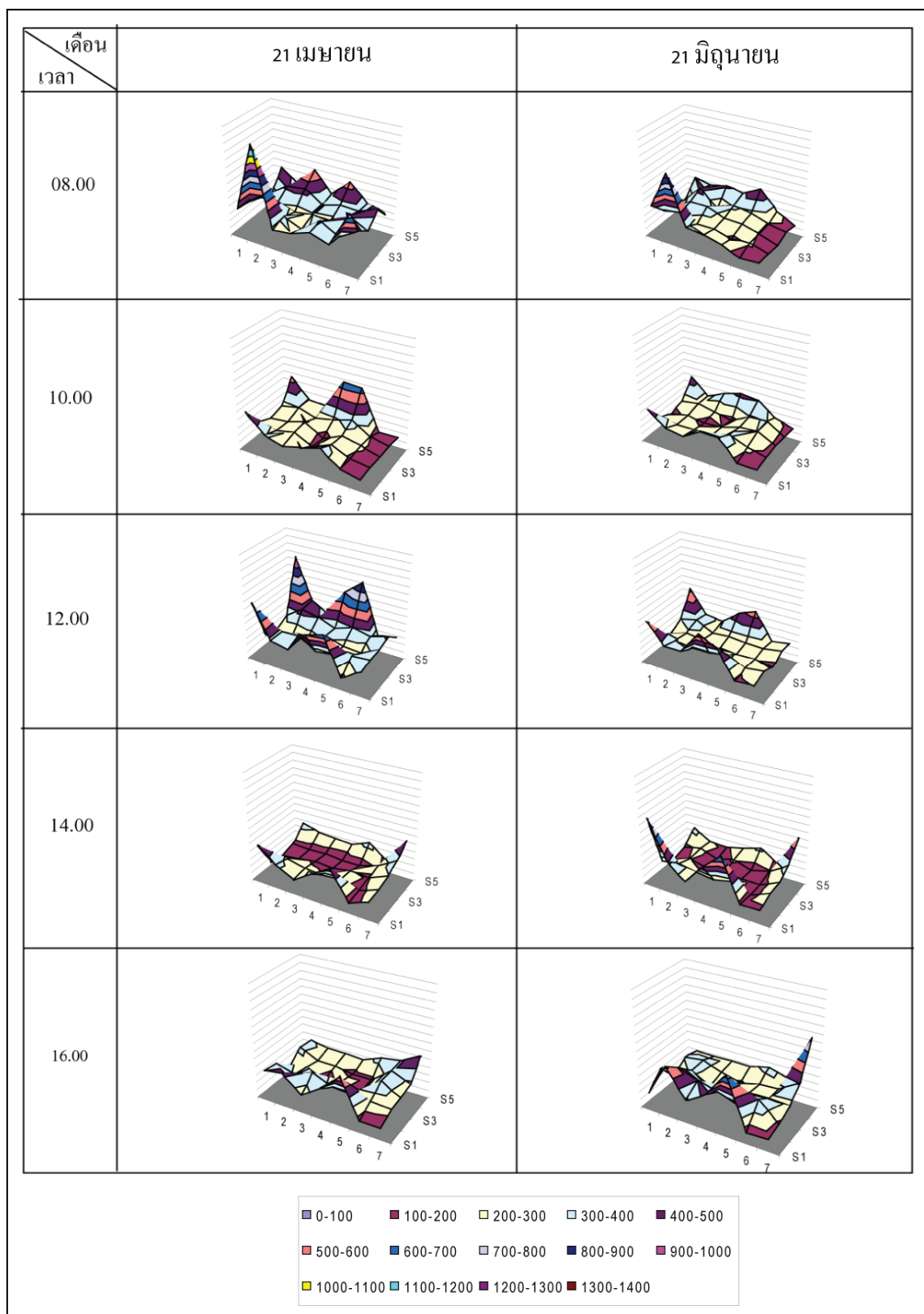


ภาพที่ 41 แสดงลักษณะแสงที่เกิดภายในอาคารแบบที่ 3 (Two-story) 21 กันยายน 10.00 น.

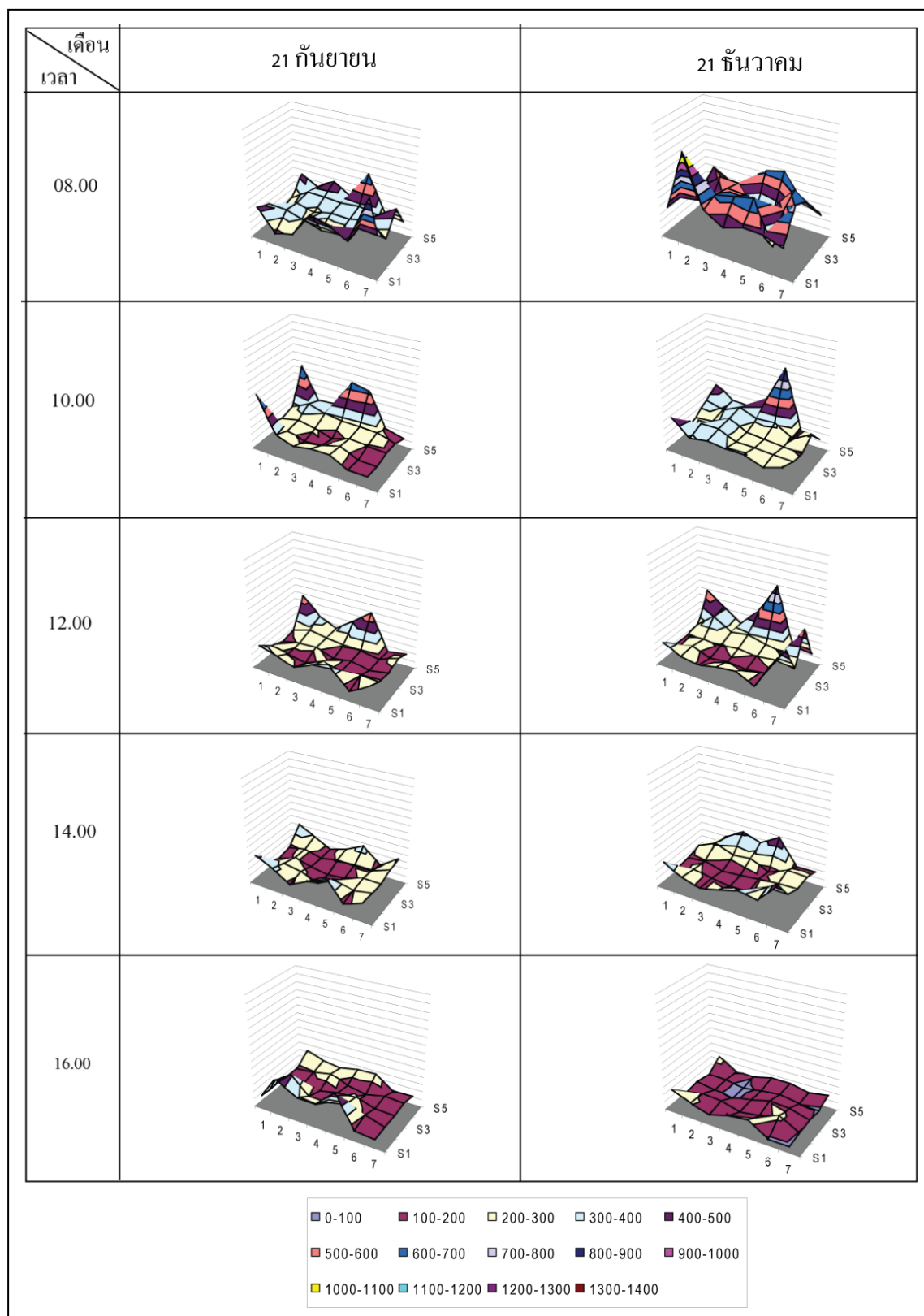


ภาพที่ 42 แสดงตัวอย่างบางส่วนผลการจำลองอาคารแบบที่ 3 (Two-story) ด้วยโปรแกรม Desktop Radiance 21 กันยายน 10.00 น.

ตารางที่ 13 แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Two-story เดือนเมษายน และเดือน มิถุนายนในช่วงเวลาต่าง ๆ



ตารางที่ 14 แสดงค่าความส่องสว่างของแสงของหลังคาแบบ Two-story เดือนกันยายน และเดือน ธันวาคมในช่วงเวลาต่าง ๆ



ตารางที่ 15 แสดงค่า Light uniformity (Emin/Eave) Twostory type

เดือน \ เวลา	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	เฉลี่ย
เมษายน	0.54	0.44	0.42	0.56	0.49	0.46
มิถุนายน	0.38	0.54	0.57	0.51	0.45	
กันยายน	0.42	0.38	0.52	0.49	0.45	
ธันวาคม	0.35	0.40	0.42	0.47	0.53	

พบว่า หลังจากการปรับปรุง ค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 500 ลักซ์ อาจจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องความสว่างไม่เพียงพอต่อการทำกิจกรรมในบางช่วง เช่น ในช่วงเดือนธันวาคม ตั้งแต่เวลา 14.00-16.00 น. เป็นต้น

เมื่อพิจารณาเรื่องความสม่ำเสมอของแสงสว่างพบว่า มีค่าความสม่ำเสมอเฉลี่ยอยู่ที่ 0.46 ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 0.5

พิจารณาถึงค่าความถูกต้องของแสง เนื่องจากแสงธรรมชาติที่ใช้มีค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ จึงต้องใช้แสงประดิษฐ์ร่วมด้วยทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และอาจเกิดปัญหาความผิดเพี้ยนของสีที่เกิดจากค่า CRI ของแสงประดิษฐ์ได้

สรุปข้อดีของหลังคาแบบ Two-story

1. เปิดช่องแสงตลอดแนวหลังคา ทำให้ได้รับแสงมากกว่า
2. แสงที่เข้ามาเป็นแสง Indirect light ทำให้ไม่เกิดปัญหาแสงบาดตา
3. หลังการปรับปรุงสามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างของแสงได้ เช่น ในช่วงเดือนเมษายน เพิ่มขึ้นประมาณ 100-200 ลักซ์

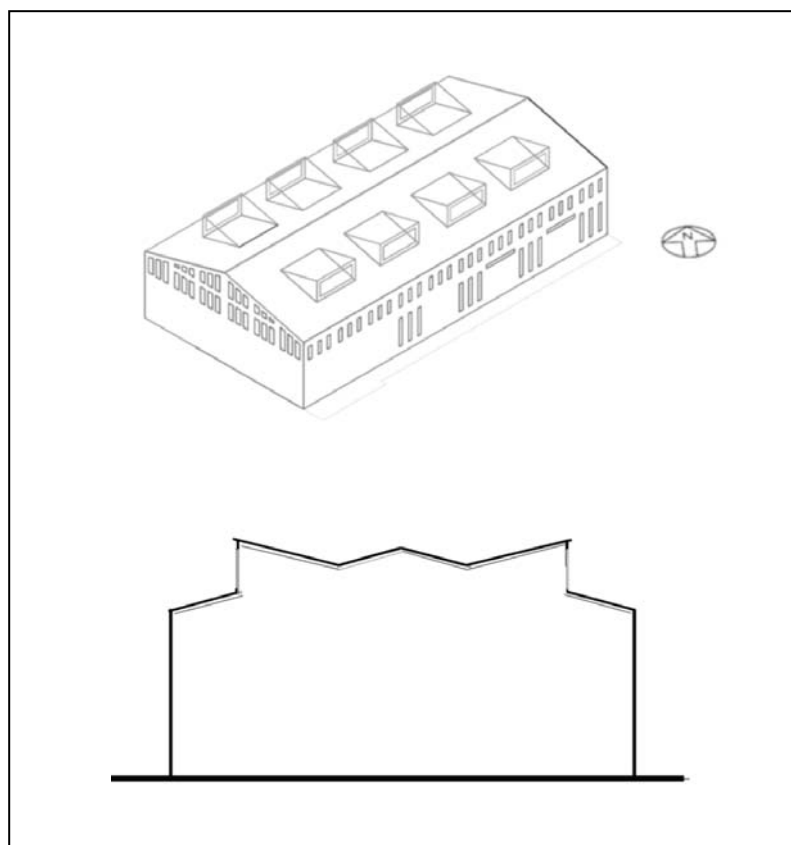
สรุปข้อเสียของหลังคาแบบ Two-story

1. แสงที่ได้มีความส่องสว่างไม่เพียงพอ และไม่เป็นไปตามเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด
2. ความสม่ำเสมอของแสงที่ได้หลังการปรับปรุง ไม่สม่ำเสมอ
3. การปรับปรุงอาจจะกระทบโครงสร้างของอาคารเดิม ทำให้สิ้นเปลือง

การปรับปรุงหลังคาในรูปแบบ Two-story นั้นถึงแม้จะเพิ่มความส่องสว่างของแสงได้ แต่ทั้งนี้ก็ยังไม่เพียงพอตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และแสงที่เข้ามาในบางช่วงเวลาก็ทำให้เกิดปัญหาแสงแยงตาเกิดขึ้นได้

ดังนั้น จากการทดลองที่ปรับเปลี่ยนช่องแสงทางด้านบนหลังคาทั้ง 3 รูปแบบจึงแนะนำรูปแบบหลังคาแบบที่ 1 คือ แบบ Clerestory ซึ่งมีสภาพแสงสว่างที่เหมาะสมกว่ารูปแบบอื่นมาพัฒนาในส่วนของการเพิ่มวัสดุสะท้อนแสงภายในอาคารเพื่อให้มีสภาพแสงสว่างที่ดียิ่งขึ้น

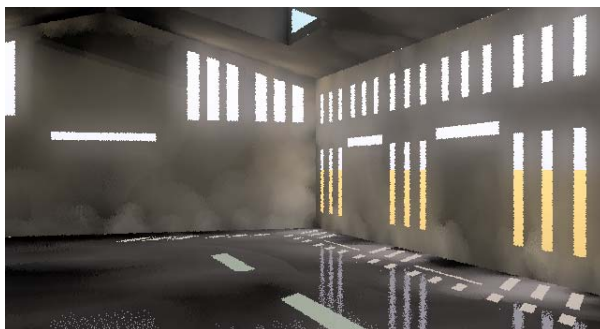
การพัฒนาหลังคาแบบ Clerestory ด้วยการเพิ่มวัสดุฝ้าเพดานที่มีการสะท้อนแสง 75 เปอร์เซ็นต์



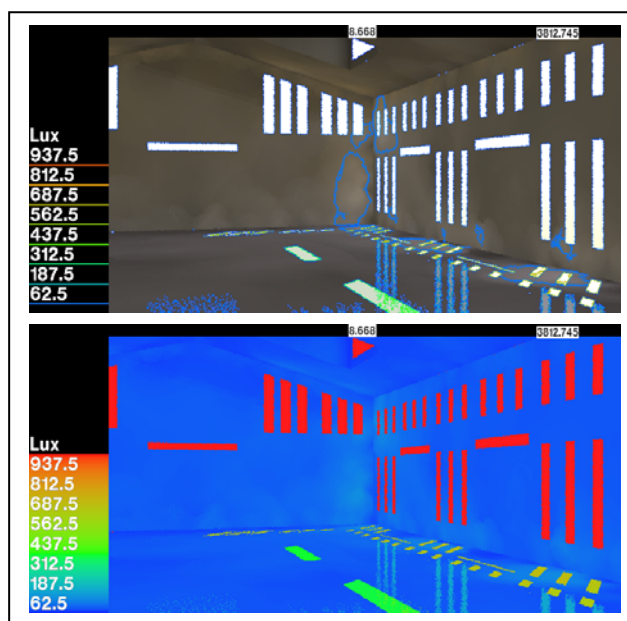
ภาพที่ 43 แสดงรูปแบบหลังคาแบบ Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 75 เปอร์เซ็นต์

ปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนอาคารแบบ Clerestory ทำการเจาะช่องเปิดจำนวน 8 ตำแหน่งบนหลังคาโครงสร้างเดิม วัสดุของช่องแสงคือ กระฉก ลามิเนตสีใส ความหนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่ใช้อยู่เดิมของอาคารพื้นฐาน ค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) อยู่ที่ 55.10% หลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่สีเทา มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 25% ได้หลังคาติฝ้าเพดานด้วยวัสดุแผ่นฝ้าไวน์ลีสขาว (จำลองในโปรแกรม Desktop Radiance ด้วยวัสดุ

สี White) ที่มีค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) เท่ากับ 75 เปอร์เซนต์ ตัวอาคารเป็นก่ออิฐบล็อก ทาสีเบจมีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 47% พื้นเป็นคอนกรีตขัดมันสีเทามีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 18%



ภาพที่ 44 แสดงลักษณะแสงที่เกิดขึ้นภายในอาคารแบบที่ 4 แบบ Clerestory ด้วยการเพิ่มวัสดุฝ้าเพดาน 21 กันยายน 10.00 น.



ภาพที่ 45 แสดงผลการจำลองอาคารรูปแบบที่ 4 Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 75 เปอร์เซนต์ 21 กันยายน 10.00 น.

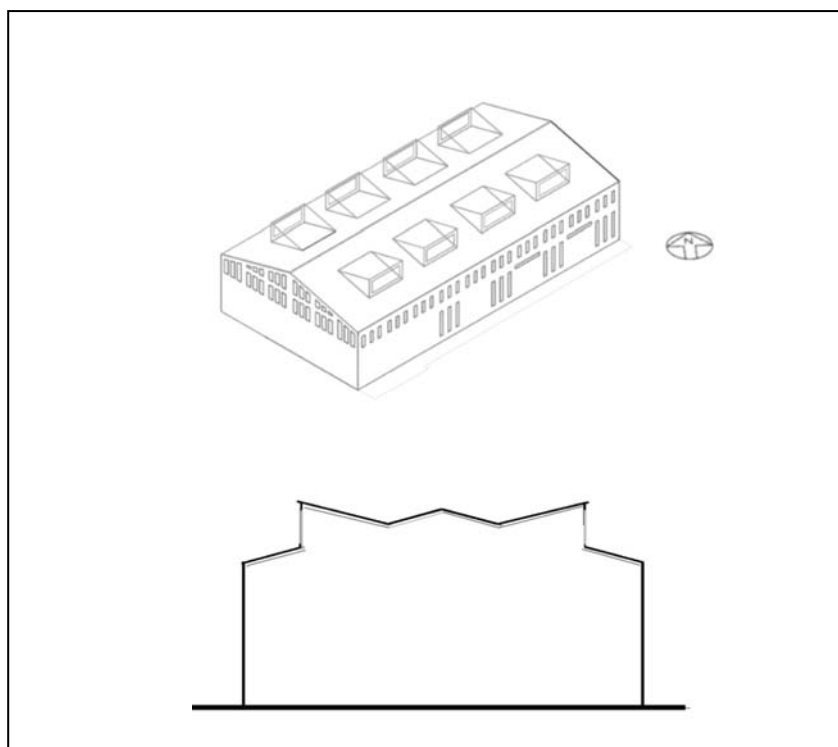
ตารางที่ 16 ค่า Light uniformity (Emin/Eave) Clerestory type แบบเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 75 เปอร์เซนต์

เวลา เดือน	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	เฉลี่ย
เมษายน	0.67	0.58	0.72	0.53	0.59	0.6
มิถุนายน	0.58	0.71	0.70	0.61	0.61	
กันยายน	0.64	0.58	0.65	0.73	0.64	
ธันวาคม	0.48	0.51	0.63	0.50	0.60	

จากการพัฒนาหลังคาแบบเดิมด้วยการเพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงจะทำให้อาคารมีค่าความส่องสว่างของแสงเพิ่มมากขึ้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน และมีค่าความสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดผลดีต่อผู้ใช้อาคารในการเรียนการสอน ทั้งนี้ การพัฒนาช่องแสงบนหลังคาแบบ Clerestory โดยเพิ่มวัสดุฝ้าเพดานนั้นสามารถจะพัฒนาต่อไปได้อีกโดยการเลือกใช้วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงที่สูงขึ้น ดังจะได้ทำการศึกษาในรูปแบบถัดไป

การพัฒนาหลังคาแบบ Clerestory ด้วยการเพิ่มวัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงมากขึ้น

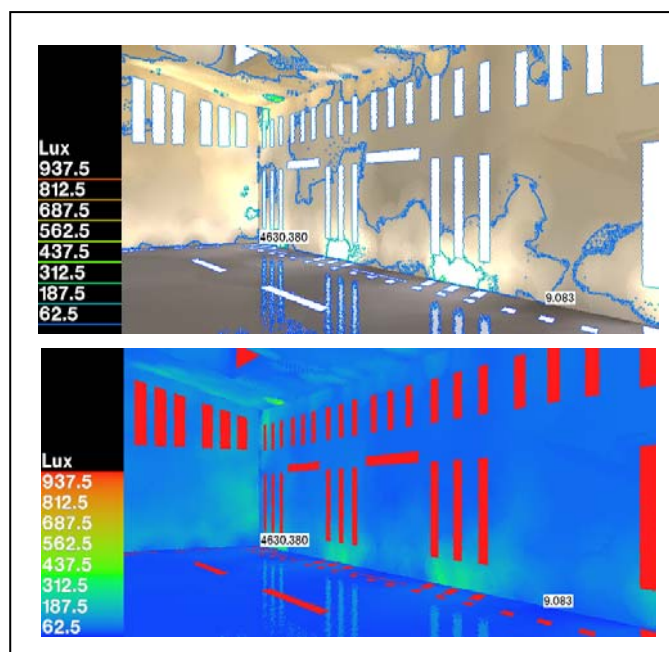
ปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนอาคารแบบ Clerestory ทำการเจาะช่องเปิดจำนวน 8 ตำแหน่งบนหลังคาโครงสร้างเดิม วัสดุของช่องแสง คือ กระจก ลามิเนตสีใส ความหนา 3 มิลลิเมตร ค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) อยู่ที่ 55.10% หลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่สีเทามีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 25% ได้หลังคาฝ้าเพดานด้วยวัสดุแผ่นฝ้าไวท์ลีสขาว (จำลองในโปรแกรม Desktop Radiance ด้วยวัสดุ สี White) ที่มีค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) เท่ากับ 86% ตัวอาคารเป็นก่ออิฐบล็อก ทาสีเบจมีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 47% พื้นเป็นคอนกรีตขัดมันสีเทามีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) อยู่ที่ 18%



ภาพที่ 46 แสดงรูปแบบหลังคาแบบ Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง



ภาพที่ 47 แสดงลักษณะแสงในอาคารรูปแบบที่ 5 แบบ Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 86 เปอร์เซนต์ 21 กันยายน 10.00 น.

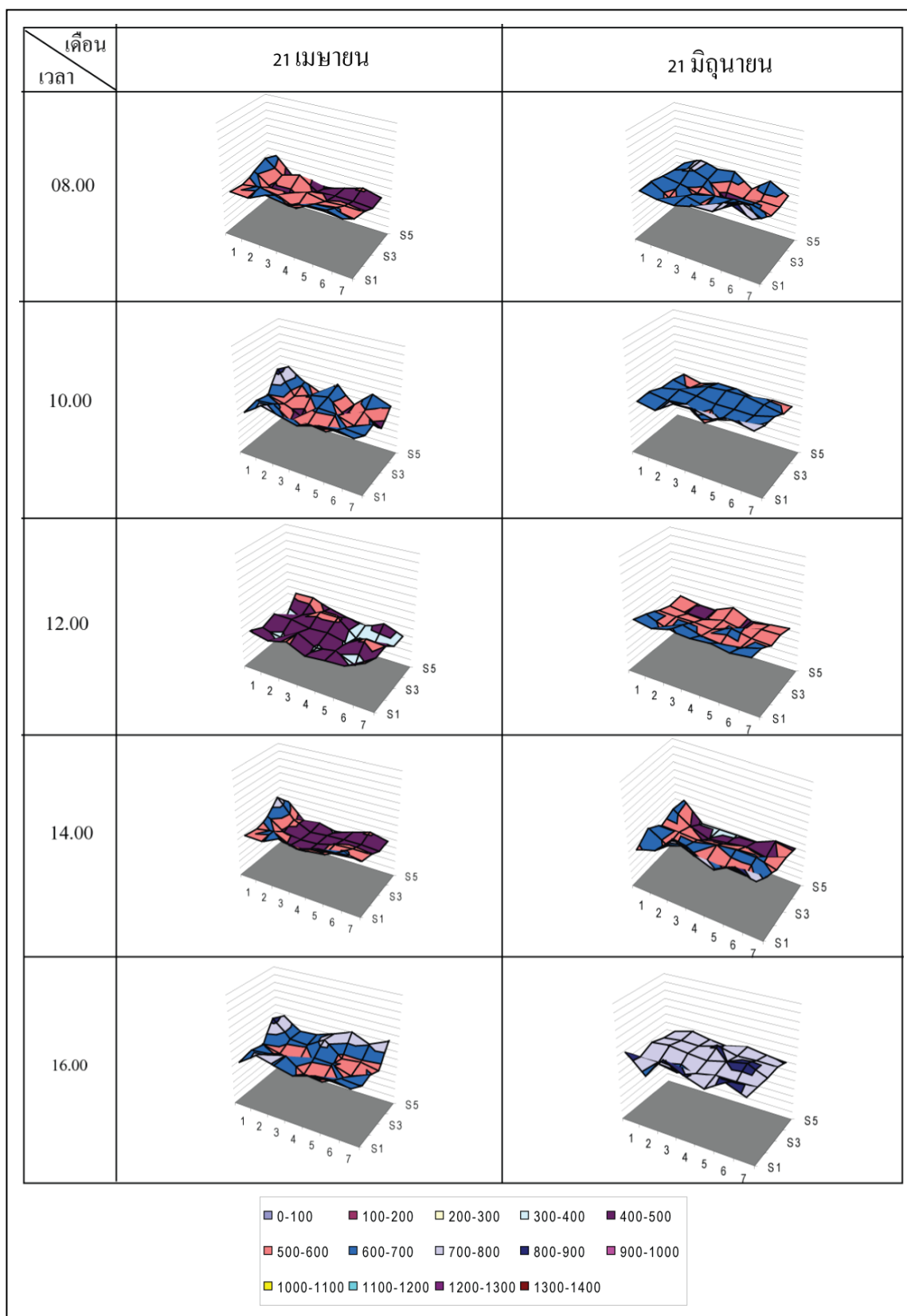


ภาพที่ 48 แสดงผลการจำลองอาคารแบบที่ 5 แบบ Clerestory เมื่อทำการเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 86 เปอร์เซ็นต์ 21 กันยายน 10.00 น.

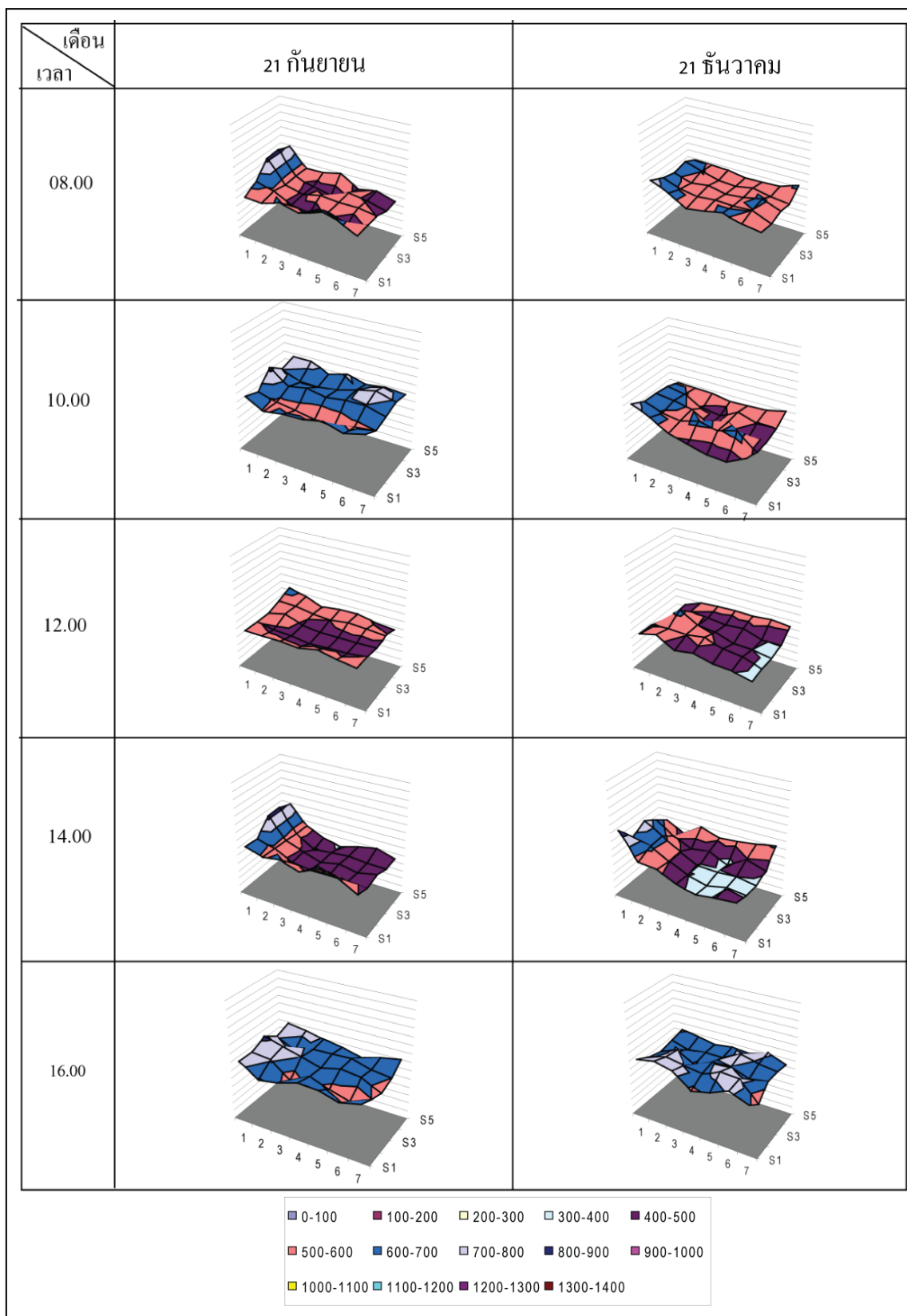
ตารางที่ 17 แสดงค่า Light Uniformity (Emin/Eave) Clerestory Type แบบเพิ่มวัสดุฝ้าที่มีการสะท้อนแสง 86 เปอร์เซ็นต์

เวลา เดือน	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	เฉลี่ย
เมษายน	0.78	0.84	0.80	0.70	0.62	0.8
มิถุนายน	0.74	0.69	0.84	0.60	0.71	
กันยายน	0.69	0.72	0.80	0.59	0.69	
ธันวาคม	0.85	0.71	0.64	0.57	0.77	

ตารางที่ 18 แสดงค่าความส่องสว่างของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดาน ในช่วงเวลาต่าง ๆ



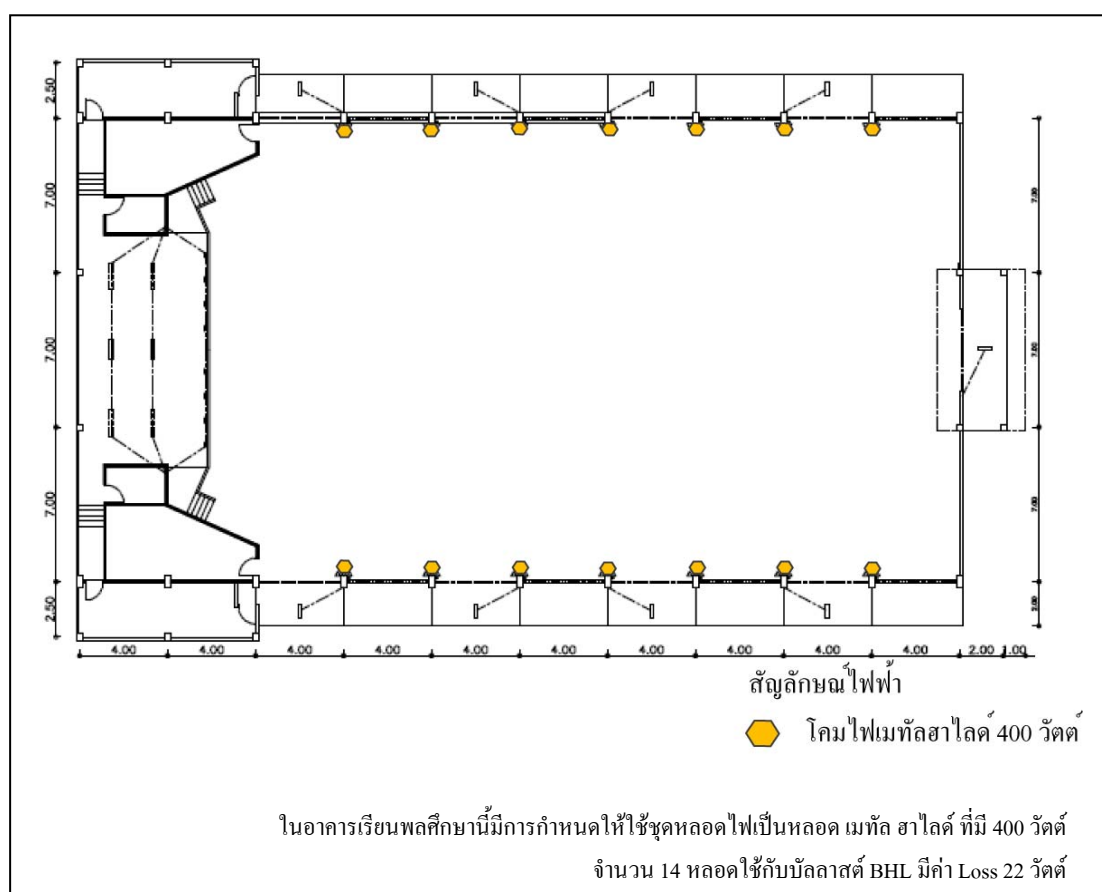
ตารางที่ 19 แสดงค่าความส่องสว่างของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดาน ในช่วงเวลาต่าง ๆ



จากการพัฒนาหลังคาแบบเดิมด้วยการเพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงจะทำให้อาคารมีค่าความส่องสว่างของแสงเพิ่มมากขึ้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ย 756 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดผลดีต่อผู้ใช้อาคารในการเรียนการสอน ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องระวังไม่ให้เกิดแสงจ้าที่อาจจะเกิดขึ้นได้

สำหรับการนำไปพัฒนาเพื่อใช้งานจริงผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่าถ้าอาคารมีการให้แสงจากด้านบนอาคารอย่างเพียงพอแล้ว ก็ไม่จำเป็นจะต้องให้แสงทางด้านข้างของอาคาร เพราะช่องแสงด้านข้างของอาคารอาจจะก่อให้เกิดปัญหาแสงแยงตาต่อผู้ใช้ในอาคารได้ และในกรณีที่แสงธรรมชาติที่ได้รับไม่เพียงพอก็ควรจะเลือกใช้แสงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงานควบคู่กันไปด้วย

การศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการปรับปรุงอาคารตัวอย่าง



ภาพที่ 49 ฟังตำแหน่งดวงโคมไฟฟ้าภายในอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม

การคิดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

การคิดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อคำนวณว่าเมื่อมีการนำแสงธรรมชาติมาใช้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แสงจากโคมไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งการคิดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอาคารเรียนพลศึกษา จำแนกตามประเภทของกิจกรรมของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งอาคารในการศึกษาวิจัยนี้จัดอยู่ในประเภทที่ 6 คือ ส่วนราชการ และองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร คิดอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 1.97 บาท/กิโลวัตต์ (การไฟฟ้านครหลวง 2550) และการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดเมทัลฮาไลด์ 400 วัตต์เท่ากับ 422 วัตต์/หลอด (400 วัตต์ + บัลลาสต์ BHL 22 วัตต์)

การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แบบคิดเต็มพิกัด มีหลักการคิด ดังนี้

ระยะเวลาที่ใช้งาน คือ 08.00 - 16.00 น. ในวันจันทร์ - วันศุกร์

คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า 1,680 ชั่วโมง/ปี

การคิดพลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารพลศึกษาก่อนการปรับปรุง : ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ ในการใช้งานจริง พบว่า ใช้แสงสว่างจากโคมไฟฟ้าประดิษฐ์ในทุกตำแหน่ง 14 หลอด

พลังงานไฟฟ้า (14 หลอด x 422 วัตต์ x 1,680 ชม.) = 9925.44 กิโลวัตต์-ชม./ปี

2. การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารพลศึกษาหลังการปรับปรุง : ใช้แสงสว่างร่วมกับแสงประดิษฐ์ กรณีที่ปรับปรุงด้วยใช้หลังคาแบบ Clerestory เพิ่มวัสดุสะท้อนแสงใต้หลังคาที่มีค่าการสะท้อนแสง 86 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้เกือบทั้งปี ยกเว้นเพียงช่วงเดือนมิถุนายน (พ.ค.-ก.ค.) เวลา 08.00-9.00 น. และ 12.00-14.00 น. และช่วงเดือนกันยายน (ส.ค.-ต.ค.) เวลา 12.00-14.00 น. และในช่วงเดือนธันวาคม (พ.ย.-ม.ค.) เวลา 14.00 - 15.00 น. คิดเป็นระยะเวลา 9 เดือน

ระยะเวลาที่ใช้งานเดือน มิ.ย. 3 ชม. เดือน ก.ย. 2 ชม. เดือน ธ.ค. 1 ชม./วัน

1. ช่วง มิ.ย. (พ.ค.-ก.ค.) 3 ชม./วัน x 5 วัน/สัปดาห์ x 13 สัปดาห์/ปี = 195 ชม.
 2. ช่วง ก.ย. (ส.ค.-ต.ค.) 2 ชม./วัน x 5 วัน/สัปดาห์ x 8 สัปดาห์/ปี = 80 ชม.
 3. ช่วง ธ.ค. (พ.ย.-ม.ค.) 1 ชม./วัน x 5 วันต่อสัปดาห์ x 13 สัปดาห์/ปี = 75 ชม.
- = 350 ชม.

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (14 หลอด x 422 วัตต์ x 390 ชม.) = 2067.80 กิโลวัตต์-ชม./ปี

ในการคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ประกอบด้วย 3 ส่วน

1. ค่าไฟฟ้าฐาน (จำนวนพลังงานไฟฟ้า x อัตราพลังงานไฟฟ้า) + ค่าบริการรายเดือน
2. ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) เท่ากับ 73.42 สตางค์/หน่วย
3. ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 เปอร์เซ็นต์

จากการคำนวณค่าพลังงานข้างต้น พบว่า อาคารเรียนพลศึกษาหลังการปรับปรุงที่มีการใช้แสงธรรมชาติ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงเท่ากับ 7857.64 กิโลวัตต์-ชม./ปี ซึ่งลดลงเท่ากับ 79.16 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดค่าไฟฟ้าเท่ากับ 22,025.27 บาท/ปี

ตารางที่ 20 ค่าไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง

	จำนวน พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม/ปี)	ค่าไฟฟ้าฐาน (บาท)	ค่าไฟฟ้า แปรผัน (บาท)	ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 เปอร์เซ็นต์ (บาท)	รวมเงิน ค่าไฟฟ้า (บาท)
ก่อนปรับปรุง	9,925.44	19,781.00	7,286.00	694.75	27,761.75
หลังปรับปรุง	2,067.80	4,073.56	1,518.17	144.75	5,736.48
ส่วนต่าง	7,857.64	15,707.44	5767.83	550.00	22,025.27

หมายเหตุ: สภาพท้องฟ้าเป็นแบบที่จำลองตลอดเวลา (สภาพท้องฟ้าแบบ Clearsky)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในเรื่องแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา สามารถสรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

การออกแบบปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนของอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา

กรณีที่ 1 ทดลองวัดค่าความส่องสว่างในอาคารตัวอย่าง

ผลการทดลองพบว่า ค่าความส่องสว่างที่วัดได้เฉลี่ย คือ 139 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงอยู่ที่ 0.7

กรณีที่ 2 ปรับปรุงรูปแบบช่องแสงบนหลังคาแบบ Clerestory

หลังจากการจำลองผลการทดลองด้วยโปรแกรม Desktop radiance แล้ว กรณีที่ 2 สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างได้เฉลี่ย 400 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงอยู่ที่ 0.6 จากการศึกษาพบว่า การปรับปรุง กรณีที่ 2 สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างให้อาคารได้มากขึ้น แต่ทั้งนี้ก็มีค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ต่ำลงเล็กน้อย แต่ยังเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

กรณีที่ 3 ปรับปรุงรูปแบบช่องแสงบนหลังคาแบบ Sawtooth

หลังจากการจำลองผลการทดลองด้วยโปรแกรม Desktop radiance แล้ว กรณีที่ 3 สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างได้เฉลี่ย 356 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงอยู่ที่ 0.5 จากการศึกษาพบว่า การปรับปรุง กรณีที่ 3 สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างให้อาคารได้มากขึ้นแต่น้อยกว่ากรณีที่ 2 ค่าความสม่ำเสมอของแสงต่ำลงจากอาคารตัวอย่างและกรณีที่ 2 แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

กรณีที่ 4 ปรับปรุงรูปแบบช่องแสงบนหลังคาแบบ Two-story

หลังจากการจำลองผลการทดลองด้วยโปรแกรม Desktop radiance แล้ว กรณีที่ 4 สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างได้เฉลี่ย 290 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงอยู่ที่ 0.4 จากการศึกษาพบว่า การปรับปรุงกรณีที่ 4 นี้ สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างได้มากขึ้นจากกรณีตัวอย่าง แต่มีน้อยกว่ากรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 และค่าความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

จากทั้ง 3 กรณีที่ทำการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนของอาคารสามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างได้มากขึ้นจริงแต่ทั้งนี้ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นนั้นยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 500 ลักซ์

ค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ได้จากการทดลองพบว่า กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 มีค่าความสม่ำเสมอของแสงเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่ก็ต่ำกว่าอาคารตัวอย่าง

การออกแบบปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนแสงใต้หลังคา

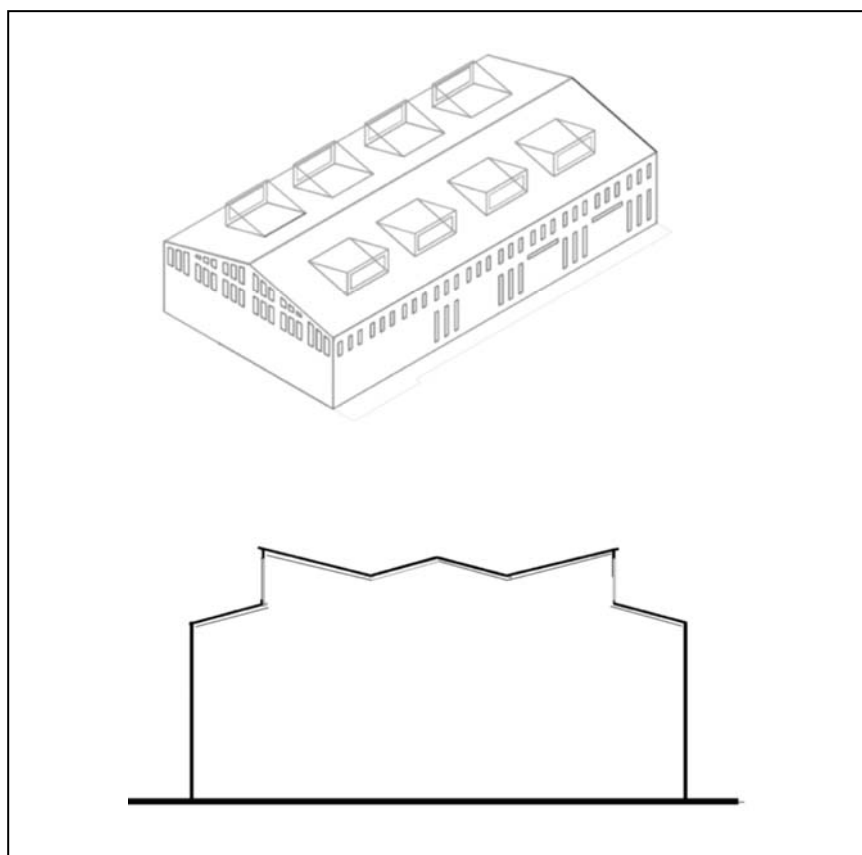
จากการจำลองผลการทดลองทั้ง 3 กรณีได้เลือกรูปแบบที่ดีที่สุดของช่องแสงด้านบนหลังคา คือ กรณีที่ 2 แบบ Clerestory มาทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มวัสดุใต้เพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง แบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 5 ปรับปรุงรูปแบบช่องแสงบนหลังคาแบบ Clerestory เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงที่ 75 เปอร์เซนต์

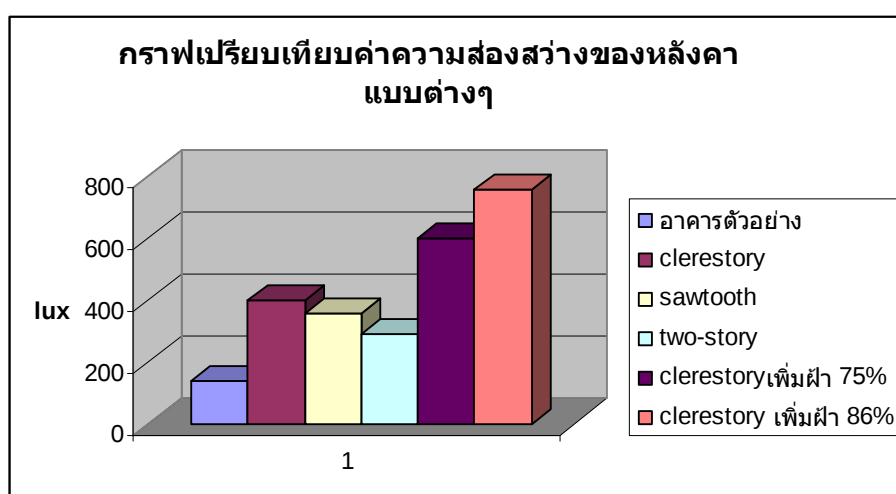
จากผลการทดลองพบว่า สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างของแสงเฉลี่ย 599 ลักซ์ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ CIE และ IES ที่กำหนดไว้ที่ 500 ลักซ์ ค่าความสม่ำเสมอของแสงอยู่ที่ 0.6

กรณีที่ 6 ปรับปรุงรูปแบบช่องแสงบนหลังคาแบบ Clerestory เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสงที่ 86 เปอร์เซนต์

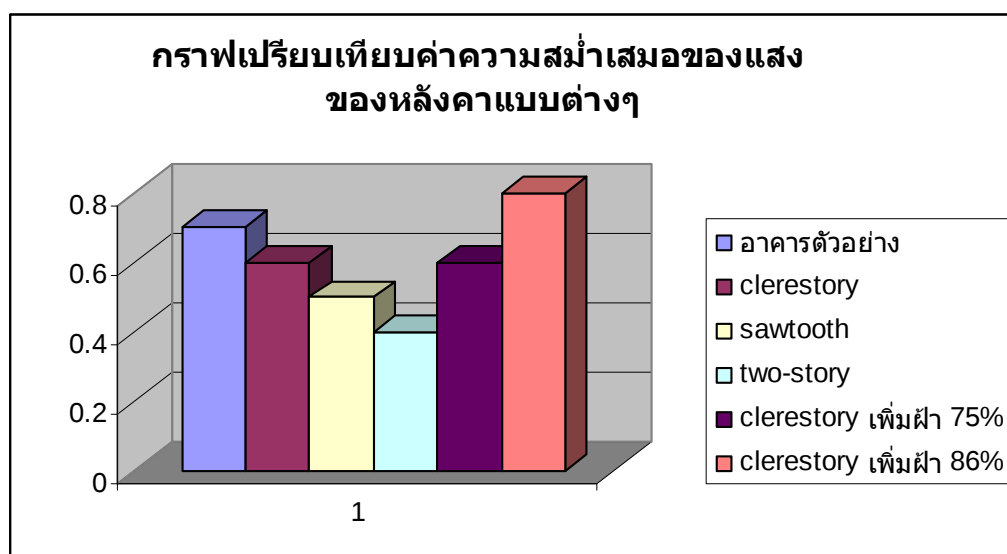
จากผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 50 ได้สภาพแสงสว่างที่เหมาะสมที่สุด กล่าวคือ สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างของแสงเฉลี่ย 756 ลักซ์ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ CIE และ IES ที่กำหนดไว้ที่ 500 ลักซ์ ค่าความสม่ำเสมอของแสงอยู่ที่ 0.8 ซึ่งถือว่าเป็นค่าความสม่ำเสมอที่ดีที่สุดจากทุกกรณี



ภาพที่ 50 รูปแบบหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มวัสดุสะท้อนแสงที่มีค่าสะท้อนแสง 86% ได้
หลังคา



ภาพที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของรูปแบบหลังคาแต่ละแบบ



ภาพที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของแสงของหลังคาแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 21 สรุปผลการทดลอง

รูปแบบช่องเปิดด้านบน	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	ค่าความสม่ำเสมอ ของแสง
1. อาคารตัวอย่าง	139	0.7
2. แบบ Clerestory	400	0.6
3. แบบ Sawtooth	356	0.5
4. แบบ Two-story	290	0.4
5. แบบ Clerestoryเพิ่ม Ceiling ที่มีค่าการสะท้อนแสง 75%	599	0.6
6. แบบ Clerestory เพิ่ม Ceiling ที่มีค่าการสะท้อนแสง 86%	756	0.8

สรุปผลการทดลอง

นำหลังคาแบบ Clearstory ปรับปรุงเพิ่มเติมโดยเพิ่มวัสดุฝ้าเพดานที่มีการสะท้อนแสงสูง พบว่า ยิ่งให้ค่าสะท้อนแสงที่สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความส่องสว่างของแสงเพิ่มขึ้นด้วย โดยให้ค่าความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้นและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

จากการทดลองพบว่า การปรับปรุงหลังคาแบบ Clerestory จะให้ผลดีที่สุดเมื่อเพิ่มวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง ไว้ได้ช่องแสงของหลังคาจะช่วยเพิ่มค่าความส่องสว่างของแสงภายในอาคารและ เพิ่มค่าความสม่ำเสมอของแสงได้ ซึ่งเกิดผลดีต่อผู้ใช้อาคารในการเรียนการสอน ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องระวังไม่ให้เกิดแสงจ้าที่อาจจะเกิดขึ้นได้

การปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนของอาคารให้มีขนาดเหมาะสมและการวางตำแหน่งของช่องเปิดให้มีทิศทางที่สอดคล้องกับทิศทางของดวงอาทิตย์ สามารถช่วยนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้มากขึ้นและมีความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1. สำหรับการนำไปพัฒนาเพื่อใช้งานจริงผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่าถ้าอาคารมีการให้แสงจากด้านบนอาคารอย่างเพียงพอแล้ว ก็ไม่จำเป็นจะต้องให้แสงทางด้านข้างของอาคาร เพราะช่องแสงด้านข้างของอาคารอาจจะก่อให้เกิดปัญหาแสงแยงตาต่อผู้ใช้ในอาคารได้

2. ในกรณีที่แสงธรรมชาติที่ได้รับไม่เพียงพอก็ควรที่จะเลือกใช้แสงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงานควบคู่กันไปด้วย สำหรับงานวิจัยในอนาคต อาจนำเสนอเป็นแนวทางการใช้แสงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพ

3. ผลจากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางปรับปรุงอาคารที่มีโครงสร้างช่วงพาดยาวอื่น ๆ ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่อาคารและผู้ใช้งานในอาคาร

4. สำหรับประเทศไทยนั้น ปริมาณความเข้มแสงที่มากเกินไปความต้องการและความร้อนจะเป็นปัญหาหลักดังนั้นเทคนิคการควบคุมปริมาณและคุณภาพของแสงจึงเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณา

5. การวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร ดังนั้นในการศึกษาต่อไปควรคำนึงถึงความร้อนที่จะเข้าสู่ตัวอาคารด้วย

6. เนื่องจากการทดลองที่ทดลองโดยการใส่โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ในการจำลองแบบ ผู้วิจัยได้พยายามทดสอบความถูกต้องโดยการเทียบกับการวัดแสงในสถานที่จริงกับในคอมพิวเตอร์ซึ่งพบว่าใกล้เคียงกัน (บทที่ 3) อย่างไรก็ตาม การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

7. รูปแบบและแนวทางในการปรับปรุงช่องแสงทางด้านบนอาคารนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของวิธีการที่สามารถทำการปรับปรุงได้ หากอาคารมีลักษณะทางกายภาพของอาคาร และทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างจากอาคารตัวอย่างแล้ว วิธีการออกแบบหรือปรับปรุงอาคารอาจจะแตกต่างจากวิธีที่นำเสนอจากงานวิจัยนี้ ซึ่งควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเป็นรายกรณี

บรรณานุกรม

หนังสือภาษาไทย

- กระทรวงพลังงาน. คู่มือ-เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง. กรุงเทพมหานคร : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553.
- ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2546.
- ชำนาญ ห่อเกียรติ. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
- สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- สุริพรรณ สุพรรณสมบูรณ์. “อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคาร.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- อินันท์ โสภางค์. “แนวทางการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสถานียขนส่งเพื่อลดการใช้แสงประดิษฐ์ : กรณีศึกษา สถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต 2.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

หนังสือภาษาต่างประเทศ

- Egan, M. David and Victor W. Olgyay. Architectural Lighting. 2nd ed. New York : McGraw-Hill book Co., 2002.
- Kaufman, J. E. IES Lighting Handbook. New York : Illuminating Engineering Society, 1984.
- Michel, Lou. Light : The Shape of Space. New York : John Willy & Sons, 1995, 13.
- Moore, F. Concept and Practice of Architectural Daylighting. New York : Van Nostrand Reinhold, 1986.
- North Carolina High School Athletic Association. NCHSAA Policy Committee and approved by the NCHSAA Board of Directors. (April 30, 2008).

Surapong Chirarattananon and Pipat Chaiwiwatworakul. “Daylighting Availability Models for Global and Diffuse Horizontal Illuminance and Irradiance and Models for Sky Luminance for Bangkok.” in A Technical Report of a Research Project on Station Investigation of Daylighting, THAILANS : Asian Institute of Technology, Patum Thani, 2001.

Stein, Benjamin and Reynolds, John S. Mechanical and Electrical Equipment for Building. 11th ed. New York : John Wiley & Sons, 1998.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ค่าความส่องสว่างที่จำลองได้

ตารางที่ 22 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Two-story วันที่ 21 ธันวาคม

21 ธันวาคม เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
ประเภทพื้นที่	422	432	286	355	490
	1168	467	333	528	341
	536	610	563	518	293
	391	652	554	172	634
	474	702	362	343	687
	459	172	521	631	333
	377	765	680	474	256
21 ธันวาคม เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
ประเภทพื้นที่	482	176	238	359	467
	285	352	251	290	313
	321	354	368	398	287
	305	253	254	316	465
	308	254	228	326	930
	212	236	211	185	167
	305	228	190	314	123
21 ธันวาคม เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
ประเภทพื้นที่	349	184	188	224	587
	230	240	208	398	419
	192	151	191	255	249
	247	186	229	289	486
	267	144	197	227	884
	162	183	231	178	147
	579	573	185	572	123
21 ธันวาคม เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
ประเภทพื้นที่	370	154	169	216	118
	249	217	195	313	289
	181	178	131	228	425
	244	145	156	254	345
	316	156	183	146	490
	272	301	211	241	163
	542	289	219	227	170
21 ธันวาคม เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
ประเภทพื้นที่	300	134	145	121	236
	208	194	115	117	96
	133	180	80	77	107
	203	108	134	113	159
	239	144	194	150	155
	83	227	180	101	117
	81	93	108	85	153

ตารางที่ 23 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Two-story วันที่ 21 มีนาคม

21 มีนาคม เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Personnel	398	372	310	253	496
	1282	546	321	417	327
	262	319	247	445	597
	296	215	291	293	324
	390	405	275	359	556
	320	279	415	354	330
	784	432	296	466	251
21 มีนาคม เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Personnel	541	282	206	258	553
	316	242	233	297	293
	245	291	303	231	278
	305	180	159	279	664
	380	287	267	346	654
	201	181	216	201	128
	149	151	146	152	125
21 มีนาคม เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Personnel	818	245	206	301	1029
	379	368	187	447	472
	329	386	261	403	323
	598	243	334	311	709
	682	278	250	395	915
	167	338	235	344	226
	342	355	361	414	271
21 มีนาคม เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Personnel	512	157	124	164	351
	331	282	151	151	287
	197	227	180	163	264
	359	202	169	145	248
	513	235	203	145	342
	139	165	191	222	148
	237	252	298	371	510
21 มีนาคม เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Personnel	395	352	170	336	309
	435	291	261	213	275
	227	382	165	217	264
	393	273	230	177	249
	619	266	164	176	344
	145	255	375	374	378
	142	229	235	271	511

ตารางที่ 24 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Two-story วันที่ 21มิถุนายน

21มิถุนายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	472	270	197	195	400
	974	321	351	425	351
	328	239	359	206	416
	302	237	265	314	376
	246	187	254	277	502
	150	211	195	195	252
	163	142	111	160	114
21มิถุนายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	479	252	172	239	474
	303	223	218	264	260
	269	221	180	219	357
	413	214	199	163	434
	409	313	281	288	402
	144	222	301	307	225
	146	163	178	162	143
21มิถุนายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	625	307	199	300	629
	351	303	284	354	325
	354	265	255	233	282
	673	280	196	249	464
	549	324	202	230	559
	179	214	208	218	201
	206	259	171	262	244
21มิถุนายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	915	222	127	170	341
	427	267	204	230	205
	226	226	149	143	186
	500	200	166	209	245
	714	257	143	139	322
	170	148	147	193	156
	175	254	264	355	601
21มิถุนายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	231	407	191	312	278
	620	484	325	335	273
	284	403	203	254	273
	436	335	271	189	272
	744	257	265	237	335
	137	401	278	264	254
	144	181	267	411	838

ตารางที่ 25 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Two-story วันที่ 21 กันยายน

21 กันยายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	450	367	162	212	442
	166	365	333	370	325
	232	295	273	362	461
	565	235	332	344	318
	510	252	332	370	700
	385	412	392	335	222
	1002	402	212	487	176
21 กันยายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	773	271	205	253	725
	310	228	261	368	297
	231	169	213	298	319
	282	189	144	265	674
	276	252	222	256	632
	164	152	196	245	174
	160	139	186	174	109
21 กันยายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	356	224	159	200	579
	290	187	212	269	349
	202	139	218	225	244
	322	238	146	203	410
	350	174	183	199	598
	133	202	127	156	128
	293	204	171	247	166
21 กันยายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	429	198	128	174	396
	329	269	214	217	287
	171	227	162	153	165
	304	141	116	205	240
	441	249	146	194	351
	159	198	224	194	148
	256	243	233	292	309
21 กันยายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
Y	187	259	166	172	303
	445	411	151	197	233
	318	200	140	244	199
	309	200	184	157	249
	541	252	214	109	260
	135	192	132	165	96
	110	119	120	141	110

ตารางที่ 26 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Sawtooth วันที่ 21 มีนาคม

21 มีนาคม เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ ระยะแกน	869	714	368	802	674
	2270	1068	3387	555	495
	1059	987	729	850	435
	2110	1123	689	610	862
	1245	1026	712	757	802
	2502	2454	2402	847	555
	3454	2929	2244	1172	562
21 มีนาคม เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ ระยะแกน	1166	512	447	527	890
	484	438	356	529	412
	3542	3502	3498	3513	409
	678	528	485	477	902
	616	499	564	438	656
	794	566	528	419	341
	451	505	447	437	453
21 มีนาคม เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ ระยะแกน	771	362	372	508	1232
	582	450	412	514	553
	545	521	562	579	538
	821	670	464	557	1059
	738	512	553	576	1226
	561	586	594	530	497
	595	714	649	717	537
21 มีนาคม เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ ระยะแกน	1037	296	159	188	392
	663	303	199	323	257
	389	304	260	296	251
	674	318	247	279	374
	723	319	218	298	279
	671	386	311	358	289
	331	673	419	458	679
21 มีนาคม เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ ระยะแกน	309	382	311	226	319
	752	294	260	208	307
	301	416	240	283	223
	416	384	317	261	298
	378	340	393	301	307
	320	462	470	555	339
	269	353	445	516	694

ตารางที่ 27 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Sawtooth วันที่ 21 กันยายน

21 กันยายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	942	738	415	485	
	2035	3192	3183	817	468
	1017	1092	656	621	495
	2240	2137	596	671	903
	1234	727	711	545	892
	1213	3206	811	3176	445
	2621	1217	758	845	423
21 กันยายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	950	320	627	629	634
	360	442	319	411	409
	481	409	394	447	358
	562	435	321	471	634
	550	478	425	475	949
	713	480	409	352	317
	366	396	394	495	364
21 กันยายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	420	236	266	343	967
	293	254	215	317	429
	342	285	319	338	326
	389	298	267	304	745
	433	285	326	398	794
	365	383	398	369	742
	484	518	462	481	341
21 กันยายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	633	369	184	236	446
	515	221	190	230	340
	337	352	219	268	215
	380	320	265	247	351
	536	265	218	303	466
	289	377	328	397	299
	342	413	402	464	744
21 กันยายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	216	895	246	173	301
	322	319	276	224	225
	408	224	234	333	219
	399	319	277	242	254
	586	322	245	262	295
	259	319	320	368	453
	224	253	295	260	219

ตารางที่ 28 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Sawtooth วันที่ 21 มิถุนายน

21 มิถุนายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	733	649	450	439	536
	1439	797	542	630	477
	2602	2541	2522	681	3548
	1759	1040	644	784	841
	1247	1307	1027	838	829
	2446	1568	1362	919	689
	3240	3171	2875	2001	874
21 มิถุนายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	741	482	376	414	712
	477	485	356	478	383
	774	438	430	544	462
	652	505	445	539	803
	796	553	540	510	788
	603	707	535	567	490
	490	509	521	500	530
21 มิถุนายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	736	369	301	396	693
	423	364	301	437	456
	557	387	437	473	421
	822	393	394	367	823
	733	497	405	429	767
	497	485	558	543	452
	433	540	499	511	379
21 มิถุนายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	1084	280	255	275	353
	529	363	267	255	234
	399	316	320	304	245
	566	321	244	312	328
	846	389	322	286	357
	327	362	438	425	310
	307	427	399	460	473
21 มิถุนายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
A	1781	1046	359	190	361
	739	497	372	248	271
	324	500	394	328	253
	489	402	296	289	377
	813	411	376	289	342
	264	460	478	412	285
	241	412	380	567	1330

ตารางที่ 29 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Sawtooth วันที่ 21 ธันวาคม

21 ธันวาคม เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
มนุษย์	1063	538	425	366	527
	558	440	361	374	314
	759	486	497	367	292
	578	505	1703	1727	457
	1735	484	473	520	544
	648	694	446	419	300
	1720	650	506	366	231
21 ธันวาคม เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
มนุษย์	285	248	264	571	792
	285	283	217	587	463
	326	313	389	453	298
	432	381	317	411	607
	379	330	402	472	889
	311	398	373	338	228
	433	351	373	405	237
21 ธันวาคม เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
มนุษย์	288	186	168	463	1599
	231	229	220	346	611
	281	277	282	389	275
	358	242	223	356	438
	333	335	293	364	821
	273	404	392	411	258
	991	461	404	411	259
21 ธันวาคม เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
มนุษย์	393	250	221	261	885
	261	233	206	300	477
	305	238	224	264	277
	331	286	242	253	313
	400	231	295	288	595
	415	442	488	424	363
	466	363	380	329	240
21 ธันวาคม เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวกั้น X					
มนุษย์	208	289	188	169	307
	453	164	201	141	204
	312	196	178	251	210
	244	251	178	189	276
	339	267	190	181	384
	147	302	317	234	241
	184	194	207	207	162

ตารางที่ 30 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory วันที่ 21 ธันวาคม

21 ธันวาคม เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ มม	751	554	350	395	676
	844	659	401	460	703
	978	594	704	394	392
	760	553	379	585	604
	752	593	559	412	530
	1251	706	368	381	244
	995	677	575	408	373
21 ธันวาคม เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ มม	438	327	415	463	665
	444	442	522	463	752
	332	325	527	446	563
	346	297	442	380	555
	343	325	480	462	465
	382	308	320	461	300
	304	310	388	462	215
21 ธันวาคม เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ มม	283	255	255	349	501
	342	330	305	329	411
	255	249	307	357	401
	342	330	226	349	339
	385	290	259	252	360
	311	439	401	364	328
	691	495	445	522	475
21 ธันวาคม เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ มม	438	327	415	463	665
	444	442	522	463	952
	332	325	527	446	563
	346	297	442	380	555
	345	325	480	462	465
	382	308	320	461	300
	304	310	388	462	215
21 ธันวาคม เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ มม	384	238	191	224	225
	355	201	235	186	361
	322	171	192	216	214
	273	187	203	187	185
	315	168	224	202	247
	234	135	212	163	161
	166	263	259	245	150

ตารางที่ 31 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory วันที่ 21 มิถุนายน

21 มิถุนายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ แนวแกน	623	400	396	435	517
	491	444	397	486	565
	337	418	378	379	343
	564	446	398	382	435
	533	427	385	361	294
	371	458	363	333	375
	368	388	523	342	337
21 มิถุนายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ แนวแกน	549	455	298	335	392
	561	448	329	279	333
	495	476	395	287	266
	519	466	338	261	245
	598	377	368	321	244
	467	426	367	315	235
	379	386	429	323	411
21 มิถุนายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ แนวแกน	824	407	456	499	378
	716	404	427	278	396
	406	529	353	416	455
	532	434	332	436	373
	855	464	402	278	419
	370	404	553	388	545
	293	404	642	404	411
21 มิถุนายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ แนวแกน	845	510	331	513	530
	745	527	352	352	626
	338	371	478	463	484
	414	384	361	376	478
	362	310	342	449	537
	418	373	339	444	487
	587	463	406	553	649
21 มิถุนายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ แนวแกน	423	324	303	364	548
	326	297	338	271	359
	317	422	366	353	501
	472	314	395	337	409
	320	273	355	419	351
	268	267	272	287	263
	256	333	359	361	483

ตารางที่ 32 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory วันที่ 21 เมษายน

21 เมษายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ	1207	584	438	506	854
	726	502	512	466	657
	399	449	439	392	460
	379	432	477	534	631
	424	385	529	452	485
	465	393	457	337	338
	269	414	526	338	533
21 เมษายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ	539	352	308	524	670
	474	336	327	357	545
	238	349	307	363	485
	330	360	349	357	500
	365	383	263	419	560
	385	291	440	356	328
	225	310	359	357	409
21 เมษายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ	702	523	601	601	880
	539	544	555	475	819
	522	549	716	548	635
	678	482	401	575	495
	587	516	477	465	646
	453	521	411	452	456
	398	522	637	485	398
21 เมษายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ	515	350	262	306	249
	527	304	330	296	322
	436	379	334	272	270
	418	312	288	322	232
	517	345	281	286	250
	361	300	348	285	185
	347	467	499	480	492
21 เมษายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
λ	902	583	643	360	436
	614	375	483	357	386
	377	374	354	378	344
	554	375	432	440	299
	803	463	412	384	382
	375	394	411	386	491
	316	402	565	654	1153

ตารางที่ 33 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory วันที่ 21 กันยายน

21 กันยายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
มนุษย์	343	298	425	411	546
	285	277	296	358	583
	303	312	291	365	485
	293	249	294	325	327
	313	254	264	287	412
	221	360	300	316	243
	322	367	373	380	282
21 กันยายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
มนุษย์	411	310	278	254	281
	367	297	285	261	355
	251	322	270	272	247
	341	239	303	251	260
	393	379	298	268	287
	364	326	354	283	310
	415	631	480	524	681
21 กันยายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
มนุษย์	914	572	398	568	319
	530	506	402	453	661
	411	328	515	482	528
	376	469	460	585	830
	428	460	428	524	566
	431	485	459	461	319
	369	575	632	502	415
21 กันยายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
มนุษย์	481	365	405	475	705
	374	383	415	541	690
	300	287	414	437	465
	274	330	348	488	615
	356	291	351	423	589
	277	384	307	473	285
	238	353	366	420	361
21 กันยายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
มนุษย์	891	540	441	280	283
	690	440	296	374	309
	396	455	321	272	336
	319	510	309	241	252
	488	270	292	310	260
	246	318	319	272	494
	295	267	453	434	509

ตารางที่ 34 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่า
การสะท้อนแสง 86% วันที่ 21 เมษายน

21 เมษายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปแนวนอน	595	569	624	698	620
	585	608	477	533	408
	690	569	475	600	356
	654	474	557	443	380
	713	600	508	461	434
	721	620	531	452	513
	698	563	519	438	448
21 เมษายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปแนวนอน	600	643	598	841	780
	750	655	547	531	623
	690	498	442	612	536
	636	532	623	648	711
	713	508	608	461	499
	721	620	531	578	702
	703	598	614	438	610
21 เมษายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปแนวนอน	510	423	487	325	536
	450	368	478	421	542
	520	498	442	523	456
	411	387	453	520	411
	432	426	387	326	362
	456	324	521	342	462
	565	489	500	366	365
21 เมษายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปแนวนอน	595	569	624	790	620
	585	608	477	531	408
	690	479	442	427	441
	636	474	453	443	380
	713	508	508	461	434
	721	620	531	452	513
	749	563	519	438	448
21 เมษายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปแนวนอน	600	643	598	841	780
	750	655	547	631	623
	690	698	442	612	636
	636	532	623	748	711
	713	508	608	561	799
	721	620	531	578	702
	703	598	614	538	810

ตารางที่ 35 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่า
การสะท้อนแสง 86% วันที่ 21 มิถุนายน

21 มิถุนายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	700	700	659	638	621
	685	557	624	715	723
	653	651	564	635	659
	710	587	599	441	687
	721	698	626	490	526
	865	759	630	555	698
	778	657	554	241	569
21 มิถุนายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	698	700	635	638	598
	658	654	677	587	541
	800	685	664	665	600
	812	516	638	687	596
	765	659	636	690	547
	820	658	630	645	578
	778	710	687	598	569
21 มิถุนายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	696	653	575	532	544
	658	557	568	492	502
	711	651	564	485	487
	678	587	547	541	587
	700	564	626	490	478
	652	587	568	563	498
	678	657	554	563	521
21 มิถุนายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	574	700	575	638	621
	658	557	577	495	370
	916	651	564	402	372
	812	516	599	441	382
	721	564	626	490	389
	865	559	630	441	498
	778	657	554	541	488
21 มิถุนายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	877	741	775	723	700
	658	698	802	754	763
	916	650	769	752	724
	810	710	741	810	698
	720	756	802	756	754
	850	753	842	763	712
	770	757	745	754	688

ตารางที่ 36 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าการสะท้อนแสง 86% วันที่ 21 กันยายน

21 กันยายน เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	555	634	826	832	776
	542	575	542	539	539
	624	463	486	463	541
	565	436	541	420	600
	689	530	520	523	456
	635	451	532	489	498
	522	512	498	423	432
21 กันยายน เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	700	634	826	703	756
	590	575	652	598	754
	624	547	695	598	652
	635	512	656	630	711
	688	498	687	693	652
	628	565	698	751	687
	696	598	635	689	663
21 กันยายน เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	514	506	514	568	635
	523	482	560	557	574
	523	463	487	511	498
	520	436	456	501	523
	574	456	469	539	532
	532	465	475	530	487
	502	500	480	510	467
21 กันยายน เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	657	634	826	832	776
	590	575	560	539	539
	624	463	486	392	434
	547	436	409	420	378
	687	449	469	439	456
	628	451	427	426	498
	502	440	480	415	432
21 กันยายน เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
A	747	736	826	711	776
	590	710	758	603	745
	624	536	698	674	692
	698	655	632	687	654
	687	568	695	698	598
	628	499	659	623	653
	685	598	542	598	699

ตารางที่ 37 แสดงค่าความส่องสว่างที่จำลองได้ของหลังคาแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่า
การสะท้อนแสง 86% วันที่ 21 ธันวาคม

21 ธันวาคม เวลา 8.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปถ่าย	754	674	632	672	587
	656	589	555	605	578
	524	562	587	542	565
	574	585	547	520	526
	620	587	565	574	534
	563	598	620	530	545
	536	500	540	501	623
21 ธันวาคม เวลา 10.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปถ่าย	754	674	666	640	587
	656	589	635	605	578
	524	562	587	487	565
	466	635	452	450	526
	420	587	565	574	534
	405	651	400	495	540
	536	465	458	501	600
21 ธันวาคม เวลา 12.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปถ่าย	498	487	410	399	413
	556	511	632	501	500
	425	502	502	475	517
	466	536	487	450	523
	410	475	410	474	520
	405	451	400	402	547
	363	365	365	396	523
21 ธันวาคม เวลา 14.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปถ่าย	864	674	762	669	560
	541	620	635	523	440
	531	500	501	421	586
	430	403	390	450	508
	365	346	387	354	534
	406	396	398	495	570
	434	384	362	421	615
21 ธันวาคม เวลา 16.00 น.					
ตำแหน่งในแนวแกน X					
รูปถ่าย	754	674	632	672	710
	798	741	712	605	674
	752	698	587	638	632
	574	659	689	632	654
	620	752	698	741	635
	723	741	620	689	710
	632	500	653	659	623

ภาคผนวก ข
รูปภาพจำลองรูปแบบต่าง ๆ

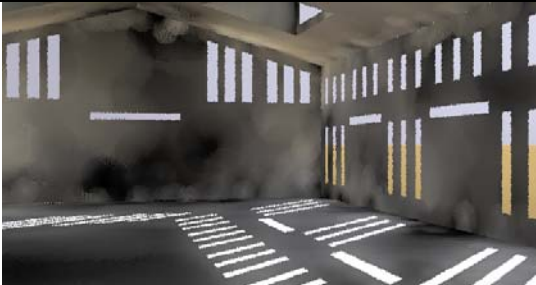
ตารางที่ 38 แสดงรูปภาพที่จำลองรูปแบบ Clerestory ที่เพิ่มฝ้าเพดานที่มีการสะท้อนแสง 86%
ได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือน มีนาคม

เวลา	21 มีนาคม		
8.00 น.			
10.00 น.			
12.00 น.			
14.00 น.			
16.00 น.			

ตารางที่ 39 แสดงรูปภาพที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือน มิถุนายน

เวลา	21 มิถุนายน		
8.00 น.			
10.00 น.			
12.00 น.			
14.00 น.			
16.00 น.			

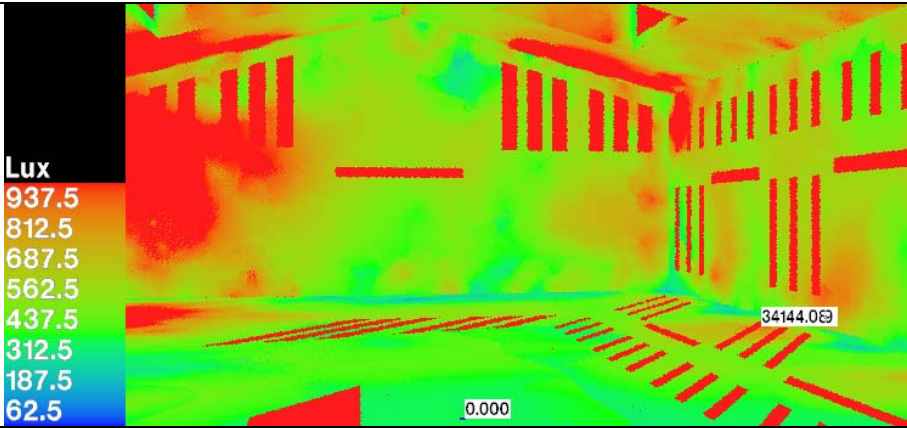
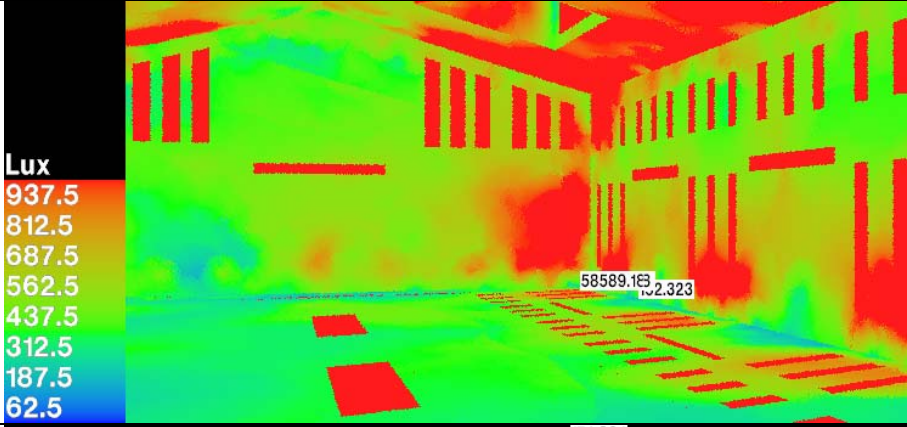
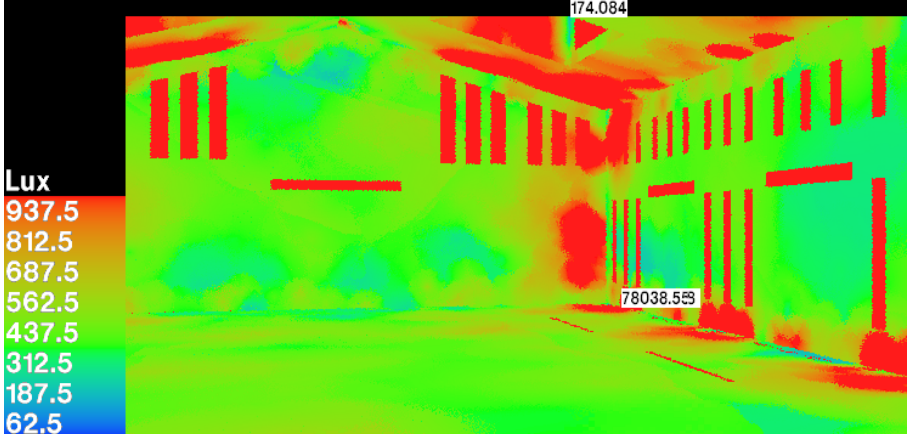
ตารางที่ 39 (ต่อ)

เวลา	21 กันยายน		
8.00 น.			
10.00 น.			
12.00 น.			
14.00 น.			
16.00 น.			

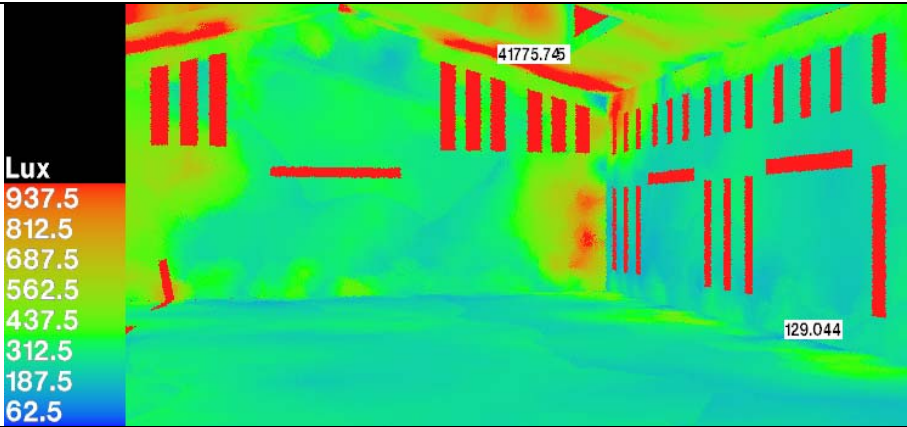
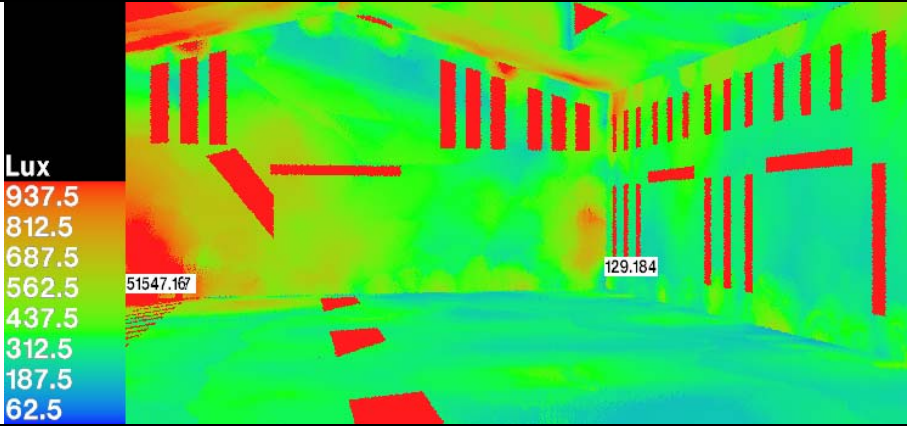
ตารางที่ 39 (ต่อ)

เวลา	21 ธันวาคม	
8.00 น.		
10.00 น.		
12.00 น.		
14.00 น.		
16.00 น.		

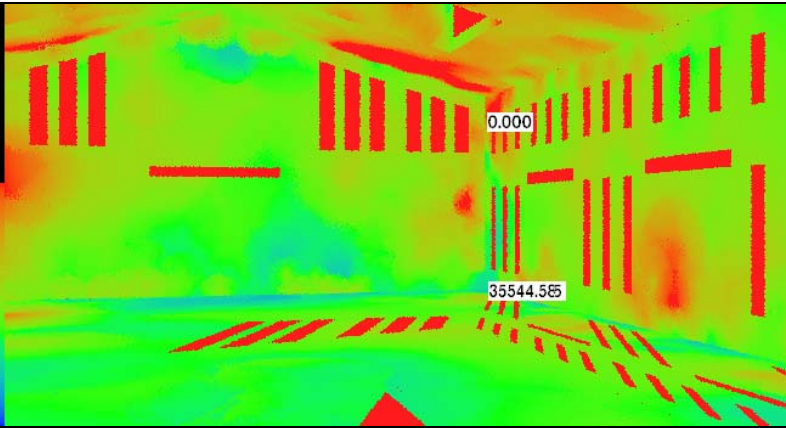
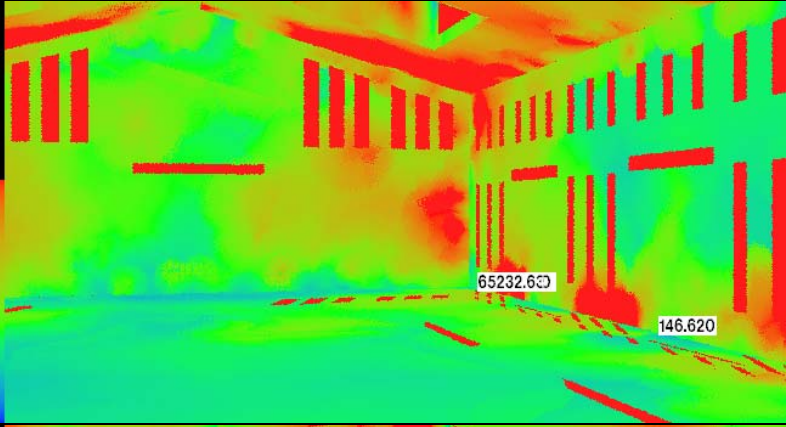
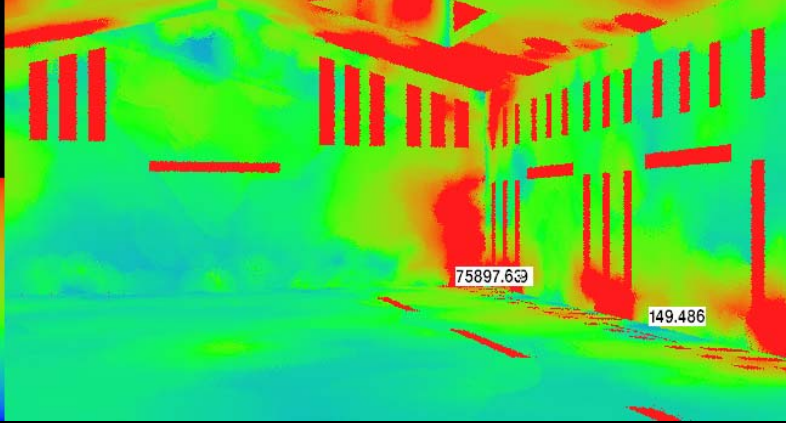
ตารางที่ 40 แสดงรูปภาพแบบ False colour ที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนมีนาคม

เวลา	21 มีนาคม
8.00 น.	
10.00 น.	
12.00 น.	

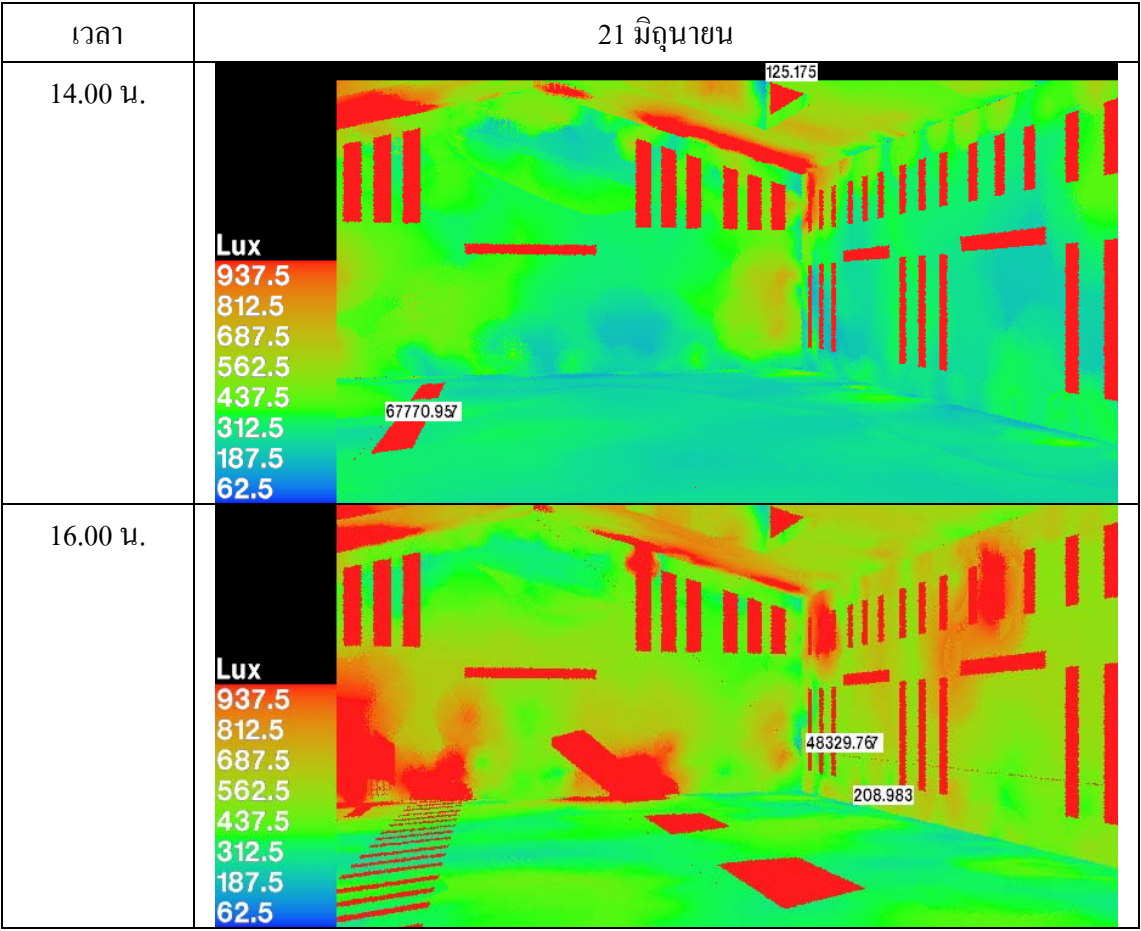
ตารางที่ 40 (ต่อ)

เวลา	21 มีนาคม
14.00 น.	 Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5
16.00 น.	 Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5

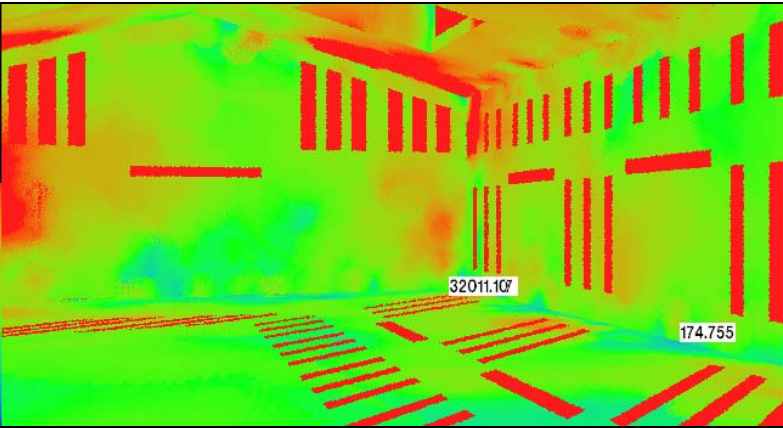
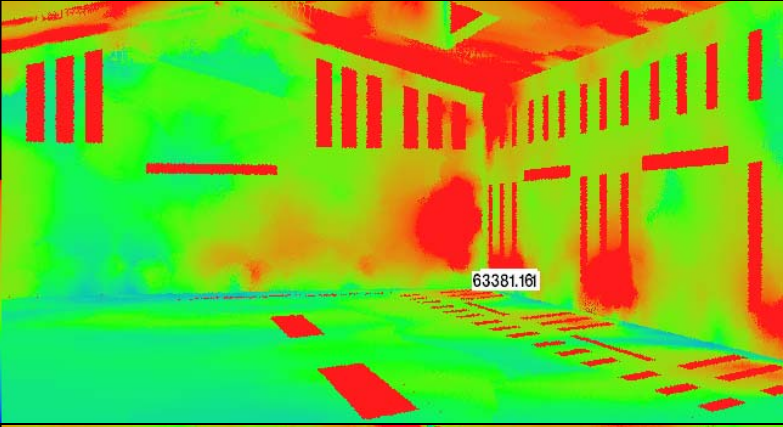
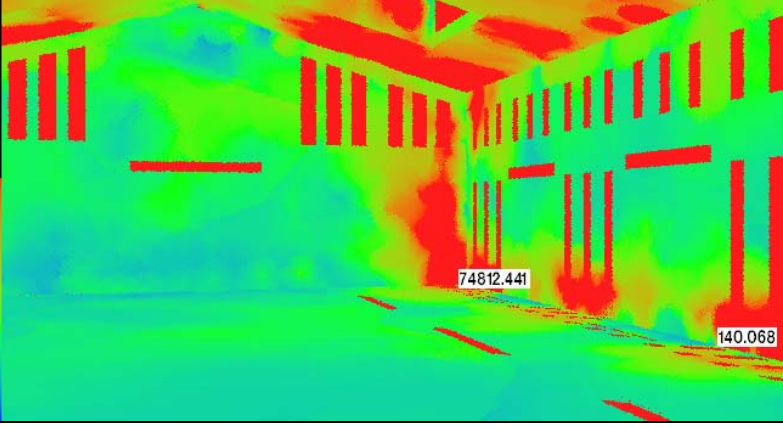
ตารางที่ 41 แสดงรูปภาพแบบ False colour ที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนมิถุนายน

เวลา	21 มิถุนายน	
8.00 น.	 Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5	
10.00 น.	 Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5	
12.00 น.	 Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5	

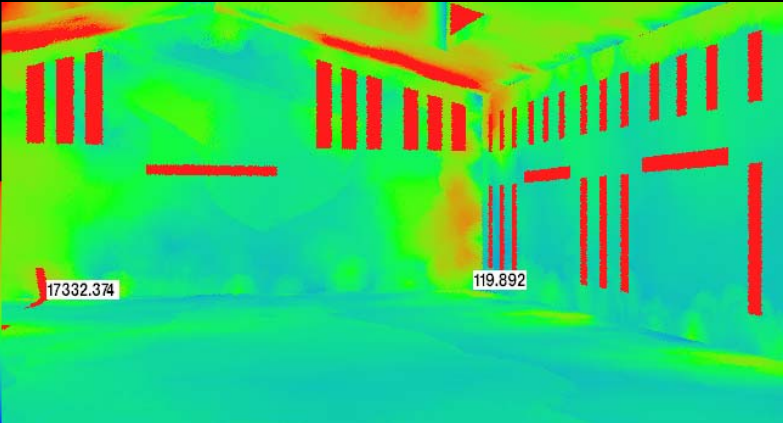
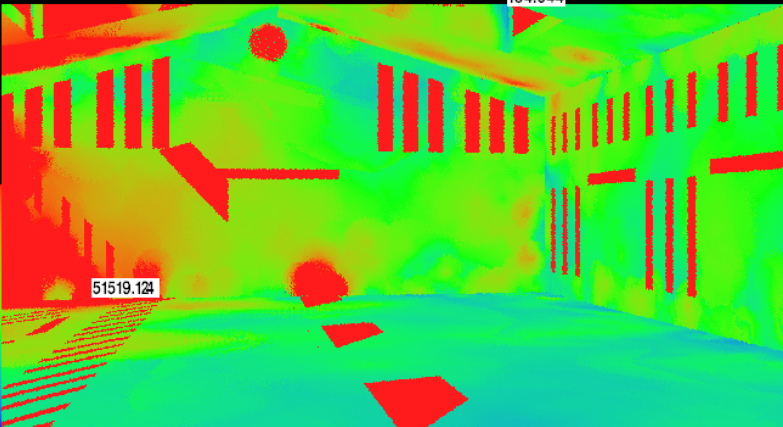
ตารางที่ 41 (ต่อ)



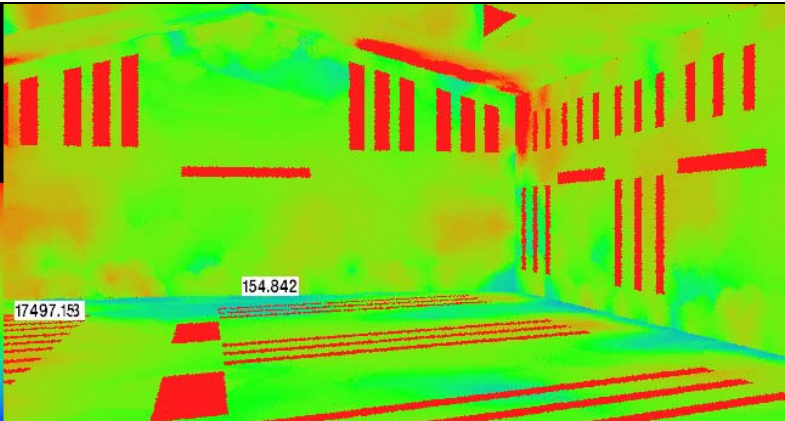
ตารางที่ 42 แสดงรูปภาพแบบ False colour ที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนกันยายน

เวลา	21 กันยายน	
8.00 น.		
10.00 น.		
12.00 น.		

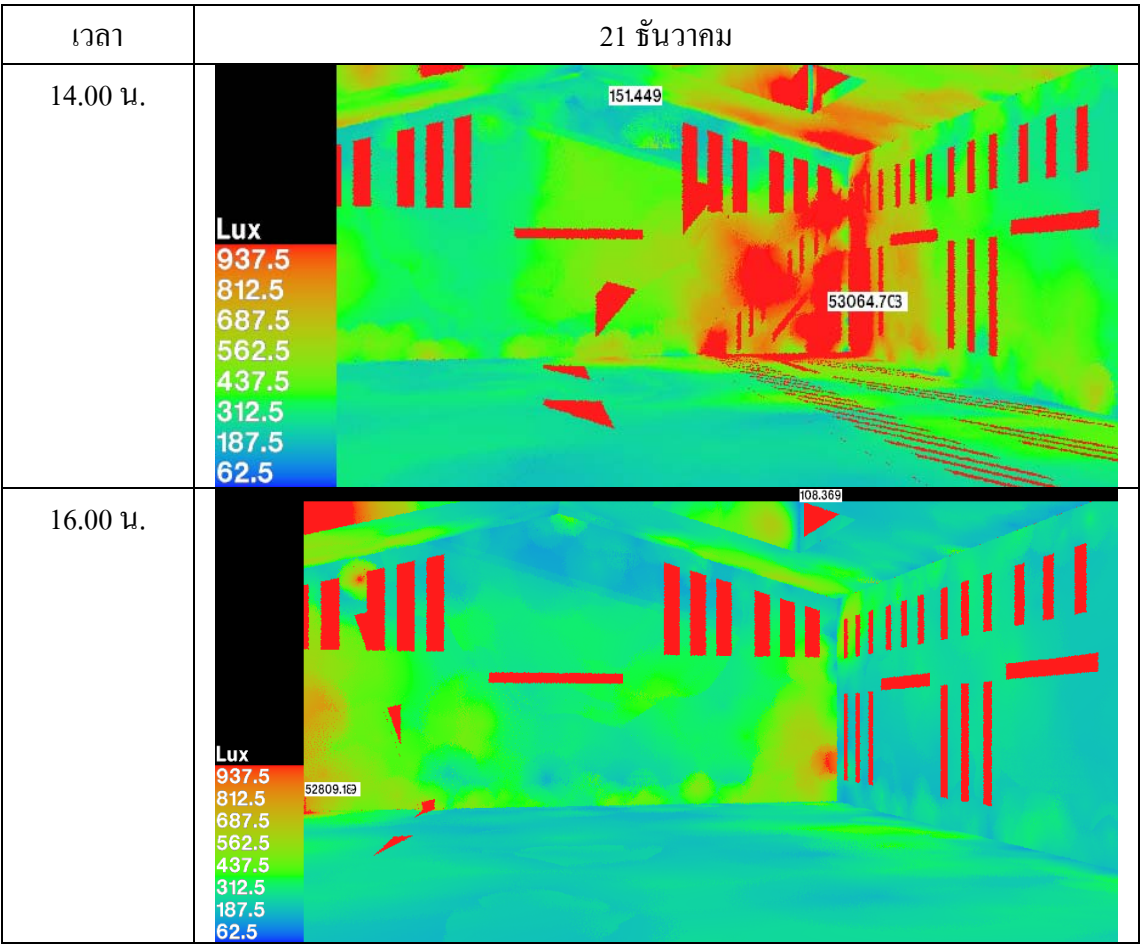
ตารางที่ 42 (ต่อ)

เวลา	21 กันยายน
14.00 น.	Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5 
16.00 น.	Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5 

ตารางที่ 43 แสดงรูปภาพแบบ False colour ที่จำลองได้จากโปรแกรม Desktop Radiance วันที่ 21 เดือนธันวาคม

เวลา	21 ธันวาคม	
8.00 น.	Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5	
10.00 น.	Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5	
12.00 น.	Lux 937.5 812.5 687.5 562.5 437.5 312.5 187.5 62.5	

ตารางที่ 43 (ต่อ)



ประวัติการศึกษา

ชื่อ-สกุล นายณวิทย์ มิสาทิ
 วันเดือนปีเกิด 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2528
 ที่อยู่ 53 ถนนธรรมวงศ์สวัสดิ์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง
 จังหวัดมหาสารคาม 44000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต
 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 พ.ศ. 2551 ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบริหารธุรกิจพลังงาน
 ในอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร