แนวทางการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องอ่านหนังสือ กรณีศึกษาหอสมุดแห่งชาติ

โดย
นางสาวผการัตน์ โกสัลล์ประไพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

แนวทางการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องอ่านหนังสือ กรณีศึกษาหอสมุดแห่งชาติ

โดย

นางสาวผการัตน์ โกสัลล์ประไพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE UTILIZATION OF DAYLIGHT IN THE READING ROOM CASE STUDY : NATIONAL LIBRARY

By

Pagarat Kosalprapai

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

MASTER OF ARCHITECTURE

Department of Architecture

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ แนวทางการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องอ่านหนังสือ กรณีศึกษาหอสมุดแห่งชาติ ” เสนอโดย นางสาวผการัตน์ โกสัลล์ประไพ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

…….....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. รองศาสตราจารย์มาลินี ศรีสุวรรณ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์)

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

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์เกียรติคุณ อรศิริ ปาณินท์)

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

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี)

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

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์มาลินี ศรีสุวรรณ)

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

47054207 : สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คำสำคัญ : หิ้งสะท้อนแสง / แสงธรรมชาติ

ผการัตน์ โกสัลล์ประไพ : แนวทางการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องอ่านหนังสือกรณีศึกษาหอสมุดแห่งชาติ. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.มาลินี ศรีสุวรรณ และ ผศ.ดร. ปรีชญา มหัทธนทวี. 204 หน้า.

ในปัจจุบันห้องอ่านหนังสือของอาคารหอสมุดแห่งชาติ มีการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ตลอดทั้งวัน โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ภายในห้องมีระดับค่าความส่องสว่างของแสงจากธรรมชาติที่ไม่เพียงพอกับการอ่านหนังสือ ในขณะที่บริเวณใกล้หน้าต่างมีค่าความส่องสว่างที่สูงมากอันก่อให้เกิดปัญหาแสงบาดตา ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์ เพื่อศึกษารูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ช่วยลดปัญหาดังกล่าว

ขั้นตอนการวิจัย เริ่มจากการสำรวจห้องอ่านหนังสือ และวัดค่าความส่องสว่างภายในห้อง ทำการศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance 2.0 โดยเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่คำนวณจากโปรแกรมกับค่าที่ได้จากการวัดสถานที่จริง เพื่อศึกษาความถูกต้องแม่นยำของโปรแกรม จากนั้นจึงจำลองห้องอ่านหนังสือ ซึ่งมีรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน 16 รูปแบบ วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน และวิเคราะห์ผลเพื่อคัดเลือกรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมที่สุดจำนวน 7 รูปแบบ นำรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ได้รับการคัดเลือกแล้วมาทำการจำลองโดยเปลี่ยนเป็นวัสดุอะลูมิเนียมสีเงินมันวาว เพื่อหารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง และวัสดุที่ใช้ที่เหมาะสมที่สุด การจำลองใช้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) วันที่ทำการจำลอง 21 มีนาคม 21 มิถุนายน 21 ธันวาคม และเวลาที่ทำการจำลอง 9.00 11.00 13.00 15.00 และ 17.00 น. โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบ ได้แก่ ค่าความส่องสว่าง ค่าแสงบาดตา และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงทั้งหมด 16 รูปแบบ ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 (ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 เมตร ภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 25˚) มีค่าคะแนนรวมที่ดีที่สุด เมื่อเปลี่ยนวัสดุของหิ้งสะท้อนแสงเป็นวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 (ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงขึ้น 25˚ ภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 25˚) มีคะแนนรวมทุกปัจจัยที่สูงกว่าหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบอื่น แต่เนื่องจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ซึ่งภายนอกมีมุมเอียงขึ้นนั้น อาจจะมีปัญหาในแง่ของน้ำฝนไหลเข้าอาคาร ดังนั้นรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ควรนำไปใช้จึงเป็นหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสภาพปัจจุบันที่ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับมีหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน พบว่าการมีหิ้งสะท้อนแสงดังกล่าวทำให้ตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้นมีจำนวน 11% ของตำแหน่งที่ทำการวัดค่าทั้งหมด โดยมีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3.0% ตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่สูงขึ้นมีจำนวน 74.9% ของตำแหน่งที่ทำการวัดทั้งหมด โดยมีค่า VCP ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 26.7% และช่วงเวลาที่มีค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างเพิ่มขึ้นคิดเป็น 80% ของช่วงเวลาทั้งหมดที่ทำการศึกษา โดยมีค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 12.2%

ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ..... 2. .....

47054207 : MAJOR : (ARCHITECTURE)
KEY WORD : LIGHTSHELF / DAYLIGHT
PAGARAT KOSALPRAPAI : THE UTILIZATION OF DAYLIGHT IN THE READING ROOM CASE STUDY : NATIONAL LIBRARY. THESIS ADVISORS : ASSOC. PROF. MALINEE SRISUWAN and ASST. PROF. DR. PRECHAYA MAHATTANATAWE. 204 pp.

Nowadays the reading room in the national library building uses mostly artificial light all day. Most reading areas have inefficient Illuminance level from daylight whereas areas near windows have very high illumniance level that causes visual discomfort. Therefore, the purpose of this research is to study various types of lightshelves to alleviate these problems.

The experimental research started with surveying the reading room and measuring the illuminance level inside the room. Second step was studying a computer program “Desktop radiance 2.0,” and comparing the illuminance level value calculated from the computer program with the values measured from the reading room in order to determine the software accuracy. Then the reading room was simulated with 16 different types of lightshelves made from white aluminum composite material. Then the results from the simulation were analyzed to find seven most suitable lightshelves. The selected lightshelves were simulated by changing to silver aluminum composite material. The simulate conditions were on partly cloudy sky, during the 21st March, the 21st June, and the 21st December. The simulate hours were 9.00, 11.00, 13.00, 15.00, and 17.00 respectively. Considered factors were illumance levels, Guth Visual Comfort Probability (VCP), and uniformity of illuminance.

Comparing all 16 lightshelves using white aluminum composite material, the best one is type D2 which the exterior is 1.50 m. deep and the interior is 0.50 m. deep with 25 degree downward tilt. When they are changed to silver aluminum composite material, type H1 (the exterior is 1.50 m. deep with 25 degree upward tilted and the interior is 0.50 m. deep with 25 degree downward tilt) is the best. Due to the shape of H1 (upward tilt), it can cause penetration of rain into the reading room. Therefore, the recommended lightshelf for the reading room is type D2 with white aluminum composite material. Comparing between the reading room without lightshelf and the one with lightshelf type D2 using white aluminum composite material, it is found that the one with the lightshelf, 11% of all sensor points have higher illuminance levels (average increased illuminance value is 3%); 74.9% of all view points have higher VCP values (average increased VCP value is 26.7%); and 80% of all simulated times have higher uniformity of illuminance values (average increased uniformity of illuminance value is 12.2%).

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2008
Student's signature .....
Thesis Advisors' signature 1. ..... 2. .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณา ความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์มาลินี ศรีสุวรรณ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านทั้งสองได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิทยานิพนธ์ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด และให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง บุคคลที่ต้องขอขอบคุณเป็นอย่างมาก คือ ศาสตราจารย์เกียรติคุณ อรศิริ ปาณินท์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์ ที่ได้กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการวิจัยครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่หอสมุดแห่งชาติทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือทางด้านข้อมูลทางกายภาพ และสถานที่ของห้องอ่านหนังสือ ณ อาคารหอสมุดแห่งชาติ ตลอดจนด้านข้อมูลไฟฟ้าแสงประดิษฐ์

ท้ายที่สุดขอขอบคุณ ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาจนจบปริญญาโท และเพื่อนๆร่วมรุ่นทุกท่านที่ได้ทำงานร่วมกันมาตลอดหลักสูตร ตลอดจนบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งไม่ได้กล่าวในที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ด

สารบัญกราฟ ..... ธ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 3

วิธีการและขั้นตอนดำเนินการวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 พฤติกรรมของแสงและแนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง 5

คุณสมบัติของแสง 5

พฤติกรรมของแสง 6

ทฤษฎีและศัพท์ที่เกี่ยวกับความส่องสว่าง 8

ทฤษฎีความสว่างที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น 9

การศึกษาเกี่ยวกับดวงอาทิตย์ 13

แสงสว่างธรรมชาติ 16

สภาพท้องฟ้า 18

การให้แสงธรรมชาติที่มีผลกับช่องเปิด 19

แนวความคิดของหิ้งสะท้อนแสง 23

ปัจจัยที่นำมาใช้ในการประเมินคุณภาพแสงภายในห้อง 28

กรณีศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

โปรแกรม Desktop Radiance 43

3 การศึกษาลักษณะห้องอ่านหนังสือ กรณีศึกษาอาคารหอสมุดแห่งชาติ 46

ลักษณะทั่วไปของห้องอ่านหนังสือ 46

บทที่ หน้า
ลักษณะรูปแบบของห้องอ่านหนังสือที่เลือกเพื่อใช้ทำการศึกษา..... 53
การวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ ณ หอสมุดแห่งชาติ 56
การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือที่วัดโดยใช้เครื่องมือ
กับการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 58
สรุปผลการทดลองระหว่างการใช้เครื่องมือวัด กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์. 60
4 การทดลองและการวิเคราะห์รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสม 61
การทดลองโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 และการวิเคราะห์ข้อมูล 61
ปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการประเมินผลทางด้าน Visual Performance 78
วิธีการให้ค่าคะแนนของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อ Visual Performance..... 79
การนำเสนอผลที่ได้จากโปรแกรม Desktop Radiance 83
ผลการจำลองการใช้หิ้งสะท้อนแสงรูปแบบต่างๆ 89
การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างไม่มีหิ้งสะท้อนแสง กับหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2
(ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม. มุมเอียงลง 25˚) วัสดุ
อะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน 184
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 196
บทสรุป..... 197
ข้อเสนอแนะ..... 200
บรรณานุกรม..... 201
ประวัติผู้วิจัย..... 204

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงพฤติกรรมของแสงเมื่อตกกระทบกับวัตถุ	6
2	แสดงประเภทต่างๆของแสงบาดตา	11
3	แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าปี พ.ศ. 2544 เฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน	17
4	เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของลักษณะหิ้งสะท้อนแสง	27
5	แสดงค่าระดับความส่องสว่าง IES ภายในอาคาร	28
6	ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคารเรียนระดับมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร	31
7	ลักษณะของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง	32
8	ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Missoula Federal Credit Union	33
9	ปัจจัยกายภาพของหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร	36
10	ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Idaho Central Credit Union Headquarters	37
11	ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Seattle City Hall	39
12	ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร IBM	40
13	ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Automotive Industry Office / Warehouse	41
14	ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Johnson Center	42
15	แสดงความแตกต่างของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้ง 3 วัน	60
16	แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่จำลองในโปรแกรม Desktop Radiance 2.0	62
17	แสดงระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอกที่สามารถบังแดดได้	65
18	แสดงการเปรียบเทียบมุมเอียงของแสงแดดที่กระทบกับหิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอกที่มีระยะยื่น 1.50 เมตร	65
19	แสดงลักษณะแสงที่ตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่มีระยะความลึกภายในที่ต่างกัน 3 รูปแบบ ในวันที่ 21 มีนาคม	66
20	แสดงลักษณะแสงที่ตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่มีระยะความลึกภายในที่ต่างกัน 3 รูปแบบ ในวันที่ 21 มิถุนายน	67

ตารางที่ หน้า

21 แสดงลักษณะแสงที่ตกกระทบ และสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่มีระยะความลึกภายในที่ต่างกัน 3 รูปแบบ ในวันที่ 21 ธันวาคม..... 67

22 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 เมตร และภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม..... 69

23 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ และภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 เมตร ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม..... 70

24 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงขึ้น 15˚ 25˚ 35˚ และภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 เมตร ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม..... 71

25 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ และภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม..... 72

26 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงขึ้น 15˚ 25˚ 35˚ และภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม..... 73

27 แสดงขั้นตอนการจำลองอาคารโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance และการวิเคราะห์เปรียบเทียบ..... 74

28 แสดงจำนวนผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 77

29 แสดงค่าระดับความส่องสว่างตามมาตรฐานของ IES ภายในอาคาร 79

30 แสดงค่าความส่องสว่างกับค่าคะแนนที่ได้..... 80

31 แสดงค่า VCP กับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ 81

32 แสดงค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างกับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ 82

33 แสดงการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย..... 83

34 แสดงหมายเลขหน้าของแต่ละรูปแบบ และสรุปเปรียบเทียบ..... 84

35 แสดงตัวอย่างผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 (ภายนอกระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม.) จำลองในวันที่ 21 มีนาคม 86

ตารางที่ หน้า

36 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม 86

37 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม 87

38 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม..... 88

39 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 89

40 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลอง ในวันที่ 21 มีนาคม 89

41 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม..... 90

42 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มีนาคม..... 91

43 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มีนาคม..... 92

44 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มิถุนายน 93

45 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน..... 93

46 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอความส่องสว่าง กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มิถุนายน.... 94

47 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มิถุนายน 95

48 แสดงการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลอง ในวันที่ 21 ธันวาคม 96

49 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 96

50 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 ธันวาคม..... 97

51 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 ธันวาคม..... 98

52 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A..... 99

53 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม..... 100

ตารางที่ หน้า

54 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 100

55 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 มีนาคม 101

56 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 มีนาคม 102

57 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน 103

58 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน 103

59 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 มิถุนายน 104

60 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 มิถุนายน 105

61 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 106

62 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 106

63 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 ธันวาคม 107

64 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 ธันวาคม 108

65 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 109

66 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม..... 110

67 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 110

68 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม 111

69 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม 112

70 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน 113

71 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน 113

72 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มิถุนายน 114

ตารางที่ หน้า

73 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มิถุนายน..... 115
74 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 116
75 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 116
76 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 ธันวาคม 117
77 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 ธันวาคม 118
78 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 119
79 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม..... 120
80 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 120
81 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 มีนาคม 121
82 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 มีนาคม 122
83 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน 123
84 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน 123
85 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 มิถุนายน..... 124
86 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 มิถุนายน..... 125
87 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 126
88 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 127
89 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 ธันวาคม 127
90 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 ธันวาคม 128
91 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 129
92 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม..... 130

ตารางที่ หน้า

93 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 130
94 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 มีนาคม 131
95 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 มีนาคม 132
96 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน 133
97 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน 133
98 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 มิถุนายน 134
99 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 มิถุนายน..... 135
100 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 136
101 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม..... 136
102 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 ธันวาคม 137
103 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 ธันวาคม 138
104 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 139
105 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ C1 C2 และ C3 140
106 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 ในวันที่ 21 มีนาคม..... 141
107 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 ในวันที่ 21 มิถุนายน 142
108 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 ในวันที่ 21 ธันวาคม..... 143
109 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ในวันที่ 21 มีนาคม..... 144
110 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ในวันที่ 21 มิถุนายน 145
111 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ในวันที่ 21 ธันวาคม..... 146
112 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 ในวันที่ 21 มีนาคม..... 147
113 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 ในวันที่ 21 มิถุนายน 148
114 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 ในวันที่ 21 ธันวาคม..... 149

ตารางที่ หน้า

115 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ D1 D2 และ D3 150
116 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 ในวันที่ 21 มีนาคม 151
117 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 ในวันที่ 21 มิถุนายน 152
118 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 ในวันที่ 21 ธันวาคม 153
119 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 ในวันที่ 21 มีนาคม 154
120 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 ในวันที่ 21 มิถุนายน 155
121 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 ในวันที่ 21 ธันวาคม 156
122 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 ในวันที่ 21 มีนาคม 157
123 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 ในวันที่ 21 มิถุนายน 158
124 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 ในวันที่ 21 ธันวาคม 159
125 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ E1 E2 และ E3 160
126 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 ในวันที่ 21 มีนาคม 161
127 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 ในวันที่ 21 มิถุนายน 162
128 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 ในวันที่ 21 ธันวาคม 163
129 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 ในวันที่ 21 มีนาคม 164
130 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 ในวันที่ 21 มิถุนายน 165
131 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 ในวันที่ 21 ธันวาคม 166
132 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 ในวันที่ 21 มีนาคม 167
133 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 ในวันที่ 21 มิถุนายน 168
134 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 ในวันที่ 21 ธันวาคม 169
135 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ F1 F2 และ F3 170
136 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 ในวันที่ 21 มีนาคม 171
137 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 ในวันที่ 21 มิถุนายน 172
138 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 ในวันที่ 21 ธันวาคม 173
139 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ G1 174
140 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ในวันที่ 21 มีนาคม 175

ตารางที่		หน้า
141	แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ในวันที่ 21 มิถุนายน	176
142	แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ในวันที่ 21 ธันวาคม.....	177
143	แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ H1	178
144	แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนรวมทุกปัจจัยของหิ้งสะท้อนแสง แบบ A – H.....	179
145	แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนรวมทุกปัจจัยของหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 C1 D2 E1 F2 G1 และ H1 โดยใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว	183
146	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ผลการจำลองแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง กับแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน	186
147	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มีนาคม	187
148	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มิถุนายน.....	188
149	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 ธันวาคม	189
150	แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP ผลการจำลองแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับ แบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน	190
151	แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) จำนวน ที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มีนาคม.....	191
152	แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) จำนวน ที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มิถุนายน	192
153	แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) จำนวน ที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 ธันวาคม.....	193
154	แสดงการเปรียบเทียบค่าสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ผลการจำลองแบบไม่มี หิ้งสะท้อนแสงกับแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน.....	194
155	แสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น และลดลง ในวันที่ 21 มีนาคม มิถุนายน และธันวาคม.....	195

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดง Visible Spectrum ของคลื่นแสง (Visible Light).....	5
2	แสดงการแผ่รังสีดวงอาทิตย์	6
3	แสดงมุมตัน (Solid Angle)	8
4	แสดงการกระทบของแสงสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน	9
5	แสดงความสัมพันธ์ของการส่องสว่างกับความจ้า	10
6	แสดงลักษณะความสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม	10
7	แสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน	13
8	แสดงมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle)	13
9	มุมตัด (Profile Angle).....	14
10	แสดงการโครจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	14
11	แสดงส่วนครึ่งวงกลมของ Sky vault กับตำแหน่งทางโคจรของดวงอาทิตย์ ...	15
12	แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Sun Charts).....	16
13	แสดงท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky).....	18
14	แสดงท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky).....	19
15	แสดงท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)	19
16	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณค่าความส่องสว่างภายในจากช่องเปิดแบบต่างๆ	21
17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของห้องและความสูงของช่องเปิด	21
18	แสดงช่องเปิดด้านเดียวมีปริมาณแสงที่บริเวณหลังห้องลดลง 19% 38% และ 63% ตามลำดับ	22
19	แสดงกฎในการตรวจสอบระยะของ (Daylight Zone)	22
20	แสดงเมื่อใช้หิ้งสะท้อนแสง พื้นที่ (Daylight Zone) จะเพิ่มขึ้น.....	23
21	แสดงรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 3 รูปแบบ	23
22	แสดงรูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสงที่มีการใช้งานจริง.....	24
23	แสดงแนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง	24
24	แสดงระยะความลึกภายในของหิ้งสะท้อนแสง	25
25	แสดงความลึกของห้อง และความสูงของกระจกในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง.	25
26	แสดงการปรับมุมเอียงขึ้นของหิ้งสะท้อนแสง.....	25
27	แสดงพื้นผิวการสะท้อนแสงแบบกระจาย	26

ภาพที่ หน้า

28 แสดงพื้นผิววัสดุการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา 26
29 แสดงตัวแปรต่างๆ ในการศึกษาห้องเรียน 30
30 แสดงรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง 31
31 แสดงรูปตัด และการเปรียบเทียบกราฟปริมาณความส่องสว่างภายในอาคาร .. 33
32 แสดงปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาอาคารสำนักงาน 35
33 แสดงการใช้หิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Idaho Central Credit Union Headquarters 37
34 แสดงผลการทดลองหิ้งสะท้อนแสงอาคารสำนักงาน Seattle City Hall..... 38
35 แสดงผลการทดลองหิ้งสะท้อนแสงอาคารสำนักงาน IBM..... 39
36 แสดงรูปตัดการใช้หิ้งสะท้อนอาคาร Automotive Industry Office / Warehouse 40
37 แสดงการใช้หิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Johnson Center..... 41
38 แสดงการคำนวณภาพแบบ Human Sensitivity 44
39 แสดงการคำนวณภาพแบบ False Color..... 44
40 แสดงการคำนวณภาพแบบ Iso Contour 44
41 แสดงแผนผังที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา อาคารหอสมุดแห่งชาติ กรุงเทพฯ 46
42 แสดงสภาพแวดล้อมที่ตั้งอาคารหอสมุดแห่งชาติ ในเขตกรุงเทพฯ..... 47
43 แสดงลักษณะรูปแบบอาคารภายนอกในแต่ละทิศ..... 47
44 แสดงผังพื้นชั้นที่ 1 ห้องบริการข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และบัตรรายการ (ด้านซ้าย) และห้องวารสารและหนังสือพิมพ์ (ด้านขวา)..... 48
45 แสดงผังพื้นห้องบริการข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และบัตรรายการ 48
46 แสดงรูปตัดห้องบริการข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และบัตรรายการ 48
47 แสดงบรรยากาศภายในห้องบริการข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และบัตรรายการ 48
48 แสดงผังพื้นห้องบริการวารสาร และหนังสือพิมพ์ 49
49 แสดงรูปตัดห้องบริการวารสาร และหนังสือพิมพ์..... 49
50 แสดงบรรยากาศภายในห้องบริการวารสาร และหนังสือพิมพ์ 49
51 แสดงผังพื้นชั้น 2 ห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์ (ด้านซ้าย) และห้องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ด้านขวา) 49
52 แสดงผังพื้นห้องสังคมศาสตร์และภาษาศาสตร์ 50

ภาพที่ หน้า

53 แสดงรูปตัดห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์ 50
54 แสดงบรรยากาศภายในห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์ 50
55 แสดงผังพื้นห้องวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี 50
56 แสดงรูปตัดห้องวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี 51
57 แสดงบรรยากาศภายในห้องวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี 51
58 แสดงผังพื้นอาคารชั้น 3 ห้องศิลปะ วรรณคดี ประวัติศาสตร์ 51
59 แสดงผังพื้นห้องศิลปะ วรรณคดี ประวัติศาสตร์ 51
60 แสดงรูปตัดห้องศิลปะ วรรณคดี ประวัติศาสตร์ 52
61 แสดงบรรยากาศภายในห้องศิลปะ วรรณคดี ประวัติศาสตร์ 52
62 แสดงผังพื้นห้องสังคมศาสตร์และภาษาศาสตร์ ที่ใช้เป็นห้องต้นแบบ
ในการศึกษา 52
63 แสดงการจำลองผังพื้นห้องที่ทำการศึกษา 53
64 แสดงรูปตัดของห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา 53
65 แสดงรูปด้านของห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา 54
66 แสดงทัศนียภาพภายในห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา 54
67 แสดงรูปแบบภายนอกห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา 54
68 แสดงเครื่องมือวัดแสง คือ Lux Meter รุ่น Testo 545 55
69 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดจุดต่างๆ 55
70 แสดงค่าการสะท้อนแสง และค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุต่างๆ 55
71 แสดงผังไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ห้องที่ทำการศึกษา 56
72 แสดงตำแหน่งจุดวัดแสงในห้องอ่านหนังสือ 56
73 แสดงบรรยายกาศภายในวัน และเวลาที่ทำการวัดด้วยเครื่องมือ 57
74 แสดงการจำลองห้องต้นแบบในโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 61
75 แสดงค่าการสะท้อนแสง และค่าการส่องผ่านแสง ที่จำลองใน
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 62
76 แสดงรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการจำลอง 63
77 แสดงรูปตัด และรูปด้านตำแหน่งที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง 64
78 แสดงระยะความลึกภายในของหิ้งสะท้อนแสง 66
79 แสดงมุมเอียงของหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอก และภายใน 68

ภาพที่		หน้า
80	แสดงวัสดุของหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการจำลองในโปรแกรม Desktop Radiance	74
81	แสดงตำแหน่งการวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ.....	78
82	แสดงตำแหน่งมุมมองในแนวราบ	78
83	แสดงแบบแปลนของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน.....	197
84	แสดงรูปตัด A ของหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน	197
85	แสดงรูปตัด B ของหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน	197
86	แสดงรูปด้าน 1 ทางด้านทิศตะวันออกของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2.....	197
87	แสดงการเปรียบเทียบทัศนียภาพภายนอกที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กับหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2.....	198
88	แสดงแบบขยายทัศนียภาพภายนอกที่ติดตั้งรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ...	198
89	แสดงการเปรียบเทียบทัศนียภาพภายในที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงกับติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 มีนาคม.....	198
90	แสดงการเปรียบเทียบทัศนียภาพภายในที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงกับติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 มิถุนายน	199
91	แสดงการเปรียบเทียบทัศนียภาพภายในที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงกับติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 ธันวาคม.....	199

สารบัญกราฟ

กราฟที่		หน้า
1	แสดงค่าปริมาณแสงสว่างของท้องฟ้า (lux) เฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน ปี พ.ศ. 2544	17
2	แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ โดยใช้เครื่องมือวัด	57
3	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในวันที่ 8 มกราคม 2548	58
4	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในวันที่ 10 มกราคม 2548	59
5	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในวันที่ 13 มกราคม 2548	59
6	แสดงช่วงค่าความส่องสว่างกับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	80
7	แสดงช่วงค่า VCP กับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	81
8	แสดงช่วงค่า Uniformity of Illumination กับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	82
9	แสดงการวิเคราะห์คะแนนของผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A	99
10	แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ B_1 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง	109
11	แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C_1 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง	119
12	แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C_2 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง	129
13	แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C_3 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง	139
14	แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 1.00 และ 1.50 ม. กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสง	140
15	แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของการจำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 เมตร ภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 15° 25° และ 35° กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสง	150
16	แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงลง 15° 25° และ 35°ภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 เมตร กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสง	160

กราฟที่ หน้า

17 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงขึ้น 15° 25° และ 35° ภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 เมตร กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสง 170

18 แสดงการวิเคราะห์คะแนนของผลการจำลองแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ G1 174

19 แสดงการวิเคราะห์คะแนนของผลการจำลองแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ H1 178

20 แสดงการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงแบบ A – H ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน 180

21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับสีเงินมันวาว..... 181

22 แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP ระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับสีเงินมันวาว..... 182

23 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับสีเงินมันวาว 182

24 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนรวมของทุกปัจจัยระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว 184

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงมากที่สุด แนวความคิดการอนุรักษ์พลังงานนอกจากจะช่วยลดวิกฤตการณ์การขาดแคลนพลังงานแล้ว ยังช่วยกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ อาทิเช่น การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทดแทนแสงประดิษฐ์ เนื่องจากแสงสว่างจากธรรมชาติมีความร้อนปะปนเข้ามาน้อยกว่าแสงประดิษฐ์ ดังนั้นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร จึงเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของแสงประดิษฐ์ได้โดยตรง และยังสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ อันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาสู่ภายในอาคารควรหลีกเลี่ยงรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ แต่ควรนำแสงสว่างที่เกิดจากการสะท้อนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อย่างไรก็ตามแสงสว่างที่เกิดจากธรรมชาตินั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงยากที่จะควบคุมปริมาณแสงสว่างจากธรรมชาติให้คงที่ในระดับที่ต้องการได้ อาทิเช่น การนำพลังงานแสงธรรมชาติมาใช้ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงได้อย่างเหมาะสมเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งแสงสว่างที่เกิดจากการสะท้อนแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่นำเอาพลังงานสิ่งแวดล้อมในพื้นที่มาใช้ เพื่อเป็นการปรับปรุงภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย โดยการอาศัยแสงประดิษฐ์ให้น้อยที่สุด ซึ่งแสงธรรมชาติที่เกิดจากการสะท้อนแสงจะมีประสิทธิภาพมากกว่าในเชิงความร้อนที่ลดลง รวมทั้งค่าความส่องสว่างที่สม่ำเสมอ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารมีข้อดีคือ สามารถประหยัดพลังงานความสว่างในอาคารจากแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ลงได้ แต่มีข้อเสียคือ ปริมาณความเข้มของแสงในแต่ละวัน แต่ละเวลามีค่าไม่คงที่เป็นการยากที่จะควบคุมปริมาณแสง ทิศทาง และการกระจายแสงให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ อีกทั้งยังทำให้ความร้อนส่วนหนึ่งที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านกระจก

สะสมอยู่ภายในอาคารอีกด้วย โดยเฉพาะอาคารที่มีระบบปรับอากาศจะต้องใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น จึงต้องขจัดความร้อนส่วนนี้ออกไป

แสงอาทิตย์เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นเปลือง หรือหมดไปประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแสงสว่างในจำนวนที่พอเหมาะ และมีช่วงเวลากลางวันที่ยาวนานตลอดทั้งปีไม่มืดครึ้มเหมือนในประเทศเมืองหนาว และไม่จัดจ้าจนเกินไปเหมือนประเทศเมืองร้อนแห้ง เพราะท้องฟ้าของประเทศไทยมักจะมีเมฆฝนที่เป็นเครื่องกรองแสงแดดที่แรงกล้าอยู่บ้าง เราควรที่จะนำคุณสมบัติทางธรรมชาติอันได้เปรียบนั้นมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด อีกทั้งแสงในจำนวนที่พอเหมาะทำให้เกิดความรู้สึกสบายมากกว่าแสงประดิษฐ์ อย่างไรก็ดีแสงสว่างในเวลากลางวันจะมาควบคู่กับพลังงานความร้อน ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงหรือลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคาร

ในปัจจุบันอาคารหอสมุดแห่งชาติ มีการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ตลอดทั้งวัน เนื่องจากมีระดับความส่องสว่างที่ไม่เพียงพอกับการอ่านหนังสือ และรูปแบบอาคารมีการออกแบบห้องอ่านหนังสือให้มีหน้าต่างด้านข้าง ซึ่งความสว่างจากช่องเปิดด้านข้างนี้เป็นแหล่งกำเนิดแสงบาดตา จึงเป็นสาเหตุของความไม่สบายตาในการมองเห็น (Discomfort Glare) เพราะบริเวณที่นั่งใกล้ช่องเปิดมักได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Sunlight) และเป็นบริเวณที่มีมุมมองการมองเห็นแสงกระจายจากท้องฟ้าได้มากที่สุด (Skylight) ดังนั้นจึงมีการแก้ไขปัญหาแสงบาดตาโดยใช้มู่ลี่บังแดด ซึ่งทำให้ผู้ใช้อาคารไม่สามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอกได้ ในการวิจัยครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษารูปแบบหิ้งสะท้อนแสง เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

1.1 ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) ที่แตกต่างกันมากระหว่างพื้นที่อ่านหนังสือบริเวณใกล้ช่องเปิดกับบริเวณกลางห้องถึงหลังห้อง ทำให้เกิดปัญหาในการปรับสายตาของผู้ใช้อาคาร (Eye Adaptation) ก่อให้เกิดแสงบาดตา

1.2 ปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ ตำแหน่งพื้นที่การใช้งาน มีมากหรือน้อยเกินไป ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความส่องสว่างในการกระจายแสง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 ศึกษากายภาพ และสภาพแวดล้อมของห้องอ่านหนังสือ ณ หอสมุดแห่งชาติ ในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคาร

2.2 ศึกษารูปแบบ และวัสดุของหิ้งสะท้อนแสงที่มีความเหมาะสมกับอาคารหอสมุดแห่งชาติ เพื่อลดพลังงานแสงประดิษฐ์ในอาคาร

2.3 ศึกษา และเสนอแนะรูปแบบ วัสดุของหิ้งสะท้อนแสงในเชิงแนะแนวในการปรับปรุงอาคารที่ส่งผลให้ระดับค่าความส่องสว่างดีขึ้น ลดแสงบาดตา และมีค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เหมาะสม

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ศึกษาอาคารใหญ่หอสมุดแห่งชาติในกรุงเทพมหานคร

3.2 ศึกษากายภาพของห้องอ่านหนังสือ โดยการวัดค่าความส่องสว่าง เก็บข้อมูลแสงธรรมชาติ 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลา 10:00 13:00 และ 16:00 น.

3.3 กำหนดการทดลองใช้หิ้งสะท้อนแสงด้วยโปรแกรม (Desktop Radiance) ตำแหน่งเส้นรุ้งที่ 14˚ N ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน 21 ธันวาคม ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) เนื่องจากเป็นสภาพท้องฟ้าที่เกิดขึ้นเกือบตลอดทั้งปีในประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2543 : ไม่ปรากฏเลขหน้า)

4. วิธีการและขั้นตอนดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติ และหิ้งสะท้อนแสง

4.2 สำรวจอาคารหอสมุดแห่งชาติ และห้องอ่านหนังสือ โดยการวัดค่าความส่องสว่างและวัดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายใน โดยใช้เครื่องมือวัดแสง Lux Meter รุ่น Testo 545 เพื่อให้ทราบถึงค่าความส่องสว่าง และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสภาวะความสบายทางสายตา

4.3 ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance 2.0 ที่ใช้ในการจำลองสภาพแสงสว่างภายในห้องที่ทำการศึกษา ทำการเปรียบเทียบการคำนวณจากโปรแกรมกับการวัดสถานที่จริงเพื่อทดสอบความถูกต้องแม่นยำของโปรแกรม

4.4 กำหนดตัวแปรในการศึกษาหิ้งสะท้อนแสงประกอบด้วย ตัวแปรคงที่ ได้แก่ รูปแบบของหน้าต่าง ขนาดช่องเปิด ระดับโต๊ะอ่านหนังสือ ตัวแปรอิสระ ได้แก่ รูปแบบ และวัสดุของหิ้งสะท้อนแสง ที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

4.5 ทำการทดลองโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 จำลองสภาพแสงสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ ที่มีการใช้รูปแบบ วัสดุหิ้งสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน

4.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง เพื่อให้ได้รูปแบบและวัสดุหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับอาคารหอสมุดแห่งชาติ โดยคำนึงถึงค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงอาคารให้มีการใช้แสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 เข้าใจถึงความสำคัญของตัวแปร ในการกำหนดรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 สามารถนำผลการทดลองรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมมาใช้กับห้องอ่านหนังสือของอาคารหอสมุดแห่งชาติ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการใช้แสงธรรมชาติ

5.3 เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัย โดยการนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

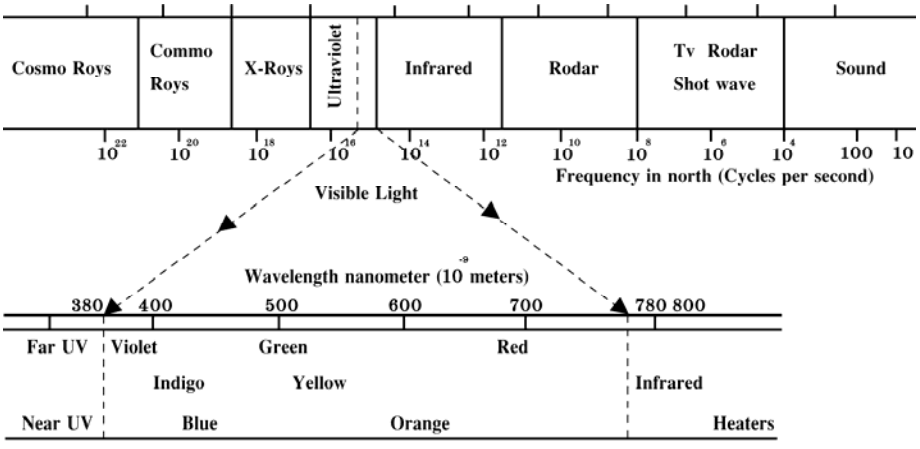
5.4 เป็นแนวทางในการศึกษาวิเคราะห์การใช้หิ้งสะท้อนแสง เพื่อปรับใช้และพัฒนาให้เหมาะสมกับอาคารอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

พฤติกรรมของแสงและแนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง

1. คุณสมบัติของแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงเป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้ โดยการเคลื่อนที่ของแสงอยู่ในรูปของคลื่น แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยไม่ต้องอาศัยตัวนำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากดวงอาทิตย์ (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม 2521 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ถ้าหากพิจารณาพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ ตั้งแต่พลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดจนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นสูงสุด พบว่าแสงมีพลังงานความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 – 0.78 ไมครอน (Micron) หรือ 380 – 780 นาโนเมตร (Nanometers) ประกอบด้วย Spectrum หลายๆ สีอันเกิดจากความถี่ และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะช่วยทำให้เกิดการมองเห็น ดังภาพที่ 1

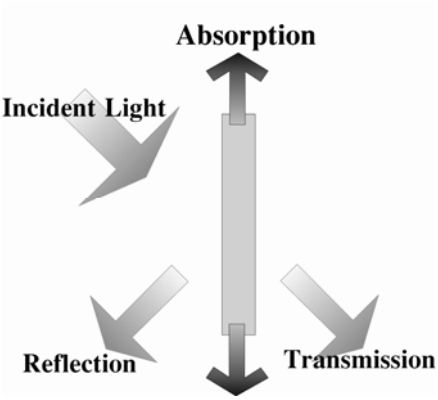


ภาพที่ 1 แสดง Visible Spectrum ของคลื่นแสง (Visible Light)

ที่มา : B. Stein and Reynolds, Mechanical and Electrical Equipment for Building (New York : John Wiley & Sons Co., 1988), 1050.

2. พฤติกรรมของแสง

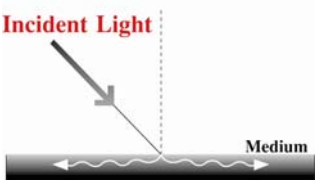
พลังงานแสงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยพลังงานแบบรังสีตรง และแบบรังสีกระจาย เมื่อแสงส่องผ่านอนุภาคของชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดการหักเห และการสะท้อนก่อนที่จะส่องลงมายังผิวโลก เมื่อกระทบกับพื้นผิวหรือวัตถุใดๆ จะเกิดลักษณะ 3 ประการ คือ การดูดซึม (Absorption) การสะท้อน (Reflection) และการส่องผ่าน (Transmission) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุและพื้นผิวของแต่ละชนิด ดังภาพที่ 2



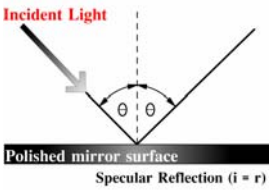
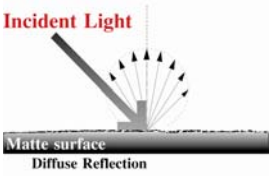
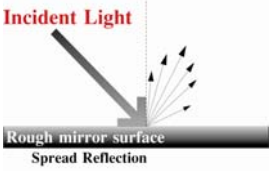
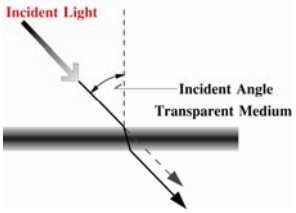
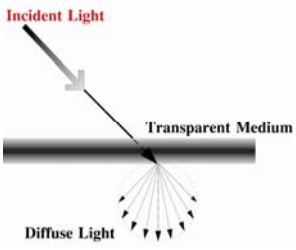
ภาพที่ 2 แสดงการแผ่รังสีดวงอาทิตย์
ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ,การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539), 30.

พฤติกรรมของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆ มีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงพฤติกรรมของแสงเมื่อตกกระทบกับวัตถุ

พฤติกรรมของแสง	ลักษณะต่างๆ
1. การดูดกลืน (Absorption) 	พฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบวัตถุแล้ว ถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป โดยทั่วไปเมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน (Heat)
2. การสะท้อน (Reflection)	พฤติกรรมที่แสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนออกโดยความถี่ของคลื่นแสงนั้น ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งลักษณะของการสะท้อนแบ่งออกเป็น

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พฤติกรรมของแสง	ลักษณะต่างๆ
2.1 การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา  2.2 การสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์  2.3 การสะท้อนแสงแบบกระจัดกระจาย  	**- การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา** (Specular Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดขึ้น เมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque Material) ที่มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (Polish Surface) มุมที่แสงตกกระทบ (Angle of Incident) จะเท่ากับมุมสะท้อน (ภาพที่ 2.1) **- การสะท้อนแบบกระจาย** (Diffuse Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อแสงที่ตกกระทบกับวัตถุทึบแสงที่มีผิวไม่เรียบ ลักษณะผิวด้านขรุขระไม่สม่ำเสมอแสงสะท้อนจะมีทิศทางหลายทิศทาง หากผิววัตถุไม่เรียบสม่ำเสมอหรือผิวด้าน เมื่อแสงตกกระทบจะสะท้อนแบบการกระจายแสงอย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างที่เท่าๆกัน ในทุกมุมสะท้อนในทุกๆทิศทางเหนือพื้นผิว (ภาพที่ 2.2) แต่หากผิววัสดุกึ่งเรียบมัน (Semi Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบที่ผสานกับรูปแบบการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (Semi Diffuse Reflection) (ภาพที่ 2.3) เช่น การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน (Spread Reflection)
3. การส่องผ่าน (Transmission) 3.1 ตัวกลางโปร่งใส  3.2 ตัวกลางโปร่งแสง  	เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลาง แล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง จะเกิดขึ้นเฉพาะตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านได้ แสงบางส่วนถูกดูดกลืน และบางส่วนถูกสะท้อนออก แสงส่วนที่เหลือจะทะลุผ่าน ปริมาณแสงทั้งหมดที่ตกกระทบที่ตัวกลางจะเท่ากับปริมาณ แสงที่ถูกดูดกลืน + ปริมาณแสงที่สะท้อน + ปริมาณแสงที่ส่องผ่าน ซึ่งคุณสมบัติของตัวกลางจะทำให้แสงส่องผ่านไปสู่อีกด้านหนึ่งของวัตถุในลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้ **- ตัวกลางโปร่งใส** (Transparent Medium) แสงจะเกิดการหักเห หรือเปลี่ยนทิศทาง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านในลักษณะของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงอีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกใส เป็นต้น (ภาพที่ 3.1) **- ตัวกลางโปร่งแสง** (Translucent Medium) แสงที่ส่องผ่านจะมีลักษณะเป็นแสงกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงอีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 3.2)

ที่มา : M. David Egan and Victor W. Olgyay, Architectural Lighting, 2nd ed. (New York : McGraw – Hill Book Co., 2002), 57.

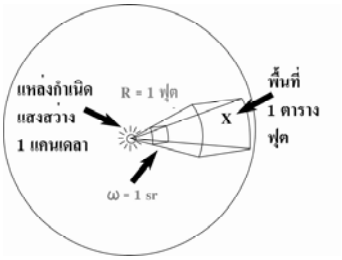
3. ทฤษฎีและศัพท์ที่เกี่ยวกับความส่องสว่าง (Illuminance Theory)

3.1 ปริมาณแสง (Luminous Flux)

รังสีหรือกำลังของแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ใน 1 หน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงาน หรือกำลังงานของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงในรูปแบบของเส้นแรงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen, lm)

3.2 มุมตัน (Solid Angle)

เป็นการวัดสัดส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลมที่ถูกครอบคลุมด้วยพื้นที่สมมุติรูปทรงกรวยที่มีส่วนแหลมที่สุดของกรวยอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมนั้นๆ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ผิวของทรงกลมส่วนที่พิจารณา ต่อรัศมีของทรงกลมนั้นๆ ยกกำลังสอง มีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (Steradian, sr) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงมุมตัน (Solid Angle)
ที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, <u>เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง</u>, พิมพ์ครั้งที่ 4 (กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2545, 10.

3.3 ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity)

ความเข้มแสงเรียกอีกอย่างว่า กำลังส่องสว่าง (Candle Power) เป็นค่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงใน Solid Angle ใดๆ ในทิศทางหนึ่งทิศทางใด ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความมากน้อยของปริมาณแสงในทิศทางต่างๆ ของแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นลูเมนต่อสเตอเรเดียน (Lumen per Steradian) หรือที่เรียกว่า แคนเดลา (Candela)

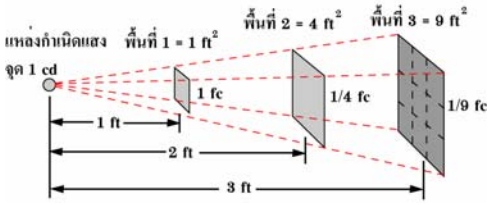
3.4 ความส่องสว่าง (Illuminance)

ปริมาณแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่หน่วยใดๆ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หากทรงกลมสมมุติมีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่ตกกระทบพื้นผิวทรงกลมในพื้นที่ 1 ตารางฟุต ความส่องสว่างจะมีค่า 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล แต่หากทรงกลมสมมุติมีรัศมี 1

เมตร แสง 1 ลูเมน ตกลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรของผิวทรงกลม ความส่องสว่างจะมีค่า 1 ลักซ์ โดยความส่องสว่าง 1 ฟุตแคนเดิล เท่ากับ 10.76 ลักซ์

3.5 กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law)

เป็นกฎที่ทำให้ทราบว่าค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของแสงสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้น หรือวัตถุจะแปรผันตรงกับกำลังส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงสว่าง และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างถึงจุดที่รองรับแสงสว่างหรือจุดที่แสงสว่างตกกระทบ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการกระทบของแสงสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน
ที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง, พิมพ์ครั้งที่ 4 (กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2545, 152.

4. ทฤษฎีความสว่างที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น

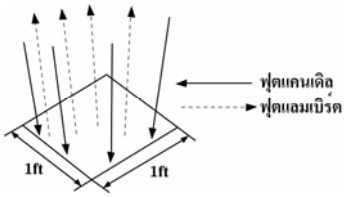
4.1 ความสว่าง (Luminance)

ความส่องสว่างที่สะท้อนหรือส่องผ่านออกมาจากวัตถุ เข้าตาทำให้สามารถมองเห็นวัตถุได้ โดยวัตถุนั้นจะมีคุณสมบัติเป็นแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m2) หรือฟุตแลมเบิร์ต (Foot – Lambert) ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกัน จะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับที่ต่างกัน คือความสว่างต่างกัน สาเหตุที่ต่างกันเนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่างกัน

4.2 ความจ้า (Brightness)

เมื่อมีการส่องสว่างออกจากแหล่งกำเนิดแสง แสงสว่างจะไปตกกระทบถูกวัตถุแล้วจะมีการสะท้อนเข้าสู่ตา แสงสว่างจะสะท้อนออกมามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุที่ถูกแสงสว่างตกกระทบนั้น อาจจะดูดกลืนแสงสว่างเข้าไปในพื้นผิวทั้งหมดหรืออาจจะสะท้อนออกมาทั้งหมด ถ้ามีการสะท้อนแสงสว่างออกมามากก็อาจจะกล่าวได้ว่ามีความจ้ามาก หรือสะท้อนแสงสว่างออกมาน้อยก็อาจจะกล่าวได้ว่ามีความจ้าน้อย ซึ่งความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนออกจากวัตถุหรือ

พุ่งเข้าตาของเรา สามารถวัดค่าต่อหน่วยพื้นที่ของการสะท้อนแสงสว่างได้ มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Foot – Lambert) เป็นค่าที่สายตาคนเราเห็น หรือที่เรียกว่าความจ้า ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของการส่องสว่างกับความจ้า
ที่มา : พิบูลย์ ดิษฐอุดม, การออกแบบระบบแสงสว่าง (กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540), 16.

4.3 ความเปรียบต่าง (Contrast)

ความแตกต่างของความดำ – ขาว ระหว่างวัตถุกับสิ่งที่อยู่รอบข้าง ดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าเมื่อความแตกต่างของความดำ – ขาว ยิ่งมากจะทำให้การมองเห็นง่ายขึ้น ในขณะที่ความต้องการปริมาณแสง และเวลาในการปรับภาพมีน้อยลง ในขณะเดียวกันหากมีค่าความแตกต่างของความดำ – ขาว ที่มากเกินไปจนสายตาเกิดการปรับตัว เป็นผลให้สายตาไม่สามารถมองเห็นได้อย่างอิสระ หรือเกิดการระคายเคืองของสายตานั้น คือ การเกิดแสงบาดตา (Glare) ความเปรียบต่างสามารถกำหนดได้ด้วยอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างความสว่างของวัตถุ หรือจุดสังเกตและความสว่างของสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้างได้ดังนี้

เมื่อ L1 คือ ความสว่างของสภาพแวดล้อม
L2 คือ ความสว่างของวัตถุ

ภาพที่ 6 แสดงลักษณะความสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม
ที่มา : พิบูลย์ ดิษฐอุดม, การออกแบบระบบแสงสว่าง (กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540), 21.

4.4 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity)

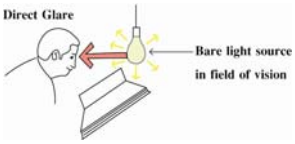
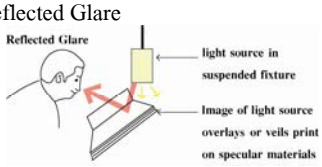
ลักษณะของแสงที่มีความสว่างใกล้เคียงกัน ทำให้มีการปรับสายตาน้อย ซึ่งการปรับตัวของสายตา กรณีความสว่างเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วการเคลื่อนที่จากที่มืดไปที่สว่าง สายตา

จะใช้เวลาในการปรับตัวนานกว่า พื้นที่ทำงานที่ต้องการความส่องสว่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ห้อง เนื่องจากอาจมีการเคลื่อนพื้นที่ทำงาน (Working Plane) ไปยังจุดต่างๆของห้อง โดยอัตราความส่องสว่างต่ำสุดต่อความส่องสว่างเฉลี่ยไม่ควรต่ำกว่า 0.8 พื้นที่ใช้งานที่มีรูปแบบการใช้งานไม่เหมือนกัน จะมีความต้องการความสม่ำเสมอในระดับที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ความสว่างบริเวณพื้นที่รอบจุดการทำงาน ควรมีความส่องสว่างไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ของความส่องสว่างพื้นที่รอบจุดการทำงาน หรือพื้นที่ใช้สอยที่อยู่ใกล้เคียงกัน เช่น ทางเดินภายนอก ระเบียง ไม่ควรมีความส่องสว่างต่างจากพื้นที่ใช้สอยมากกว่า 5 : 1 เป็นต้น

4.5 แสงบาดตา (Glare)

เกิดขึ้นจากแสงที่มีความเข้มสูงเข้าสู่มุมมองของสายตา โดยแสงนี้มีความสว่างสูงมากหรือมีความจ้ามาก เมื่อเทียบกับความจ้าในสภาพแวดล้อมทั่วไป มีผลทำให้มีปัญหาในการมอง สามารถแบ่งแสงบาดตา ออกเป็น 4 ประเภทดังนี้ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงประเภทต่างๆของแสงบาดตา

ประเภทของแสงบาดตา	รายละเอียด
A. Direct Glare	**Direct Glare** เกิดจากการมองแหล่งกำเนิดแสงโดยตรงที่มีความสว่างมาก จึงทำให้ทำลายความสามารถในการมองเห็นของผู้มอง ทำให้ตาพร่า และมองไม่เห็นไปชั่วขณะ
B. Discomfort Glare 	**Discomfort Glare** เป็นแสงบาดตาที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตา โดยไม่มีผลต่อความสามารถในการมองเห็น มักมีผลมาจากการเกิดความเปรียบต่างที่มากเกินไประหว่างแหล่งกำเนิดแสงที่สว่างมาก กับความสว่างของสภาพแวดล้อมที่มืดกว่ามุมมอง
C. Veiling Glare	**Veiling Glare** เกิดจากแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างมากในบริเวณที่เรามองวัตถุที่มีความสว่างน้อยกว่า เมื่อผิววัตถุที่สะท้อนแสงเป็นผิวเรียบมัน เช่น เงาสะท้อนแสงจากหลอดไฟที่เกิดขึ้นบนจอคอมพิวเตอร์ หรือพื้นที่มีผิวมัน
D. Reflected Glare 	**Reflected Glare** เกิดจากแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบไปยังพื้นผิวเรียบมันแสงสะท้อนเข้าสู่ตา โดยมุมจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเข้าสู่ตา

ที่มา : M. David Egan and Victor W. Olgyay. , Architectural Lighting (New York : Mc Graw – Hill, 2002), 27 - 28.

4.6 แนวทางการควบคุมแสงบาดตา (Glare)

- เปลี่ยนตำแหน่งและมุมของวัตถุ (Placement and Orientation) เมื่อเกิดแสงบาดตา สามารถปรับเปลี่ยนมุม และตำแหน่งของวัตถุที่ได้รับแสงนั้น ให้เกิดมุมเบี่ยงไปจากมุมสะท้อน

- การลดความเปรียบต่าง (Reduce the Contrast) โดยปรับค่าการส่องสว่างบริเวณภายในอาคารโดยรอบช่องเปิดหรือแหล่งกำเนิดแสง เพื่อลดความแตกต่างของปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นให้มีความแตกต่างน้อยลง

- การใช้ม่านและอุปกรณ์บังแดด (Blinds and Shades) เมื่อเกิดแสงบาดตา การใช้ม่าน และอุปกรณ์บังแดด รวมทั้งการใช้หิ้งสะท้อนแสง (Lightshelf) บริเวณช่องเปิดจะช่วยปรับลดความจ้าที่แตกต่างของแสงสว่างได้

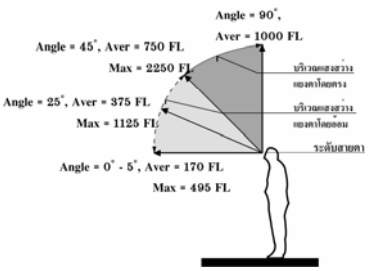
4.7 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น

แสงมีความสำคัญต่อการมองเห็นเป็นอย่างมากไม่เพียงแต่แสงต้องอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ แต่แสงจะต้องมีคุณภาพด้วย เพื่อก่อให้เกิดรูปแบบแสงที่มีประสิทธิภาพในการมองเห็น ซึ่งการที่จะสามารถออกแบบการใช้แสงที่เหมาะสมได้นั้น ยังมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาทางด้านกายภาพของการรับรู้ผ่านทางสายตา และความต้องการในการมองเห็นของมนุษย์

4.7.1 ธรรมชาติของการมองเห็น คุณภาพแสงจะเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของสเปคตรัม ประกอบกับความสมบูรณ์ของตา นอกจากดวงตาของแต่ละบุคคลจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน และลักษณะกิจกรรมรวมทั้งความถี่ในการใช้สายตา ซึ่งดวงตาต้องการปรับตัวในการเปลี่ยนแปลงแสงรูปแบบต่างๆ การปรับตัวของสายตา (Eye Adaptation) มักเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่าง และเวลาที่ใช้ในการมอง ดวงตาใช้เวลาในการปรับตัวในที่มืดเป็นเวลานานกว่าในที่สว่าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสว่าง จากความสว่างที่มากไปยังความสว่างที่น้อย ตาจะใช้เวลาในการปรับตัวเป็นระยะเวลาที่นานพอสมควร ในการออกแบบให้เกิดลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงความสว่างในปริมาณมากอย่างกะทันหัน จะทำให้เกิดความพยายามในการปรับตัวของสายตาอย่างมากและรวดเร็ว มีผลทำให้ตาไม่สามารถมองเห็นภาพในชั่วระยะเวลาหนึ่งในทางตรงกันข้าม ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความสว่างจากความมืดไปยังที่ที่มีความสว่างมาก ตาจะมีความต้องการในการปรับตัวน้อยกว่า

4.7.2 มุมมองของสายตา สายตามีความสามารถในการเห็นภาพในมุมที่จำกัด โดยแต่ละมุมมองของสายตาจะมีความสามารถในการรับภาพ และความสว่างที่แตกต่างกันมุมมอง (Angle of Degree) ของสายตาในมุมมองต่างๆ มีความสามารถในการยอมรับระดับความจ้าที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 7) ในมุมที่สายตาเจาะจงมอง สายตาสามารถยอมรับระดับความจ้าได้น้อย ในขณะที่มุมที่กว้างออกไปจนถึงนอกพื้นที่ที่สายตามองเห็น สายตาจะสามารถยอมรับแสงได้มาก

ขึ้นเรื่อยๆจึงอาจจะพอสรุปได้ว่ามุมมองที่อยู่ในระดับสายตา จะมีความสำคัญมากในการออกแบบการใช้แสง



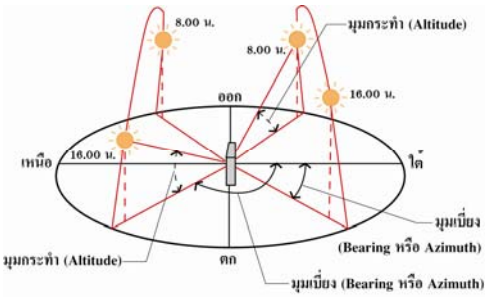
ภาพที่ 7 แสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน
ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า (กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538), 94.

5. การศึกษาเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

มุมที่เกิดจากตำแหน่งโคจรของดวงอาทิตย์ มีดังนี้ คือ

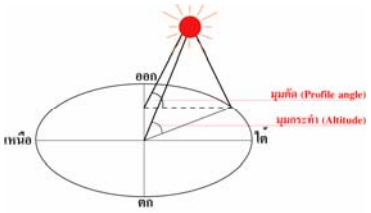
- มุมกระทำ (Altitude Angle) คือ มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำจริงในแนวตั้งกับระนาบขอบฟ้า อ่านค่าได้ด้วยมุมตัด (Profile Angle) กับมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle)

- มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) คือ มุมตามแนวระดับที่ดวงอาทิตย์กระทำกับทิศใต้ ซึ่งตอนเช้าจะหมุนไปทางทิศตะวันออก และตอนบ่ายจะหมุนไปทางทิศตะวันตก Azimuth ในซีกโลกภาคเหนือ เช่น ประเทศไทย คือ มุมที่ดวงอาทิตย์หมุนตามแนวระดับเบี่ยงกับทิศใต้ Azimuth ในซีกโลกภาคใต้ คือมุมที่ดวงอาทิตย์หมุนตามแนวระดับเบี่ยงกับทิศเหนือ



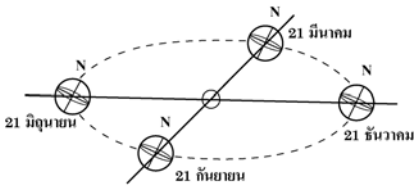
ภาพที่ 8 แสดงมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle)
ที่มา : สมสิทธิ์ นิตยะ, การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541), 60.

- มุมตัด (Profile Angle) คือ มุมที่ระดับของดวงอาทิตย์กระทำในแนวระนาบที่ตั้งฉากกับผนังหรืออาคาร ค่าของมุมตัด (Profile Angle) จะแตกต่างไปจากค่าของมุมกระทำ (Altitude Angle) และในการออกแบบ ค่ามุมตัดมีความสำคัญมากกว่ามุมกระทำ เพราะนำไปพร็อตหาค่าความลึกของที่บังแดดแนวนอนได้



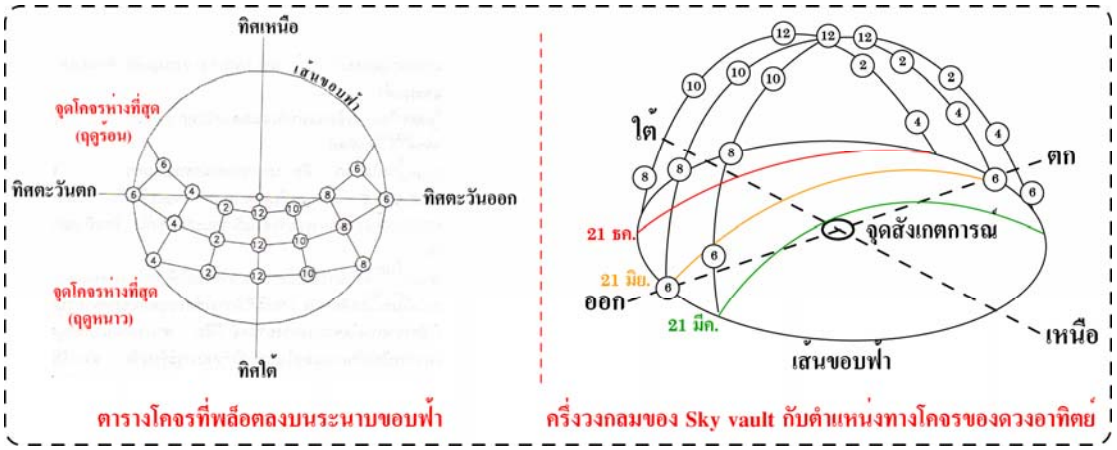
ภาพที่ 9 มุมตัด (Profile Angle)
ที่มา : สมสิทธิ์ นิตยะ, การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541), 60.

โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งมีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์กลางวันและกลางคืน ทำให้เห็นดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกในตอนเช้า และตกทางทิศตะวันตกในตอนเย็น โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ ในเวลา 1 ปี หรือ 365 วัน โดยการหมุนรอบแกนเหนือ – ใต้ เอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉาก 23 ½˚ และจากการหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี (ภาพที่ 10) เมื่อถึงวันที่ 21 ธันวาคม ขั้วโลกเหนือจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด (ทำมุม 23 ½˚) อีก ¼ ปีต่อมา ในวันที่ 21 มีนาคม มุมจะเป็น 0˚ ในวันที่ 21 มิถุนายน มุมจะเป็น +23 ½˚ และในวันที่ 24 กันยายน จะเป็น 0 ˚ อีกครั้งหนึ่ง ทิศทางการส่องสว่างของแนวแสงขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของโลกในวันที่ต่างกันที่มีความสำคัญ คือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในวันที่ 21 ธันวาคม เรียกว่า (Winter Solstice) สำหรับวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 21 กันยายน เรียกว่า (Equinox) ในวันที่ 21 มิถุนายน เรียกว่า (Summer Solstice)



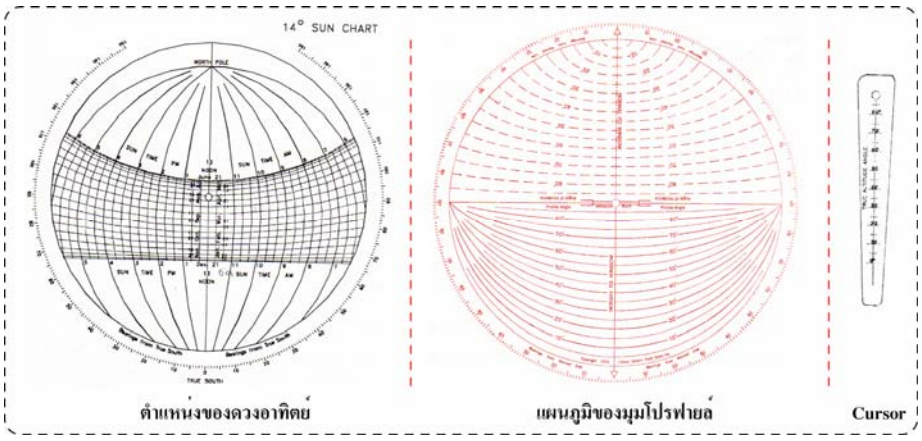
ภาพที่ 10 แสดงการโครจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
ที่มา : สมสิทธิ์ นิตยะ, การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541), 66.

ตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปตามเวลาทุกๆ นาที ซึ่งสามารถจะแสดงให้เห็นได้ง่าย คือ สมมุติจุดสังเกตการณ์บนแผ่นรูประนาบ ซึ่งวางสัมผัสกับส่วนโค้งของโลก โดยมีรูปครึ่งวงกลมคอยทับอยู่ ซึ่งรูปวงกลมเป็นลักษณะของ Sky vault ที่ดวงอาทิตย์โคจรผ่านอันเป็นปรากฏการณ์ที่คล้ายกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงๆ เส้นโค้งของพื้นระนาบ คือ ขอบฟ้าจุดที่อยู่เหนือจุดสังเกตการณ์ คือ Zenith และทางด้านตรงกันข้ามคือ Nadir บน Sky vault ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงส่วนครึ่งวงกลมของ Sky vault กับตำแหน่งทางโคจรของดวงอาทิตย์
ที่มา : สมสิทธิ์ นิตยะ, การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541), 68.

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Sun Charts) สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 ° N ซึ่งเป็นตำแหน่งของกรุงเทพฯ เส้นโค้งในภาพ คือ ตำแหน่งบอกวัน และเดือนในรอบปีของแนวทางโคจรผ่านดวงอาทิตย์ เส้นพุ่งเป็นรัศมีออกมาจากขั้วเหนือ แสดงตำแหน่งชั่วโมงต่างๆ ในระหว่างเส้นชั่วโมง จะเห็นเส้นบางๆ แบ่งชั่วโมงออกเป็นทุกๆ 20 นาที เมื่อใช้แผ่นก้านหมุน (Cursor) ขันติกับจุดศูนย์กลางสามารถหามุมกระทำ (Altitude Angle) และมุมตัด (Profile Angle) ได้ง่าย และเที่ยงตรงในการใช้งานเท่ากันหมดสำหรับทุกๆเส้นรุ้งของตำบลต่างๆในโลก ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Sun Charts)
ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ,การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ :อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539), 134 - 135.

6. แสงสว่างธรรมชาติ (Daylight)

รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยายกาศมายังพื้นผิวโลกถูกโมเลกุลอากาศ ฝุ่นละออง (aerosol) และเมฆ ดูดกลืน (absorb) และกระเจิง (scatter) ส่วนที่ถูกกระเจิงจะทำให้เกิดรังสีกระจาย (diffuse radiation) และส่วนที่เหลือพุ่งตรงมายังผู้สังเกตจะเรียกว่า รังสีตรง (direct radiation) ผลรวมของรังสีทั้งสองเรียกว่า รังสีรวม (global radiation) รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านส่วนของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่สายตามนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ เรียกว่า แสงสว่างธรรมชาติ (daylight) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (skylight) (เสริม จันทร์ฉาย, 2547 : 9)

6.1 แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (sunlight)

แสงตรงจากดวงอาทิตย์จะเป็นส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศของโลกมายังตำแหน่งที่พิจารณา

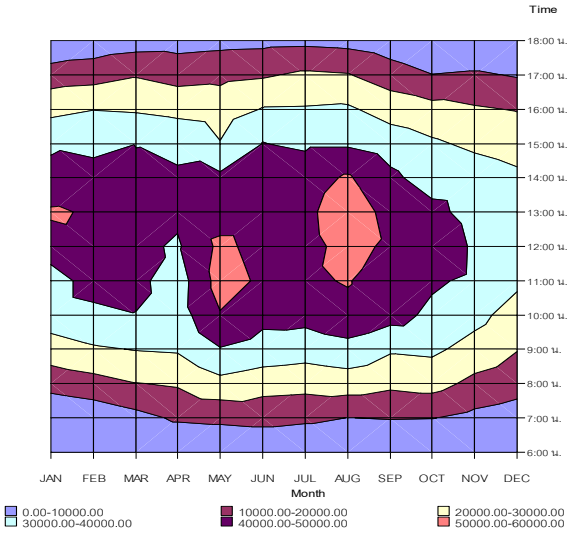
6.2 แสงกระจายจากท้องฟ้า (Skylight)

แสงกระจายจากท้องฟ้าจะเป็นแสงที่เกิดจากการกระเจิง (scatter) (เสริม จันทร์ฉาย, 2547 : 11) เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทย ซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ทำให้มีปริมาณแสงสว่างจ้าเกือบตลอดทั้งปี โดยปกติแล้วปริมาณแสงแดดตรงนั้น มีความสัมพันธ์กับปริมาณความส่องสว่าง หากปริมาณแสงแดดตรงมาก ปริมาณความส่องสว่างก็มีค่ามากเช่นกัน การนำแสงธรรมชาติไปใช้ในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพ ต้องทำการป้องกันแสงแดดตรงที่ส่งผลให้เกิดความ

ร้อน และแสงบาดตา ควรใช้เพียงความส่องสว่างจากแสงกระจาย โดยปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าในเขตกรุงเทพฯ ตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคม ในช่วงเวลา 6:00 – 18:00 น. ของปี พ.ศ. 2544 จากตารางข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าปี พ.ศ. 2544 พบว่าในเดือนพฤษภาคมมีปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าโดยเฉลี่ยของทุกช่วงเวลามากที่สุด และเดือนธันวาคมมีปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าโดยเฉลี่ยของทุกช่วงเวลาน้อยที่สุด

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าปี พ.ศ. 2544 เฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน

Month	Hourly mean values of diffuse illuminance (klux) by calendar month (Solar time)												
	6:00น.	7:00น.	8:00น.	9:00น.	10:00 น.	11:00 น.	12:00 น.	13:00 น.	14:00 น.	15:00 น.	16:00 น.	17:00 น.	18:00 น.
JAN	0.00	0.00	13.75	25.71	35.07	35.18	45.42	51.46	41.77	39.07	27.05	15.06	0.00
FEB	0.00	3.01	16.18	28.97	37.23	44.41	47.28	48.71	43.43	37.54	29.77	15.87	3.40
MAR	0.00	6.82	19.74	30.40	39.67	42.50	41.98	44.74	40.92	39.86	28.73	19.23	5.24
APR	0.00	11.43	20.96	31.02	35.52	35.48	38.92	41.80	41.16	37.98	27.12	16.53	5.86
MAY	0.00	12.46	26.98	39.38	49.31	54.23	52.30	44.84	41.94	30.47	25.47	17.54	6.99
JUN	0.00	13.47	24.10	36.10	42.77	48.27	46.57	44.91	46.39	40.24	30.46	18.80	7.14
JUL	0.00	12.01	23.32	34.36	43.17	48.07	47.25	47.66	45.33	38.49	30.80	21.78	7.62
AUG	0.00	9.92	24.78	36.61	46.87	50.76	52.72	55.57	51.22	38.49	31.44	20.66	6.58
SEP	0.00	10.42	22.23	31.06	43.77	43.98	48.48	47.04	42.25	35.19	25.91	14.82	3.95
OCT	0.00	10.31	23.53	32.02	37.70	41.56	48.90	43.12	35.00	31.32	23.52	10.22	0.00
NOV	0.00	7.36	17.51	26.11	33.44	37.94	38.28	35.75	34.18	28.34	21.22	11.30	0.00
DEC	0.00	4.75	14.35	20.30	24.76	32.53	33.32	33.03	31.65	26.49	19.47	9.24	0.00



กราฟที่ 1 แสดงค่าปริมาณแสงสว่างของท้องฟ้า (lux) เฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน ปี พ.ศ. 2544

ที่มา : Surapong Jirattananon and Pipat Chaiwiwatworakul, Daylight Availality Models for Global and Diffuse Horizontal Illuminance and Irradiance and Models for Sky Luminance for Bangkok (Asian Institute of Technology : Bangkok, 2001), A – 3.

6. สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

ปริมาณแสงสว่าง และความจ้าของท้องฟ้าเกิดมาจากแสงธรรมชาติ ที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งดวงอาทิตย์ ปริมาณเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น ควัน และไอน้ำ โดยขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาแบ่งประเภทของสภาพท้องฟ้า โดยทั่วไปจะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ซึ่งมีดัชนีของปริมาณเมฆในท้องฟ้า ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โดยการแบ่งประเภทท้องฟ้าจะมีวิธีการแบ่งหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือ การแบ่งของประเภทท้องฟ้าจากปริมาณเมฆในท้องฟ้า (ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา, 2543 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้ดังนี้

- ค่าระหว่าง 0 – 3 เป็นสภาพท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปกคลุม (Clear Sky)
- ค่าระหว่าง 4 – 7 เป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)
- ค่าระหว่าง 8 – 10 เป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)

6.1 สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)

สภาพท้องฟ้าที่มีปริมาณเมฆปกคลุมไม่เกิน 30% โดยความสว่างของท้องฟ้าจะประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ คือ ความสว่างจากแสงดวงอาทิตย์ และความสว่างจากแสงกระจายจากท้องฟ้า ซึ่งขึ้นกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar altitude) เป็นหลัก เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ และลดต่ำลง เมื่ออยู่ห่างหรือด้านตรงข้ามดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 13

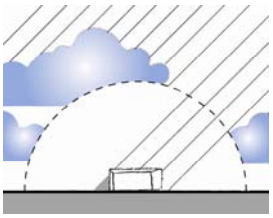
ภาพที่ 13 แสดงท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)

ที่มา : B. Stein and J. Reynolds, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings (New York : John Wiley & Sons Co., 1988), 1072.

6.2 สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน 30 – 70% การพิจารณาค่าความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้ทำได้ยากส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตร การหาค่าความสว่างจากท้องฟ้าลักษณะนี้ทำได้ยาก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพท้องฟ้าอยู่ตลอดเวลา และมีระดับความสว่าง

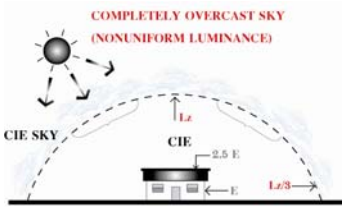
แตกต่างกัน ซึ่งสภาพท้องฟ้าส่วนใหญ่ของประเทศไทยเป็นแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (กรมอุตุนิยมวิทยา 2543 : 1) หากเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเป็นกลุ่มหนาทึบ หรือมีสีดำ เช่น เมฆฝนอาจทำให้แสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้า และปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ถูกกั้น คือแสงจะถูกดูดกลืนมากกว่าสะท้อน ทำให้ค่าความสว่างจากท้องฟ้าลดลง ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)
ที่มา : G.Z. Brown and Mark Dekay, Sun, Wind & Light Architecture Design Strategies. (New York : John Wiley & Sons Co., 2001), 27.ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

6.3 สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)

สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากกว่า 70% จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสง หรือดวงอาทิตย์ได้ ลักษณะของท้องฟ้านี้มีเมฆปกคลุมทั้งหมด มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)
ที่มา : B. Stein and J. Reynolds, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings (New York : John Wiley & Sons Co., 1988), 1072.

7. การให้แสงธรรมชาติที่มีผลกับช่องเปิด

การให้แสงธรรมชาติในอาคารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่างอย่างมีคุณภาพ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วยังช่วยให้เกิดความมีชีวิตชีวา ซึ่งการศึกษาเทคนิคการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจำแนกตามทิศทางได้ 2 รูปแบบ คือ

แสงธรรมชาติที่เข้าช่องเปิดด้านข้างอาคาร (Side Lighting) และแสงธรรมชาติที่เข้าช่องเปิดด้านบน (Top Lighting) ซึ่งจะทำการศึกษาเฉพาะการให้แสงธรรมชาติที่เข้าช่องเปิดด้านข้างอาคารเท่านั้น

7.1 แสงธรรมชาติที่เข้าช่องเปิดด้านข้างอาคาร (Side Lighting)

เป็นแสงที่ผ่านเข้ามาจากแหล่งกำเนิดแสงที่มาได้หลายทาง เช่น แสงจากท้องฟ้า (Sky Component, SC) แสงสะท้อนจากภายนอก (Externally Reflected Component, ERC) และการสะท้อนแสงภายในอาคาร (Internally Reflected Component, IRC) จากการศึกษาพบว่าข้อดี คือ ช่วยสร้างทัศนะวิสัยที่ดีเหมาะสมแก่การใช้งาน แต่มีข้อเสีย คือ เนื่องจากช่องเปิดประเภทนี้อยู่ในตำแหน่งที่คนทั่วไปสามารถทนต่อความจ้าได้ มองระดับได้เพียง 170 ฟุตแลมเบิร์ตเท่านั้น (สุนทร บุญญาธิการ 2541 : 94) ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่า คือ การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้ลึกมากที่สุด ปริมาณความสว่างของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ทำงาน (Working Plane) มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงกับระนาบนั้นๆ โดยที่มุมองศาที่แสงตกกระทบนี้ จะแปรผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ ถ้ามุมองศายิ่งมีค่าน้อยปริมาณแสงสว่างที่ระนาบของพื้นที่ทำงานก็จะยิ่งมีค่ามากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่าที่สุดนั้นเอง

7.2 ตำแหน่งของช่องเปิดด้านข้าง

มีผลต่อแสงธรรมชาติ ซึ่งสามารถจำแนกตำแหน่งของช่องเปิดได้ 3 แบบดังนี้

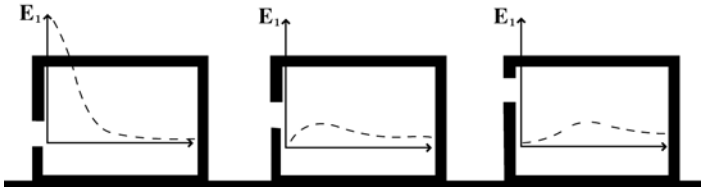
7.2.1 ช่องเปิดช่วงล่าง (Lower Window) มีความสูงจากพื้นถึงระดับ 0.90 ม. ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณที่อยู่ใกล้โดยรอบ หรือบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับสายตา เช่น แสงสะท้อนจากพื้นดินและผิวสะท้อนแสง ช่องเปิดช่วงล่างไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องความจ้า และความร้อนของแสงแดด ข้อเสียคือ จะเกิดลักษณะของความเปรียบต่าง (Contrast) ระหว่างแนวผนังช่วงบนช่องเปิดกับบริเวณฝ้าเพดาน และยังจำกัดทัศนะวิสัยอีกด้วย

7.2.2 ช่องเปิดช่วงกลาง (Middle Window) พบเห็นโดยทั่วไป มีความสูงจากพื้นประมาณ 0.90 – 2.00 ม. ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณโดยรอบ แต่ประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงจากพื้นดินเข้ามาภายในจะไม่ดีเท่ากับช่องเปิดช่วงล่าง และประสิทธิภาพในการกระจายแสงไม่เท่ากับช่องเปิดช่วงบนที่มีปริมาณความสว่างที่เพียงพอต่อระดับการใช้งานในช่วงระยะ 2 – 3 ม. แต่มีทัศนะวิสัยที่ดีกว่าแบบอื่น เนื่องจากอยู่ในระดับแนวสายตา ปัญหาที่พบส่วนใหญ่ คือปริมาณความจ้าของแสงที่ได้รับ โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้หน้าต่างแนวทางการปรับแก้โดยการใช้อุปกรณ์บังแดด หรือการปรับความลาดเอียงของกระจก

7.2.3 ช่องเปิดช่วงบน (Upper Window) มีความสูงจากพื้น 2.00 ม. ขึ้นไป แสงธรรมชาติจะส่องผ่านเข้ามาภายในได้ลึกกว่าทุกแบบ ทั้งจากแสงแดดตรง แสงกระจาย ท้องฟ้าโปร่ง

ท้องฟ้ามีเมฆบางมาก ข้อเสียของช่องเปิดชนิดนี้ คือปริมาณแสงที่จะต้องส่องผ่านเข้ามาภายในระดับของการใช้งานบริเวณที่อยู่ใกล้ช่องเปิดจะมีปริมาณแสงที่ไม่เพียงพอ ทัศนะวิสัยด้อยกว่าช่องเปิดชนิดอื่น แต่ไม่มีปัญหาเรื่องความจ้า เนื่องจากเป็นช่วงที่อยู่เหนือระดับสายตา

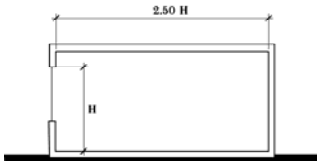
จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งช่องเปิดที่มีประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาสู่ภายในได้ลึกที่สุด ควรใช้ช่องเปิดช่วงกลางผสมช่องเปิดช่วงบน ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณค่าความส่องสว่างภายในจากช่องเปิดแบบต่างๆ
ที่มา : Andras Majoros, Daylighting (Brisbane : The University of Queenland Printery,1998),38.

7.3 ขนาดช่องเปิดทางด้านข้าง

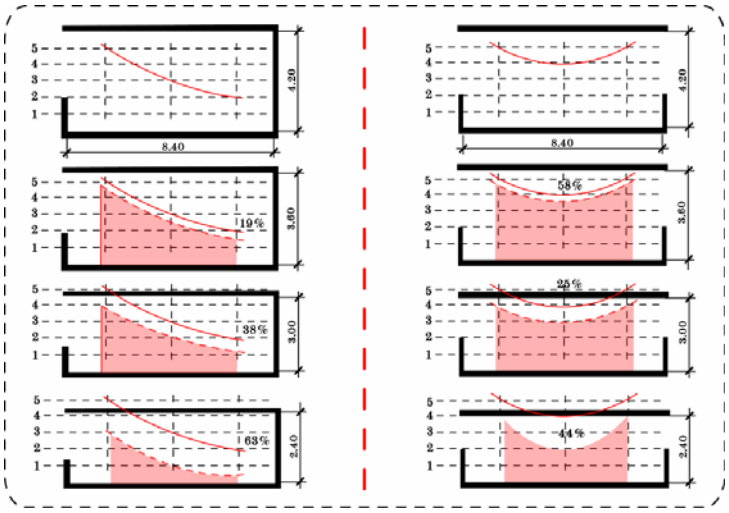
โดยลักษณะทั่วไปสัดส่วนของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับลักษณะการส่องสว่าง 2 กรณี คือ ความสัมพันธ์กับปริมาณแสง และลักษณะการกระจายแสง ที่ส่องผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายใน แนวกว้าง แนวยาว และแนวตั้ง โดยความลึกของห้องไม่ควรเกิน 2.5 H เมื่อ H คือ ความสูงของช่องเปิด ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของห้องและความสูงของช่องเปิด
ที่มา : M. David Egan and Victor W. Olgyay, Architectural Lighting (New York : McGraw – Hill,2002), 169.

ขนาดและความสูงของช่องเปิด ควรอยู่เหนือระดับพื้นที่ทำงาน (Work Plane) จะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบแสงสว่างจากธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติรูปแบบของช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่ยอมจะให้ปริมาณแสงส่องผ่านเข้ามาได้มาก แต่ความสูงของช่องเปิดจะเป็นตัวแปรที่สำคัญมากกว่าโดยที่ความสูงของช่องเปิดจะมีผลต่อความลึกในการส่องสว่างของแสงที่ผ่านเข้ามาภายใน (ภาพที่

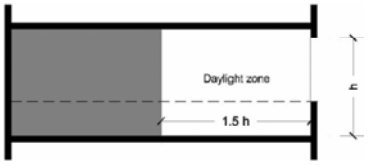
18) ส่วนความกว้างของช่องเปิดจะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างภายใน คือ ช่องเปิดที่สูงจะมีประสิทธิภาพในความส่องสว่างที่ดีกว่าช่องเปิดที่มีความสูงน้อย



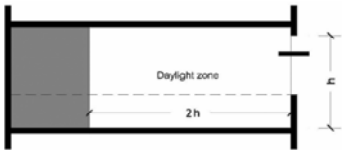
ภาพที่ 18 แสดงช่องเปิดด้านเดียวมีปริมาณแสงที่บริเวณหลังห้องลดลง 19% 38% และ 63% ตามลำดับ เมื่อความสูงของห้องและความสูงของช่องเปิดลดลง แต่ความลึกคงที่ คือ 8.40 ม. และช่องเปิด 2 ด้าน ปริมาณแสงมีแนวโน้มที่ลดลงบริเวณกลางห้อง 58% 25% และ 44% ตามลำดับ เมื่อความสูงของห้อง และความสูงของช่องเปิดลดลง แต่ความลึกคงที่ คือ 8.40 ม.

7.4 การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร

สามารถกำหนดระยะแสงธรรมชาติให้ได้ระดับแสงสว่างที่เพียงพอกับการใช้งาน คือ ใช้ระยะความสูงของหน้าต่างเพื่อตรวจสอบพื้นที่แสงธรรมชาติจากหน้าต่าง (Daylight Zone) เมื่อความสูงของหน้าต่างเป็น h ระยะพื้นที่ทำงานของผู้ใช้อาคารจะใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ คือ 1.5h (ภาพที่ 19) ในกรณีที่หน้าต่างมีการติดหิ้งสะท้อนแสง (ภาพที่ 20) ระยะทางจะเพิ่มขึ้นเป็น 2h ข้อควรทราบ คือ กฎนี้ใช้ประเมินโดยต้องไม่มีสิ่งกีดขวางอยู่ภายนอกอาคาร กระจกที่ใช้เป็นกระจกใส และวงกบล่างของหน้าต่างไม่สูงเกินกว่าระนาบการทำงาน (Working plane)



ภาพที่ 19 แสดงกฎในการตรวจสอบระยะของ (Daylight Zone)



ภาพที่ 20 แสดงเมื่อใช้หิ้งสะท้อนแสง พื้นที่ (Daylight Zone) จะเพิ่มขึ้น
ที่มา : ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, “กฎอย่างง่ายและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาระดับแสงธรรมชาติจากหน้าต่าง” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา, 27 - 29 กรกฎาคม 2549. (อัดสำเนา)

8. แนวความคิดของหิ้งสะท้อนแสง (Lightshelf Concept)

ความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับปัจจัยภายนอกนั้น พบว่ามีปัญหาการนำแสงสว่างเข้าทางช่องเปิดด้านข้างขึ้นอยู่ที่ความลึกของห้องเป็นสำคัญ ทำให้ต้องหาแนวทางในการแก้ปัญหา โดยการใช้หิ้งสะท้อนแสงเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ โดยหิ้งสะท้อนแสงจะสะท้อนแสงสว่างจากภายนอกขึ้นไปยังเพดาน แล้วสะท้อนเข้าไปภายในของห้องระดับแสงสว่างภายในจะสูงขึ้นอีกเล็กน้อย ในขณะเดียวกันระดับแสงสว่างที่บริเวณใกล้กับช่องเปิดก็จะลดลงสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ช่วยลดความแตกต่างของระดับค่าความสว่างใน 2 บริเวณ ซึ่งจะช่วยให้เกิดความสบายตาแก่ผู้ใช้อาคาร

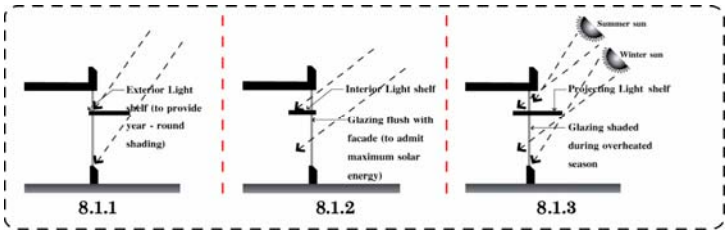
8.1 รูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสง

การใช้หิ้งสะท้อนแสงที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน ควรพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมกับอาคาร แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

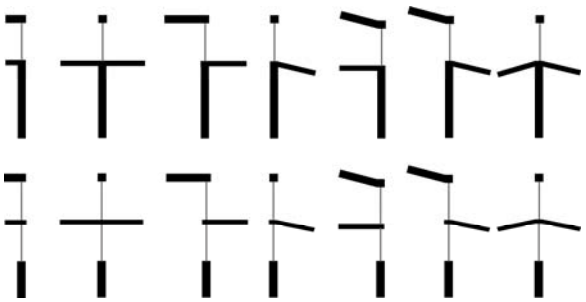
8.1.1 หิ้งสะท้อนแสงภายนอก (Exterior Lightshelf)

8.1.2 หิ้งสะท้อนแสงภายใน (Interior Lightshelf)

8.1.3 หิ้งสะท้อนแสงแบบผสม (Combined Lightshelf) มีดังนี้



ภาพที่ 21 แสดงรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 3 รูปแบบ
ที่มา : M. David Egan and Victor W. Olgyay, Architectural Lighting (New York : McGraw – Hill,2002), 120.

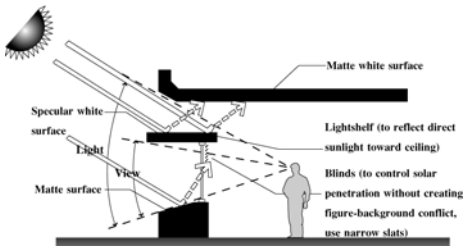


ภาพที่ 22 แสดงรูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสงที่มีการใช้งานจริง

ที่มา : Claude L. Robbins, Daylighting Design and Analysis (New York, Van Nostrand Reinhold Company 1986), 123.

8.2 แนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง (Lightshelf)

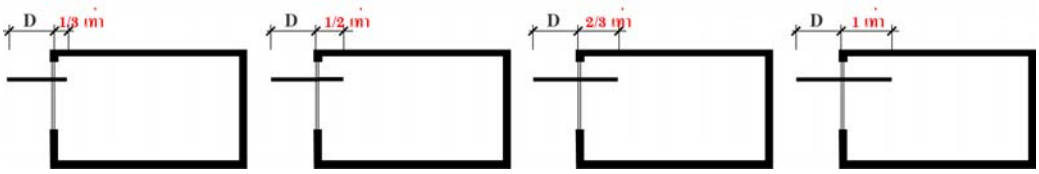
เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะการยื่นแบบภายนอก ภายใน และแบบผสม เพื่อสะท้อนแสงขึ้นสู่ฝ้าเพดาน แนวทางการเลือกรูปแบบจึงมักคำนึงถึงความสูง ความลึก ตำแหน่งของช่องเปิด ตลอดจนพื้นผิวที่นำมาทำเป็นตัวสะท้อนแสง และมุมลาดเอียงของหิ้งสะท้อนแสง ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 แสดงแนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง

ที่มา : M. David Egan and Victor W. Olgyay, Architectural Lighting (New York : McGraw – Hill,2002), 117.

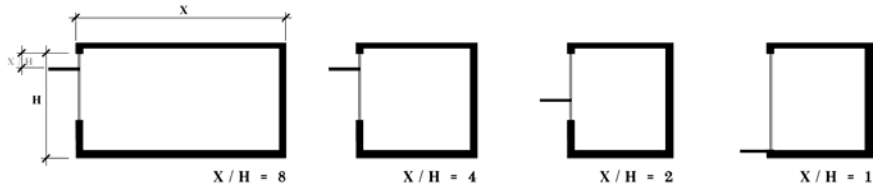
8.2.1 ความลึกของหิ้งสะท้อนแสง ความลึกขึ้นอยู่กับพื้นที่ช่องเปิด ความสูงของช่องเปิด ทิศทาง และตำแหน่งช่องเปิด การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงระยะความลึกภายในมีความสัมพันธ์กับระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (D) ระยะความลึกภายในมี 4 แบบ คือ ขนาด 1/3 เท่าของ D ขนาด 1/2 เท่าของ D ขนาด 2/3 เท่าของ D และขนาด 1 เท่าของ D (ภาพที่ 24) หิ้งสะท้อนแสงที่มีความลึกมากๆ นอกจากจะช่วยป้องกันความร้อน และให้ร่มเงากับอาคารแล้ว ยังช่วยลดปริมาณแสงจ้าในบริเวณใกล้ช่องเปิด



ภาพที่ 24 แสดงระยะความลึกภายในของหิ้งสะท้อนแสง

ที่มา : Brown and Dekay, Sun, Wind & Light Architect Design Strategies, (New York : John Wiley & Sons Co, 2001), 257.

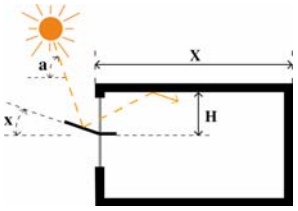
8.2.2 ระดับความสูงในการติดหิ้งสะท้อนแสง การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ช่องเปิดด้านข้างขึ้นอยู่ที่ความลึกของห้องเป็นสำคัญ โดยให้ความลึกของห้องเป็น (X) ความสูงของช่องเปิดเป็น (H) และความสูงของช่องแสงเป็น (X/H) ซึ่งส่งผลต่อตำแหน่งการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง ทำให้แสงสว่างที่เข้ามาทางช่องแสงที่อยู่สูงจะสามารถผ่านเข้ามาภายในอาคารได้ลึกมากขึ้น



ภาพที่ 25 แสดงความลึกของห้อง และความสูงของกระจกในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง

ที่มา : Brown and Dekay, Sun, Wind & Light Architect Design Strategies, (New York : John Wiley & Sons Co, 2001), 257.

8.2.3 หิ้งสะท้อนแสงที่มีมุมเอียง การปรับให้หิ้งสะท้อนแสงที่มีมุมเอียงขึ้นช่วยการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในมากขึ้น (moore, 1991 : 89)



ภาพที่ 26 แสดงการปรับมุมเอียงขึ้นของหิ้งสะท้อนแสง

ที่มา : Brown and Dekay, Sun, Wind & Light Architect Design Strategies, (New York : John Wiley & Sons Co, 2001), 257.

8.2.4 พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง

- การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) การสะท้อนขึ้นสู่ฝ้าเพดานต้องขึ้นอยู่กับพื้นที่ ตำแหน่ง และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่เหมาะสม เพื่อการแสงกระจายแสงที่ความสม่ำเสมอภายในอาคาร

ภาพที่ 27 แสดงพื้นผิวการสะท้อนแสงแบบกระจาย

- การสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) ควรจะมีความมันเงา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในให้มากขึ้น (ชัยวัฒน์ มุตติศานต์ 2548 : 29)

ภาพที่ 28 แสดงพื้นผิววัสดุการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา

8.3 ชนิด และวัสดุของหิ้งสะท้อนแสง

วัสดุที่ประกอบเป็นหิ้งสะท้อนแสง แบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 ลักษณะ คือ

8.3.1 แบบใช้งานถาวร หิ้งสะท้อนแสงแบบนี้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน คงทนถาวร ค่าก่อสร้างสูง แต่เสียค่าบำรุงรักษาซ่อมแซมน้อย คุ้มค่ากว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับระยะเวลา วัสดุเหล่านี้ได้แก่ คอนกรีต อลูมิเนียม และโพลีคาบอเนต ดังตารางที่ 4

8.3.2 แบบใช้งานชั่วคราว หิ้งสะท้อนแสงแบบนี้มีอายุการใช้งานไม่มากนัก ชำรุดง่าย ต้องมีการซ่อมแซม และเปลี่ยนวัสดุอยู่เสมอ แต่มีราคาถูก ติดตั้งและรื้อถอนง่าย รวดเร็ว ให้ความรู้สึกเบา วัสดุเหล่านี้ได้แก่ ยิปซั่มบอร์ด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของลักษณะหิ้งสะท้อนแสง

ชนิดวัสดุ	ลักษณะหิ้งสะท้อนแสง	เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย	รูปแบบ
แบบใช้งานถาวร 1.คอนกรีต	เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างมีความคงทนแข็งแรง **การดูแลรักษา** - เช็ดฝุ่นละออง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ - ควรทาสีทุก 5 ปี เพื่อการสะท้อนแสง	**ข้อดี** 1. ราคาถูก 2. มีความคงทนต่อสภาพอากาศ 3. ทนไฟ ทนความร้อน 4. สีขาวด้านมีการกระจายแสงหลายทิศทาง **ข้อเสีย** 1. มีน้ำหนักมาก	
2. อะลูมิเนียม	นิยมใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงภายใน เพราะทำการกระจายแสงได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่การใช้งาน สามารถทำเป็นแบบสำเร็จรูป **การดูแลรักษา** - เช็ดฝุ่นละออง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ	**ข้อดี** 1. น้ำหนักเบา 2. ทนไฟ ทนความร้อน 3. มีความคงทนต่อสภาพอากาศ 4. พื้นผิวเรียบมีการกระจายแสงได้ดี **ข้อเสีย** 1. ความมันวาว มีผลต่อค่าการสะท้อน	
3. โพลีคาร์บอเนต	เป็นวัสดุสังเคราะห์ทางเคมี นิยมใช้ทั้งภายในและภายนอก สามารถกันแดดและความร้อน **การดูแลรักษา** - เช็ดฝุ่นละออง เพื่อคุณภาพ - เหมาะที่จะใช้ภายใน เพราะจะมีการเปลี่ยนสี	**ข้อดี** 1. น้ำหนักเบา 2. มีความคงทนต่อสภาพอากาศ 3. ผิววัสดุสามารถยอมให้แสงส่องผ่าน **ข้อเสีย** 1. มีราคาสูง 2. ถ้าโดนความร้อนจะเกิดการแตกร้าว	
แบบใช้งานชั่วคราว 4. ยิปซั่มบอร์ด	เป็นวัสดุผิวเรียบสม่ำเสมอนิยมนำมาทำฝ้าเพดาน คุณสมบัติป้องกันความร้อนได้ดี **การดูแลรักษา** - เช็ดฝุ่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ - ใช้ภายใน จะมีการเปลี่ยนสี - ไม่สามารถกันน้ำได้	**ข้อดี** 1. มีราคาถูก 2. มีน้ำหนักเบา 3. พื้นผิวขาวด้านมีการกระจายแสงไปในหลายทิศทาง **ข้อเสีย** 1. หากมีความชื้นอาจทำให้เกิดการบิดงอ	

9. ปัจจัยที่นำมาใช้ในการประเมินคุณภาพแสงภายในห้อง

การใช้แสงธรรมชาติในห้องสมุดเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบห้องสมุด คือ การออกแบบภายในห้องสมุดให้มีปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ ตำแหน่งพื้นที่ใช้งานที่เพียงพอต่อการใช้งานทั้งทางด้านปริมาณ และคุณภาพแสงที่เกิดขึ้นให้สัมพันธ์กับกิจกรรมที่ใช้ คือ การอ่านหนังสือ และการค้นหาหนังสือ

9.1 ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)

ตามมาตรฐาน IES สำหรับกิจกรรมการอ่านหนังสือ ณ ตำแหน่งพื้นที่ใช้งาน

ตารางที่ 5 แสดงค่าระดับความส่องสว่าง IES ภายในอาคาร

ความสว่างภายในอาคาร		
พื้นที่ที่ต้องการความส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต–แคนเดิล (Foot–Candle)**
สถานที่ศึกษา โรงเรียน มหาวิทยาลัย		
ห้องเรียน ห้องบรรยาย	300	30
ห้องสมุด ห้องอ่านหนังสือ	**500**	**50**
ห้องสมุด		
แสงทั่วไป	200	20
การอ่าน	300	30
การอ่านนานๆ	700	70

ที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง, พิมพ์ครั้งที่ 4 (กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2545, 394 414.

9.2 ค่าแสงบาดตา (Glare)

ในช่วงบริเวณใกล้ช่องเปิด ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสายตาการมองเห็น สามารถป้องกันแสงบาดตาจากการคำนวณ โดยแสดงผลแบบ VCP (Guth Visual Comfort Probability) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการคำนวณ และแสดงผลค่าแสงบาดตา ซึ่งกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผู้ใช้อาคารที่ตัดสินสภาวะแสงบาดตา และความสบายตาในการมองเห็น คือ ค่า VCP ที่ 70% หรือมากกว่าก็ยิ่งดี จากการพิจารณามุมมองการมองเห็นของมนุษย์ และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ IES Standard

9.3 ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity of Illumination)

ในห้องอ่านหนังสือต้องการความส่องสว่างที่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่ หรือใกล้เคียงกัน และมีปริมาณความส่องสว่างที่เพียงพอต่อความต้องการตามลักษณะการใช้งาน โดยความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง สามารถหาได้จากสมการ (Mahdavi et al 1996 : 13) ดังนี้คือ

$$U = \frac{E_m}{E_m + E_{SD}} \times 100$$

โดยที่ U = ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

E_m = ค่าเฉลี่ยของค่าความส่องสว่างทุกๆ จุดที่ทำการวัด

E_{SD} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความส่องสว่างทุกๆ จุดที่ทำการวัด

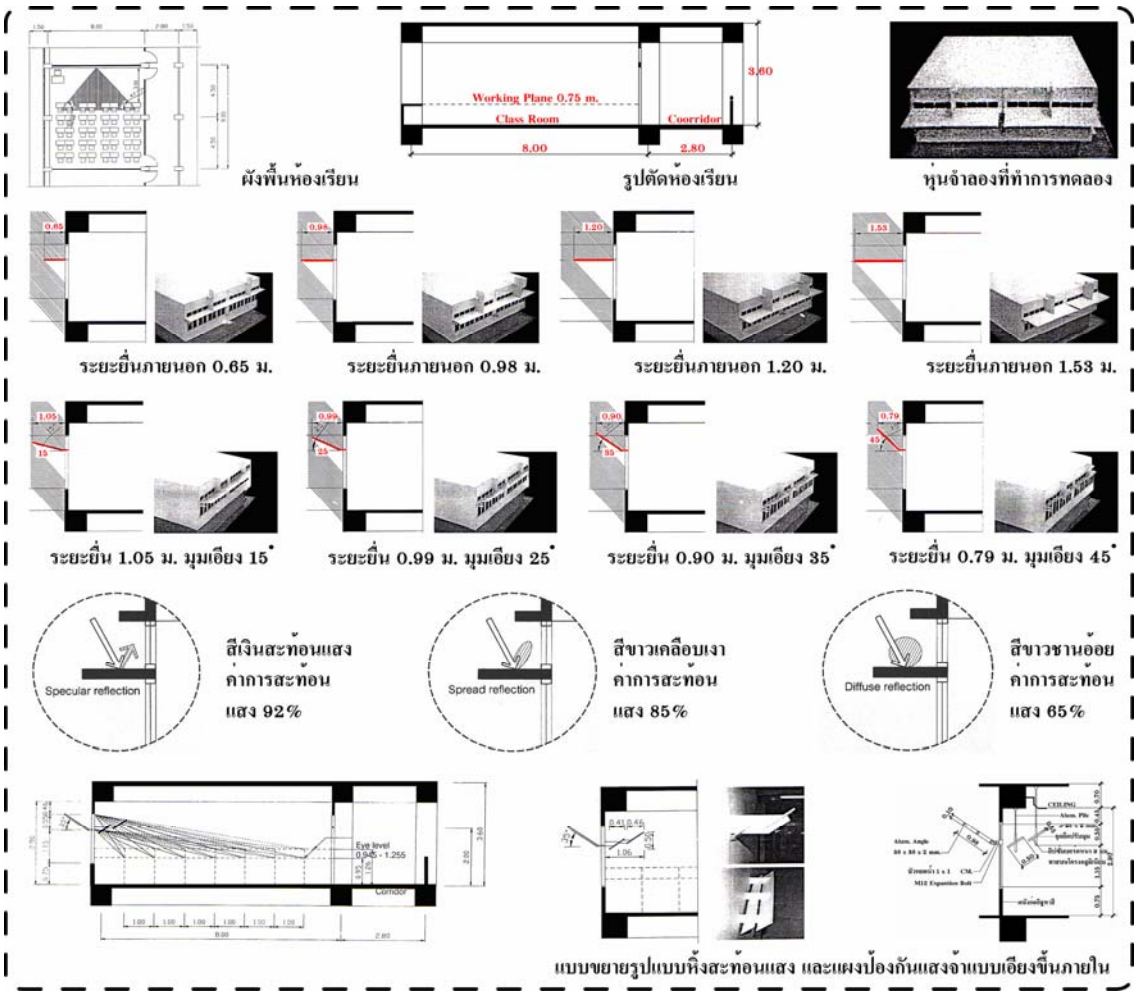
10. กรณีศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

10.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

10.1.1 เรณู ด่านกุล (2545 : 135) ศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารเรียนระดับมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร ห้องที่ทำการศึกษามีขนาด 8.00 x 9.00 เมตร สูง 2.90 เมตร มีช่องเปิดทางด้านข้างทิศเหนือ และทิศใต้ ปัจจัยในการศึกษาทดลองหิ้งสะท้อนแสง ได้แก่

- ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ได้แก่ ระยะ 0.65 0.98 1.20 และ 1.53 เมตร
- มุมเอียงของหิ้งสะท้อนแสง มีมุมองศา ได้แก่ 15° 25° 35° และ 45°
- รูปแบบการสะท้อนแสงของวัสดุ ได้แก่ วัสดุสีเงินสะท้อนแสง 92% สีขาวเคลือบเงาสะท้อนแสง 85% และสีขาวชานอ้อย 65%

ทำการทดลองการโดยใช้หุ่นจำลองทดสอบกับสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงทำโดยคำนวณจากมุมโปรฟาลย์ (profile angle)



ภาพที่ 29 แสดงตัวแปรต่างๆ ในการศึกษาห้องเรียน

ที่มา : เรณู ด่านกุล, “การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนระดับมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร” (วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545), 147.

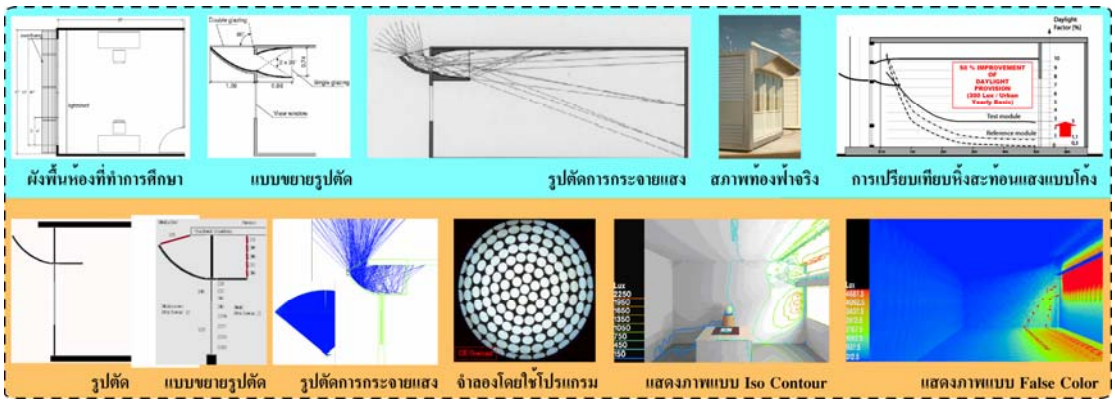
จากการศึกษาพบว่ารูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอกระยะยื่น 0.98 เมตร มุมเอียงขึ้น 35 ° วัสดุสีขาวเคลือบเงาสะท้อนแสง 85% รูปแบบการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน (Spread Reflection) และมีแผงป้องกันแสงจ้าภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงขึ้น 35° ทำให้มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้ามาได้ลึก บริเวณใกล้ช่องเปิดมีค่าความส่องสว่าง 1,646 ลักซ์ และในส่วนลึกสุดที่ระยะ 8 เมตร มีค่าความส่องสว่าง 547 ลักซ์ ยังช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแสง

ประดิษฐ์ ซึ่งสามารถใช้แสงธรรมชาติจากการสะท้อนของหิ้งสะท้อนแสงเข้าสู่ห้องเรียน โดยมีรายละเอียดของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคารเรียนระดับมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบภายนอกรูปทรงเอียง 35° และแผงป้องกันแสงจ้า
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	จากระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดที่ระยะความสูง 1.90 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	แบบภายนอกระยะยื่น 0.98 เมตร
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	กระดาษพื้นผิวสีขาวเคลือบเงาผิวเรียบ

10.1.2 Scartezzini, J.L and Courret, G. (2002 : 123 - 135) ศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารสำนักงาน ห้องที่ทำการศึกษามีความกว้าง 3.00 เมตร สูง 2.50 เมตร โดยใช้รูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง ตัวแปรที่ทำการศึกษารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบที่ 1 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายในแบบโค้ง กับแบบที่ 2 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบโค้งและภายในราบ รายละเอียดของหิ้งสะท้อนแสงแสดงไว้ในตารางที่ 7 ทำการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast Sky) การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงคำนวณจากมุมโปรฟาลย์ (profile angle)



ภาพที่ 30 แสดงรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง

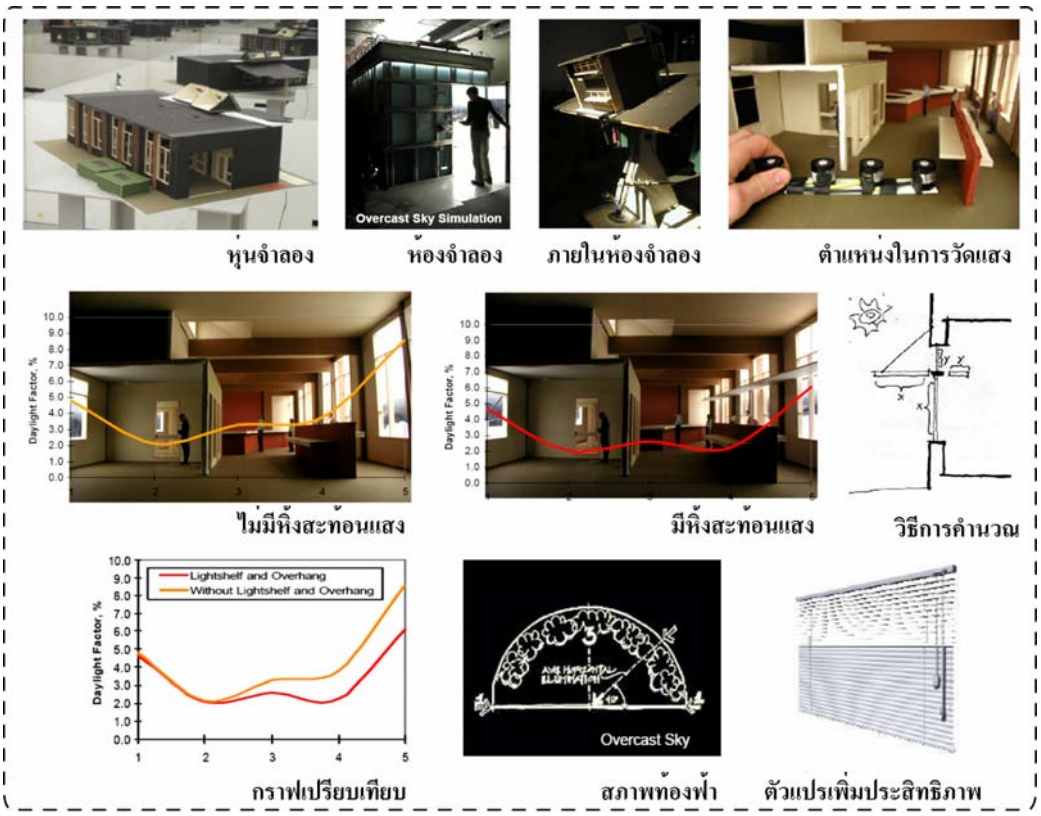
ที่มา : Scartezzini, J.L and Courret, G. Innovation and Daylightin BuildingsInnovation and Daylightin Buildings [online]. Accessed 18 August 2008. Available from http://www.veluxstiftung.ch/downloads/Innovation_Daylight_Scartezzini.pdf

จากการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 2 แบบ พบว่าแบบที่ดีที่สุด คือ แบบที่ 1 (หิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายในเป็นแบบโค้ง) การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบที่ 1 ช่วยให้บริเวณใกล้ช่องเปิดมีค่าความส่องสว่างที่มีลดลง และการกระจายแสงไปยังด้านหลังห้องมีปริมาณความสว่างที่เพิ่มขึ้นดีกว่าการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบที่ 2 (หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบโค้งและภายในราบ) โดยมีรายละเอียดของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลักษณะของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง

1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสม ภายนอกและภายในเป็นแบบโค้ง
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	จากระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดสูง 2.00 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	ภายนอกระยะยื่น 1.08 เมตร ภายในระยะยื่น 0.88 เมตร
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	อะลูมิเนียมพื้นผิวสีเงินมันวาว

10.1.3 Stevensville, MacArthur (2007 : 5 - 7) ศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารสำนักงาน Missoula Federal Credit Union ห้องที่ศึกษามีความกว้าง 5 เมตร มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้ บริเวณใกล้ช่องเปิดมีปริมาณแสงแดดตรง และความร้อนที่เข้ามามาก ส่วนพื้นที่ภายในมีปริมาณแสงสว่างที่ไม่เพียงพอกับการใช้งาน หิ้งสะท้อนแสงที่ทำการศึกษา เพื่อลดปัญหาดังกล่าว เป็นแบบผสมที่มีการยื่นของแผ่นหิ้งสะท้อนแสงในแนวราบทั้งภายในและภายนอก (ตารางที่ 8) ทำการทดสอบหุ่นจำลองในห้องจำลองท้องฟ้า (Skydome) ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast Sky) การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงใช้อัตราส่วนระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกเท่ากับความสูงของช่องแสงด้านข้าง และระยะยื่นภายในของหิ้งสะท้อนแสงเท่ากับความสูงของช่องแสงด้านบน



ภาพที่ 31 แสดงรูปตัด และการเปรียบเทียบกราฟปริมาณความส่องสว่างภายในอาคาร

ที่มา : Stevensville, MacArthur. Missoula Federal Credit Union [online]. Accessed 8 May 2007. Available from http://www.daylightlab.com/study_2005_Missoula_Fed_Credit_Union.pdf

ตารางที่ 8 ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Missoula Federal Credit Union

1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสม ภายนอกและภายในแนวราบ
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	จากระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดสูง 3.00 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร ภายในระยะยื่น 1.00 เมตร
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	กระดาษพื้นผิวสีขาวด้าน

จากการศึกษาพบว่าการใช้หิ้งสะท้อนแสง ช่วยให้การกระจายแสงภายในห้องมีความสม่ำเสมอเพิ่มขึ้น โดยบริเวณใกล้หน้าต่างมีค่าความส่องสว่างที่ลดลง แต่ปริมาณแสงสว่างยังคงเกินกว่ามาตรฐาน และไม่สามารถช่วยกันแสงแดดตรงได้ทั้งหมด เนื่องจากขนาดพื้นที่ช่องเปิดมีขนาดใหญ่และสูง งานวิจัยดังกล่าวจึงได้เสนอแนะให้มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดเพิ่มเติม เช่น มูลี่บังแดด

10.1.4 ชัยวัฒน์ มุตติศานต์ (2548 : 46) ศึกษาปัจจัยกายภาพของหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารสำนักงาน ห้องที่ทำการศึกษามีขนาด 9.00 x 12.00 x 2.60 เมตร มีขนาดพื้นที่ 108 ตารางเมตร มีช่องเปิดทางด้านข้างทิศเหนือ และทิศใต้ ความสูงระดับโต๊ะทำงานคือ 0.75 เมตร ปัจจัยในการศึกษาทดลองหิ้งสะท้อนแสงของช่องเปิดทางด้านข้างทิศเหนือ และทิศใต้ ได้แก่

- ระยะยื่นภายนอกของหิ้งสะท้อนแสง ได้แก่ ทางด้านทิศเหนือคำนวณจากมุมโปรฟาลย์ 63˚ จึงกำหนดระยะยื่นภายนอก 0.61 เมตร และทางด้านทิศใต้ที่คำนวณจากมุมโปรฟาลย์ 44˚ จึงกำหนดระยะยื่นภายนอก 1.24 เมตร

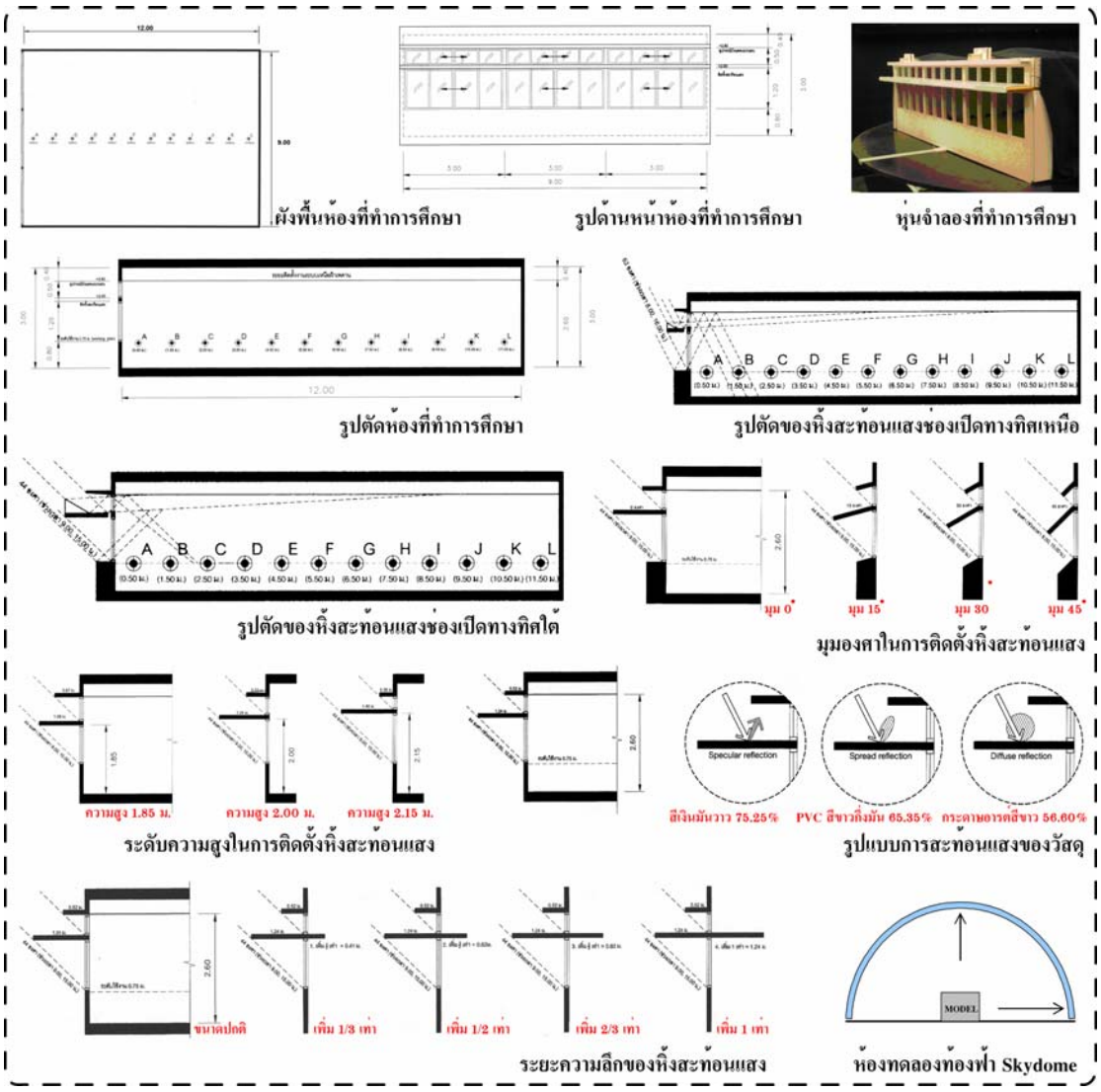
- ระยะความลึกภายในของหิ้งสะท้อนแสง มี 4 ระยะ ได้แก่ 1) ขนาด 1/3 เท่าของระยะยื่นภายนอก 2) ขนาด 1/2 เท่าของระยะยื่นภายนอก 3) ขนาด 2/3 เท่าของระยะยื่นภายนอก และ 4) ขนาด 1 เท่าของระยะยื่นภายนอก

- รูปแบบการสะท้อนแสงของวัสดุ ได้แก่ สติกเกอร์สีเงินมันวาว 75.25 % การสะท้อนเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) แผ่น PVC.สีขาวกึ่งมัน 65.35 % การสะท้อนเสมือนกระจกเงาบางส่วน (Spread Reflection) และกระดาษอาร์ตสีขาว 56.60 % การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

- ระดับความสูงในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง ได้แก่ 1.85 2.00 และ 2.15 เมตร

- มุมองศาเอียงของหิ้งสะท้อนแสง ได้แก่ มุมองศา 0˚ 15˚ 30˚และ 45˚

ทำการทดสอบหุ่นจำลองในห้องจำลองท้องฟ้า (Skydome) ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast Sky) การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงทำโดยคำนวณจากมุมโปรฟาลย์ (profile angle)



ภาพที่ 32 แสดงปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาอาคารสำนักงาน

ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 46.

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยพิจารณาจากค่า Daylight Factor (DF) ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 2.0 % โดยแยกเป็นกรณีของหิ้งสะท้อนแสงที่ติดตั้งทางด้านทิศเหนือ และทางด้านทิศใต้ มีรายละเอียดดังนี้ คือ

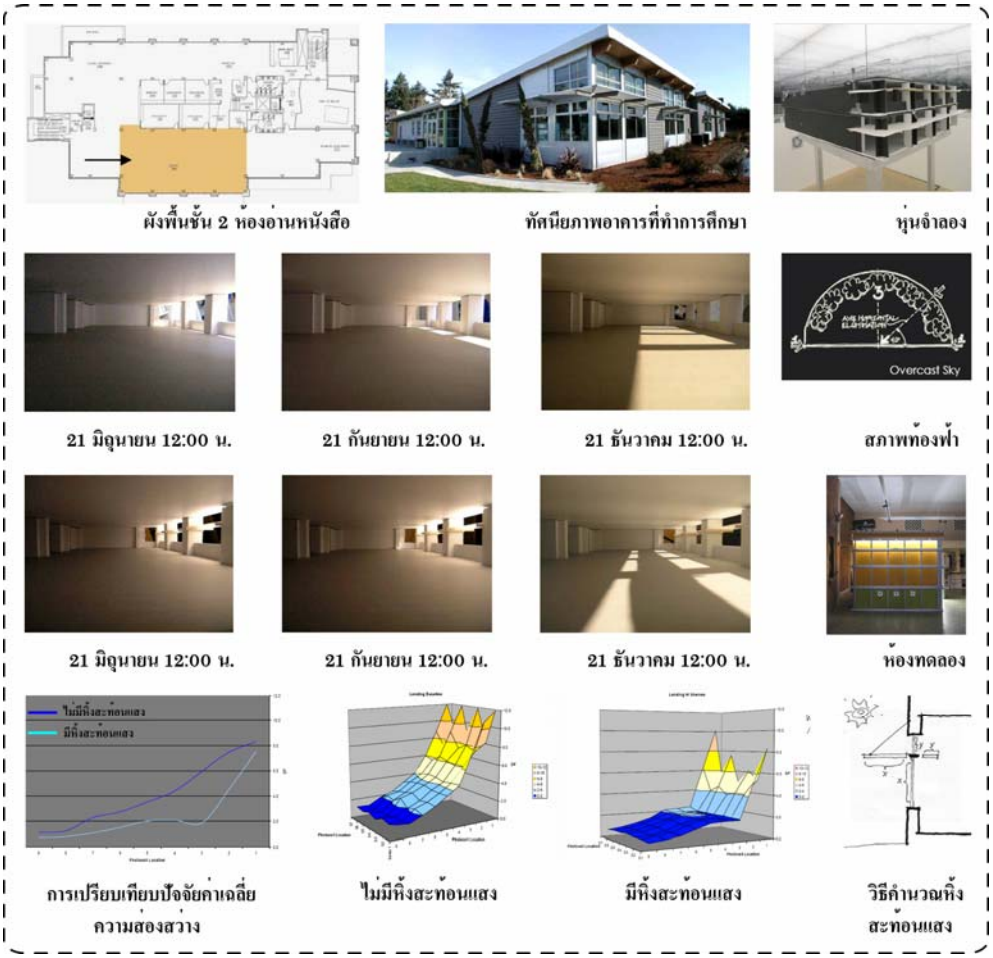
- ทางด้านทิศเหนือ หิ้งสะท้อนแสงที่มีคะแนนดีที่สุด คือ หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบระยะยื่น 0.61 เมตร วัสดุสติกเกอร์สีเงินมันวาว 75.25% การสะท้อนเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) ระดับความสูงในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง 2.00 เมตร

- ทางด้านทิศใต้ หิ้งสะท้อนแสงที่มีคะแนนดีที่สุด คือ หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.24 เมตร วัสดุสติกเกอร์สีเงินมันวาว 75.25 % การสะท้อนเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) ระดับความสูงในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง 2.00 เมตร โดยมีรายละเอียดของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปัจจัยกายภาพของหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร

1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบภายนอกแนวราบ
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	ทิศเหนือ และทิศใต้ระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดที่ระยะความสูง 2.00 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	ทิศเหนือภายนอกระยะยื่น 0.61 ม. ทิศใต้ภายนอกระยะยื่น 1.24 ม.
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	ทิศเหนือ และทิศใต้สีเงามันวาวรูปแบบการสะท้อนเสมือนกระจกเงา

10.1.5 อาคาร Idaho Central Credit Union Headquarters (Lombard Conrad 2005 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารสำนักงาน Idaho Central Credit Union Headquarters มีช่องเปิดทางด้านข้างทิศตะวันออก โดยเลือกห้องอ่านหนังสือชั้น 2 เป็นกรณีศึกษาพื้นที่บริเวณใกล้ช่องเปิดมีปริมาณแสงแดดที่เข้ามามาก โดยเฉพาะในช่วงเดือนธันวาคมทำให้เกิดความไม่สบายสายตาแก่ผู้ใช้อาคาร และความร้อนที่เข้ามาภายในห้อง หิ้งสะท้อนแสงที่ทำการศึกษา เพื่อลดปัญหาดังกล่าว เป็นแบบผสมที่มีการยื่นของแผ่นหิ้งสะท้อนแสงในแนวราบทั้งภายในและภายนอก (ตารางที่ 10) ทำการทดสอบหุ่นจำลองในห้องจำลองสภาพท้องฟ้า (Skydome) ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast Sky) ทำการทดลองในวันที่ 21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ในช่วงเวลา 12:00 น. การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงใช้อัตราส่วนระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกเท่ากับความสูงของช่องแสงด้านข้าง และระยะยื่นภายในของหิ้งสะท้อนแสงเท่ากับความสูงของช่องแสงด้านบน



ภาพที่ 33 แสดงการใช้หิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Idaho Central Credit Union Headquarters
ที่มา : Lombard Conrad. Idaho Central Credit Union Headquarters [online]. Accessed 8 May 2007. Available from http://www.uiweb.uidaho.edu/idl/PDF/ICCU/ICCU%20(01_21_05).pdf

ตารางที่ 10 ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Idaho Central Credit Union Headquarters

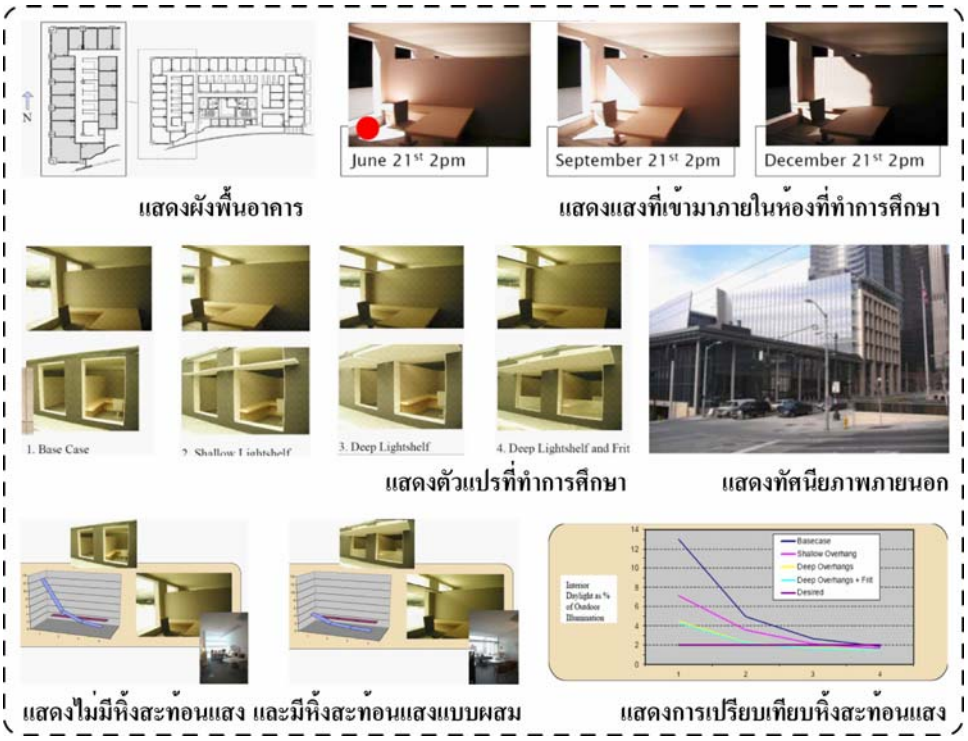
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสมภายนอก และภายในแนวราบ
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	จากระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดสูง 3.00 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร ภายในระยะยื่น 1.50 เมตร
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	กระดาษพื้นผิวสีขาวเคลือบเงาผิวเรียบ

จากการศึกษาพบว่ากรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสง บริเวณใกล้ช่องเปิดมีปริมาณแสงที่สูงเกินกว่ามาตรฐาน บริเวณภายในมีปริมาณแสงที่ลดลง และการกระจายแสงไม่สม่ำเสมอ ส่วนกรณีที่มี

หิ้งสะท้อนแสง ช่วงบริเวณใกล้ช่องเปิดมีปริมาณแสงที่ลดลงจากเดิม ทำให้ช่วยลดค่าแสงบาดตา ตลอดจนภายในมีการกระจายแสงที่มีความสม่ำเสมอดีขึ้น

10.2 การศึกษาอาคารที่มีการใช้หิ้งสะท้อน

10.2.1 อาคารสำนักงาน Seattle City Hall (Bohlin Cywinski Jackson 2007 : 7 – 12) ห้องทำงานขนาด 3.00 x 6.00 เมตร มีช่องเปิดด้านข้างทางทิศตะวันออก พื้นที่บริเวณใกล้ช่องเปิดมีปริมาณแสงแดดตรงเข้ามามาก ทำให้เกิดความไม่สบายสายตาแก่ผู้ใช้อาคาร และความร้อนที่เข้ามาภายในห้อง ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนัก ซึ่งหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการศึกษา เพื่อลดปัญหาดังกล่าว เป็นแบบผสมที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายใน และภายนอกแนวราบ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกมี 3 ขนาด ทำการทดสอบหุ่นจำลองในห้องจำลองสภาพท้องฟ้า (Skydome) ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast Sky) การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงทำโดยการคำนวณจากมุมโปรฟาลย์ (profile angle)



ภาพที่ 34 แสดงผลการทดลองหิ้งสะท้อนแสงอาคารสำนักงาน Seattle City Hall

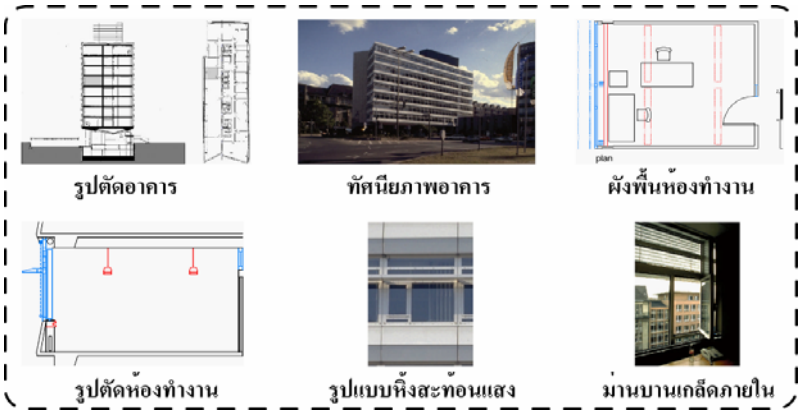
ที่มา : Bohlin Cywinski Jackson. Seattle City Hall [online]. Accessed 8 May 2007. Available from http://www.daylightinglab.com/daylighting/study_2000_Seattle_City_Hall.pdf

จากการศึกษาพบว่าการใช้หิ้งสะท้อนแสง ทำให้บริเวณใกล้หน้าต่างมีค่าความส่องสว่างที่ลดลง ส่วนบริเวณภายในมีความส่องสว่างที่เท่าเดิม และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างดีขึ้น และยังช่วยลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ โดยมีรายละเอียดของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Seattle City Hall

1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสมภายนอก และภายในแนวราบ
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	จากระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดสูง 2.00 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	ภายนอกระยะยื่น 2.00 เมตร ภายในยื่น 0.50 เมตร
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	กระดาษพื้นผิวสีขาวมัน

10.2.2 อาคาร IBM (Gutbrot, Binde 2007 : 1 – 2) เป็นอาคารสำนักงาน 5 ชั้น สร้างตั้งแต่ ค.ศ. 1962 ผังพื้นมีการแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ และโครงสร้างอาคารเป็นช่วงกว้าง มีช่องเปิดด้านข้างทางด้านทิศเหนือ ซึ่งหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการศึกษาเป็นแบบระยะยื่นภายนอก ส่วนภายในติดตั้งบานเกล็ด และมีการใช้กระจก 2 ชั้น ทำการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance ในสภาพท้องฟ้าแบบโปร่งแสง (Clear Sky) รายละเอียดของหิ้งสะท้อนแสงแสดงไว้ในตารางที่ 12 การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงทำโดยการคำนวณจากมุมโปรฟาลย์ (profile angle)



ภาพที่ 35 แสดงผลการทดลองหิ้งสะท้อนแสงอาคารสำนักงาน IBM

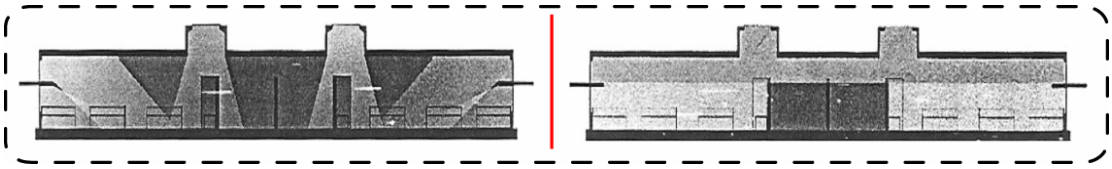
ที่มา : Lombard Conrad. Idaho Central Credit Union Headquarters [online]. Accessed 8 May 2007. Available from http://www.iea-sho.org/task21/A_survey_architectural_solutions/IBM-Building.pdf

ตารางที่ 12 ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร IBM

1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสมภายนอก และภายในแนวราบ
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	จากระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดสูง 2.00 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	ภายนอกระยะยื่น 1.00 เมตร
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	อะลูมิเนียมพื้นผิวสีเงินมันวาว

จากการศึกษาพบว่าการใช้หิ้งสะท้อนแสงช่วยป้องกันความร้อนบริเวณใกล้ช่องเปิด ทำให้ช่วยลดค่าแสงบาดตา และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างภายในมีค่าที่ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดภาระการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร

10.2.3 อาคารสำนักงาน Automotive Industry Office / Warehouse (Group Mackenzie, Robert Thompson 2007 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) มีช่องเปิดทางด้านข้างทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และมีช่องแสงทางด้านบน ทำให้ระดับความส่องสว่างช่วงบริเวณกลางห้องมีความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่มากขึ้น ส่วนช่องเปิดด้านข้างมีปริมาณแสงมากเกินความต้องการจนเกิดแสงบาดตา หิ้งสะท้อนแสงที่ทำการศึกษา เพื่อลดปัญหาดังกล่าว เป็นแบบผสมที่มีการยื่นของแผ่นหิ้งสะท้อนแสงในแนวราบทั้งภายในและภายนอก ทำการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast Sky) รายละเอียดของหิ้งสะท้อนแสงแสดงไว้ในตารางที่ 13 การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงทำโดยการคำนวณจากมุมโปรฟาลย์ (profile angle)



ภาพที่ 36 แสดงรูปตัดการใช้หิ้งสะท้อนอาคาร Automotive Industry Office / Warehouse

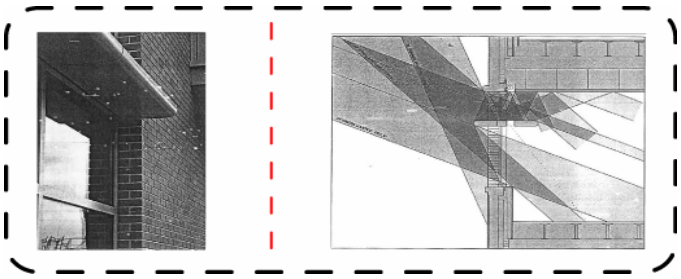
ที่มา : Gregg D. Ander, Daylighting Performance And Design, (New York Van Nostrand Reinhold : 1995), 130 – 136.

ตารางที่ 13 ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Automotive Industry Office / Warehouse

1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสมภายนอก และภายในแนวราบ
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	จากระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดสูง 2.00 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	ภายนอกระยะยื่น 2.00 เมตร ภายในระยะยื่น 1.20 เมตร
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	อะลูมิเนียมพื้นผิวสีเงินมันวาว

จากการศึกษาพบว่าการใช้หิ้งสะท้อนแสง ช่วยป้องกันความร้อนที่เข้ามาช่วงบริเวณใกล้ช่องเปิด และลดค่าแสงบาดตา ช่วยทำให้ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างดีขึ้น

10.2.4 อาคารสำนักงาน Johnson Center (William Mcdonough 2007 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) จุดมุ่งหมายแรกในการออกแบบอาคารหลังนี้ คือ ต้องการให้ทุกๆ พื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติจึงออกแบบช่องเปิดเป็นกระจกใสรอบสำนักงาน ทำให้ได้รับแสงแดด และมุมมองที่ดีสำหรับผู้ใช้อาคาร แต่เนื่องจากมีปัญหาแสงจ้าในช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นจึงทำการศึกษาหิ้งสะท้อนแสงแบบผสมที่มีระยะยื่นภายในและภายนอกแนวราบ (ตารางที่ 14) รูปแบบวัสดุสะท้อนแสง ทำการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) การหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงทำโดยการคำนวณจากมุมโปรฟาลย์ (profile angle)



ภาพที่ 37 แสดงการใช้หิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Johnson Center

ที่มา : Gregg D. Ander, Daylighting Performance And Design (New York Van Nostrand Reinhold : 1995), 147 – 143.

ตารางที่ 14 ลักษณะของหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Johnson Center

1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสมภายนอก และภายในแนวราบ
2. ตำแหน่งการติดตั้ง	จากระดับพื้นถึงขอบบนช่องเปิดสูง 2.00 เมตร
3. ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง	ภายนอกระยะยื่น 0.45 เมตร ภายระยะใน 1.00 เมตร
4. วัสดุ สีของหิ้งสะท้อนแสง	อะลูมิเนียม พื้นผิวสีเงินมันวาว

จากการศึกษาพบว่าการใช้หิ้งสะท้อนแสงสามารถบังแสงแดด และช่วยลดความร้อนภายในภายในอาคาร เนื่องจากบริเวณใกล้ช่องเปิดมีปริมาณแสงสว่างที่ลดลง ช่วยลดแสงบาดตา และภายในอาคารมีปริมาณแสงสว่างที่เพิ่มขึ้น ทำให้การกระจายแสงมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

10.3 สรุปงานวิจัยที่ทำการศึกษา และอาคารที่ใช้หิ้งสะท้อนแสง

10.3.1 วิธีการหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- วิธีการคำนวณระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง ทำโดยใช้อัตราส่วนระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกเท่ากับความสูงของช่องแสงด้านข้าง และระยะยื่นภายในของหิ้งสะท้อนแสงเท่ากับความสูงของช่องแสงด้านบน

- วิธีการคำนวณระยะความลึกของหิ้งสะท้อนแสงภายใน เป็นอัตราส่วนของระยะยื่นหิ้งสะท้อนแสงภายนอก เช่น 1/3 เท่าของระยะยื่นภายนอก 1/2 เท่าของระยะยื่นภายนอก

- วิธีการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Sun Charts) เพื่อหามุมโปรฟาลย์ (profile angle)

10.3.2 วัสดุของหิ้งสะท้อนแสง ภายนอกอาคารใช้วัสดุที่ทนต่อแดด ฝน เช่น อะลูมิเนียม คอนกรีต ส่วนภายในใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการกระจายแสง และน้ำหนักเบา เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น

10.3.3 วิธีการทดลองมี 3 วิธี คือ

- การจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถจำลองสภาพท้องฟ้า วัน เดือน ช่วงเวลา และสภาพความส่องสว่างภายในห้องได้ตามความต้องการ

- การทดลองโดยใช้หุ่นจำลองกับสภาพท้องฟ้าจริง โดยการวัดค่าความส่องสว่างภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง วิธีการนี้มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถเก็บผลการทดลองได้ครอบคลุมทุกสภาพอากาศตลอดทั้งปี เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลานาน

- การทดสอบหุ่นจำลองในห้องจำลองท้องฟ้า (Sky dome) ซึ่งมีข้อจำกัด คือ สามารถจำลองสภาพท้องฟ้าได้ประเภทเดียว คือ สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก ซึ่งสภาพท้องฟ้าของ

ประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแบบมีเมฆบางส่วน (Partly Cloudy Sky) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2543 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) อีกทั้งการกระจายแสงภายใน (Sky dome) อาจเกิดการสะท้อนแสงที่ผิวภายใน (Sky dome) ทำให้ค่าการกระจายแสงที่ได้มีความคาดเคลื่อนอยู่บ้าง (กนกวรรณ อุสันโน 2539 : 61)

11. โปรแกรม Desktop Radiance

ปัจจุบันถือได้ว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญ ที่มีบทบาทสำหรับการประเมินผลการออกแบบ หรือช่วยในด้านการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก เพราะสามารถจำลองสภาพแวดล้อมและเงื่อนไขต่างๆ ได้อย่างสมจริง (Inanici 2001 : 1) การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวกับแสงสว่างทั้งจากแสงธรรมชาติ (Daylighting) และแสงประดิษฐ์ (Artificial Lighting) ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะโปรแกรมสามารถเลือกข้อมูลของลักษณะแสงประดิษฐ์ วัสดุพื้นผิว เฟอร์นิเจอร์ และมุมมอง รวมถึงการคำนวณแสงในระดับสูง ซึ่งปัจจุบันมีการป้อนข้อมูลใส่เข้าไปในโปรแกรมมีความสะดวก เข้าใจง่าย โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกี่ยวกับแสงสว่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น Lightscape Unix Radiance Desktop Radiance (Inanici 2001 : 1)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกการวิจัยโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance 2.0 ในการจำลองแสงสว่างภายในอาคารทั้งจากแสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์

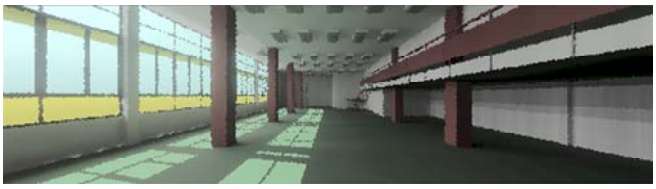
โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถประมวลและแสดงผล Rendering การออกแบบแสงสว่างที่มีความสลับซับซ้อนมากๆได้โดยมีความแม่นยำในการคำนวณค่าความสว่างที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณค่าความสว่างได้ทุกๆพื้นที่ ซึ่งการคำนวณประกอบด้วยการคำนวณค่าความสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง และจากแสงสะท้อน

โปรแกรมนี้มีความเหมาะสมกับผู้ใช้หลายประเภท ทั้งนักวิจัย นักคอมพิวเตอร์กราฟฟิค นักออกแบบ นักเรียน นักศึกษา เป็นต้น ซึ่งผลจากการคำนวณที่ได้จะมีคุณภาพสูง และเชื่อถือได้ โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 นี้มีการออกแบบเครื่องมือเพื่อให้ใช้ได้อย่างสะดวก ทั้งในการออกแบบ และวิเคราะห์ตัวอาคารให้สามารถใช้แสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด รวมถึงเทคโนโลยีในการออกแบบแสงประดิษฐ์ต่างๆ โดยโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 จะทำงานร่วมกับโปรแกรม Auto CAD ในการเขียนวัตถุ 3 มิติ ตามรูปแบบที่ต้องการได้โดยตรง

การสร้างวัตถุ 3 มิติ ในโปรแกรม Auto CAD สามารถระบุเลือกวัสดุประกอบอาคารต่างๆ ใน Library จากโปรแกรมได้ เช่น ผนัง กระจก ดวงโคม เฟอร์นิเจอร์ โดยกำหนดการวางทิศทางของตัวอาคาร และกำหนดขอบเขตภายในอาคารที่ต้องการวิเคราะห์ โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 สามารถคำนวณแสงเป็นแบบจุด และแบบกริด ซึ่งสามารถวัดผลได้ในหลายๆ จุด

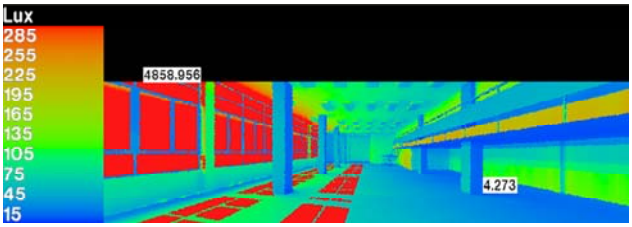
พร้อมกัน และแสดงเป็นภาพ 3 มิติ ตามมุมมองที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด ในภาพที่แสดงผลนั้น สามารถแสดงเป็นเส้นระดับของค่าความสว่าง หรือเป็นระดับสีที่ได้ (Larson and Shakespeare 1998 : xviii – xxi) เมื่อโปรแกรมคำนวณค่าความสว่างที่ต้องการแล้วสามารถดูรายละเอียดของผลการคำนวณได้ในคำสั่ง Simulation Manager และดูข้อมูลภาพจำลองในลักษณะต่างๆได้ดังนี้ คือ

- ภาพ Image คือ ภาพที่จำลอง Simulation ตามวัน เวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถแสดงภาพในลักษณะ Human Sensitivity คือ ภาพที่จำลองตามความรู้สึกการมองเห็นของมนุษย์



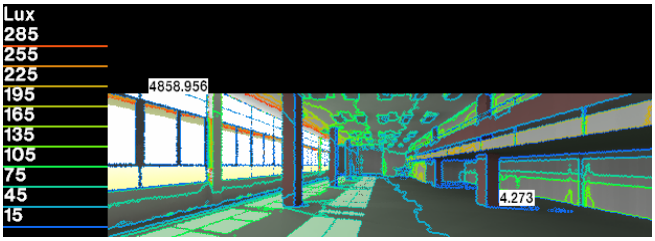
ภาพที่ 38 แสดงการคำนวณภาพแบบ Human Sensitivity

- ภาพใน Mode ของ False Color คือ ภาพที่แสดงผลเป็นช่วงสีต่างๆ ที่แสดงระดับความส่องสว่าง และแสดงตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุด และต่ำที่สุดในภาพ



ภาพที่ 39 แสดงการคำนวณภาพแบบ False Color

- ภาพใน Mode ของ Iso Contour คือ ภาพที่แสดงผลเป็นเส้นสีของระดับความส่องสว่าง และแสดงตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุด และต่ำที่สุดในภาพ



ภาพที่ 40 แสดงการคำนวณภาพแบบ Iso Contour

ฉะนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองภาพ (Image) คือ ภาพแสดงภาพในลักษณะ Human Sensitivity และภาพใน Mode ของ False Color คือ ภาพที่แสดงเป็นช่วงสีต่างๆ ที่แสดงระดับความส่องสว่าง แต่ไม่ได้ทำการทดลองภาพใน Mode ของ Iso Contour คือ ภาพที่แสดงผลเป็นเส้นสีของระดับความส่องสว่าง เนื่องจากในการนำเสนอขั้นตอนการจำลองสภาพภายในห้องอ่านหนังสือ ภาพมีขนาดที่เล็ก เพื่อทำให้ชัดเจนขึ้นจึงนำเสนอเป็นภาพแบบ False Color

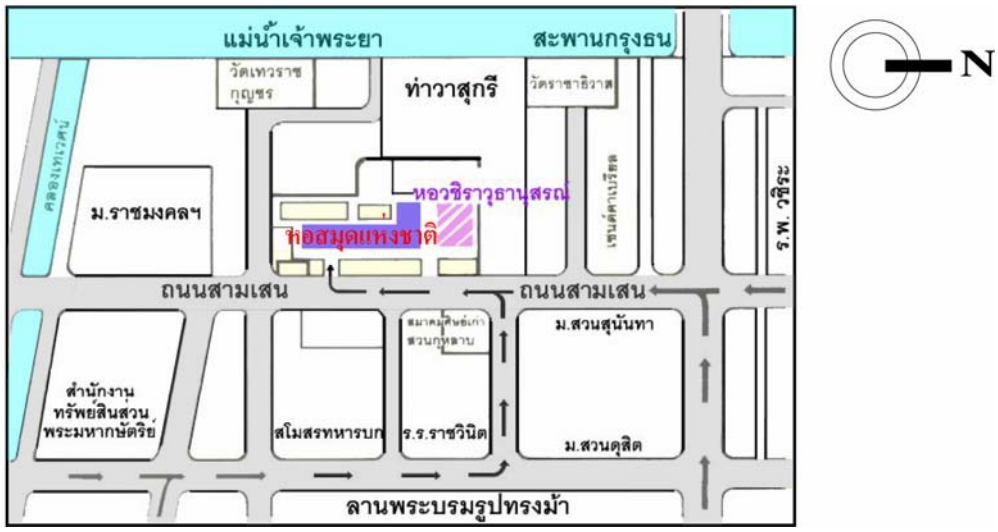
โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 สามารถคำนวณแสงบาดตา (Guth Visual Comfort Probability) เช่น ค่า VCP = 70 หมายถึง ในจำนวนประชากรทั้งหมด 100 คน มี 70 คน ที่มีความเห็นว่าแสงภายในห้องมีความสบายตามาตรฐานค่า VCP จะอยู่ที่ 70% หรือมากกว่าก็ยิ่งดี จากการพิจารณามุมมองการมองเห็นในโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 คือ มุมมองของการมองเห็นไปทางขวามีค่าเป็นลบ (-) และมุมมองของการมองเห็นไปทางซ้ายมีค่าเป็นบวก (+) ซึ่งจะได้ค่ามุมมองการมองเห็นรวมทั้งหมดเท่ากับ 120˚ โดยกำหนดให้คนยืนอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางห้อง

บทที่ 3

การศึกษาลักษณะห้องอ่านหนังสือ กรณีศึกษาอาคารหอสมุดแห่งชาติ

1. ลักษณะทั่วไปของห้องอ่านหนังสือ

อาคารหอสมุดแห่งชาติเป็นอาคารที่เก่าแก่ประมาณ 40 กว่าปี เป็นศูนย์กลางในการเก็บรวบรวมหนังสือ และสื่อทันสมัยต่างๆ สถานที่ตั้งอาคารอยู่ที่ถนนสามเสน เขตดุสิต กรุงเทพฯ (ภาพที่ 41) เปิดให้บริการทุกวัน ตั้งแต่ 9.00 – 19.30 น. ยกเว้นวันหยุดนักขัตฤกษ์



ภาพที่ 41 แสดงแผนผังที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา อาคารหอสมุดแห่งชาติ กรุงเทพฯ

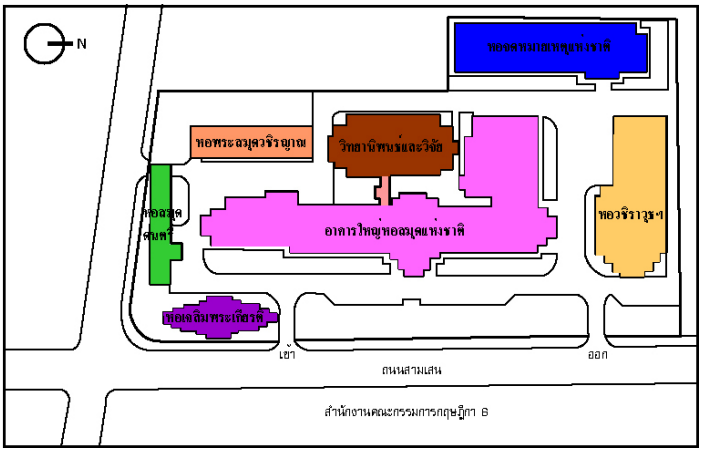
สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารใหญ่หอสมุดแห่งชาติ มีรายละเอียดดังนี้

ด้านทิศเหนือ อาคาร 5 หอวชิราวุธานุสรณ์

ด้านทิศตะวันออก สนามหญ้า ลานจอดรถ ถนนสามเสน

ด้านทิศใต้ อาคาร 6 ห้องสมุดดนตรีทูลกระหม่อมสิรินธร

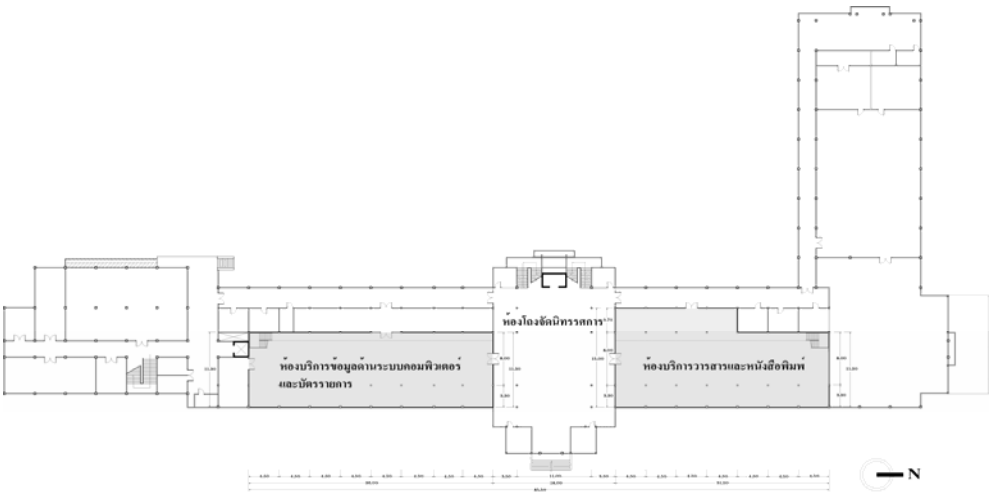
ด้านทิศตะวันตก อาคาร 3 วิทยานิพนธ์และวิจัย



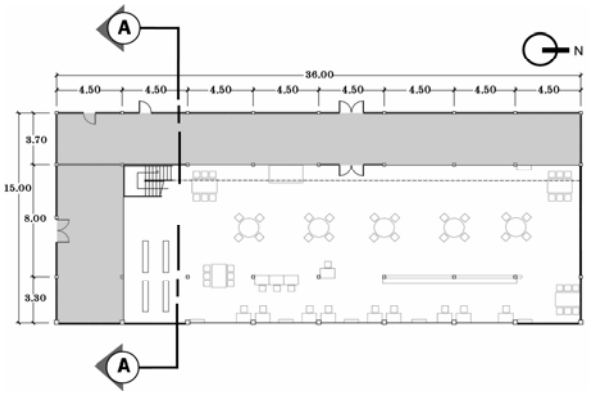
ภาพที่ 42 แสดงสภาพแวดล้อมที่ตั้งอาคารหอสมุดแห่งชาติ ในเขตกรุงเทพฯ

ภาพที่ 43 แสดงลักษณะรูปแบบอาคารภายนอกในแต่ละทิศ

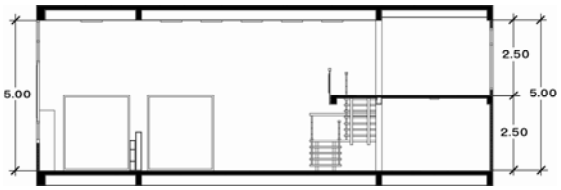
อาคารหอสมุดแห่งชาติ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 5 ชั้น ประกอบด้วยชั้น 1 ห้องบริการค้นหาข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และห้องวารสารหนังสือพิมพ์ ชั้น 2 ห้องสังคมศาสตร์ ห้องวิทยาศาสตร์ และห้องปรัชญา ศาสนา ห้องหนังสือ มสธ. ชั้น 3 ห้องศิลปกรรม วรรณคดี ห้องสมุดวิจิตรวาทการ และห้องหนังสือหายาก ชั้น 4 ห้องบริการค้นคว้าหนังสือตัวเขียนและจารึก ห้องเก็บวารสาร – หนังสือพิมพ์ และห้องอนุรักษ์เอกสารโบราณและหนังสือหายาก ชั้น 5 คลังสิ่งพิมพ์ ชั้น 1 - 3 เปิดให้บริการแก่บุคคลทั่วไปได้ใช้บริการ รายละเอียดของห้องต่างๆ ในแต่ละชั้นจากการสำรวจเมื่อวันที่ 8 10 และ 13 มกราคม 2548 ดังภาพที่ 44 – 61



ภาพที่ 44 แสดงผังพื้นชั้นที่ 1 ห้องบริการข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์และบัตรรายการ (ด้านซ้าย) และห้องวารสารและหนังสือพิมพ์ (ด้านขวา)

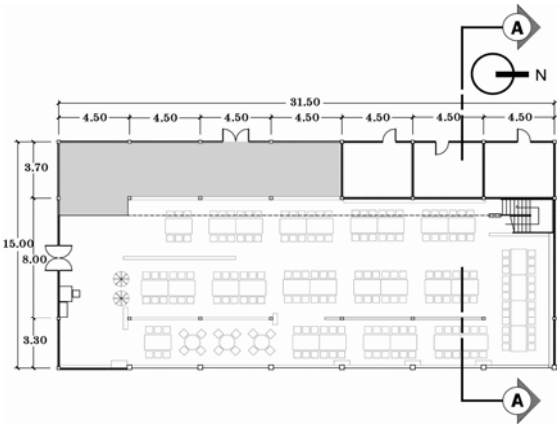


ภาพที่ 45 แสดงผังพื้นห้องบริการข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และบัตรรายการ

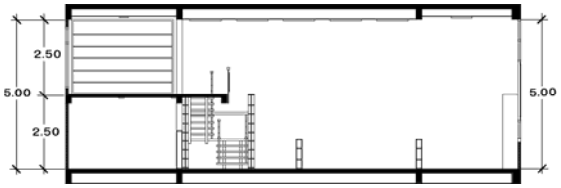


ภาพที่ 46 แสดงรูปตัดห้องบริการข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และบัตรรายการ

ภาพที่ 47 แสดงบรรยากาศภายในห้องบริการข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และบัตรรายการ

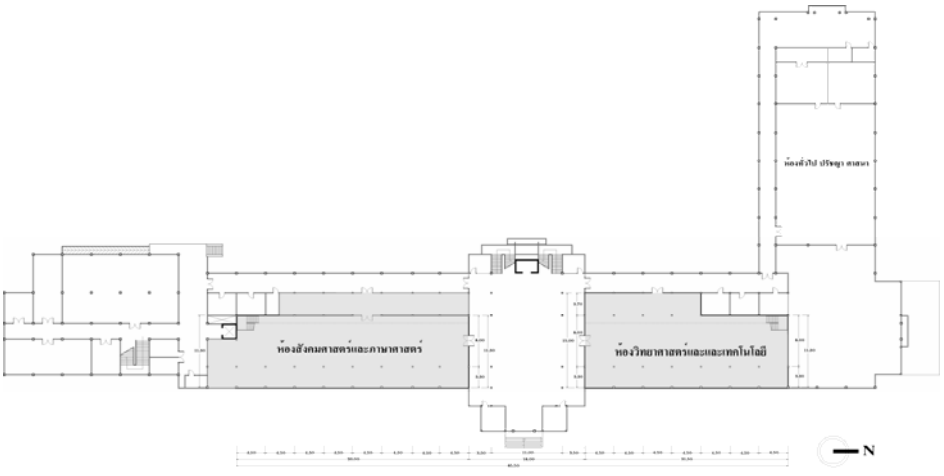


ภาพที่ 48 แสดงผังพื้นห้องบริการวารสาร และหนังสือพิมพ์

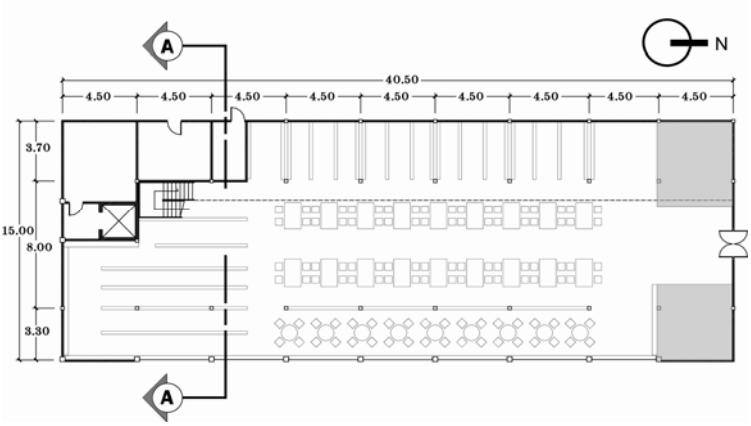


ภาพที่ 49 แสดงรูปตัดห้องบริการวารสาร และหนังสือพิมพ์

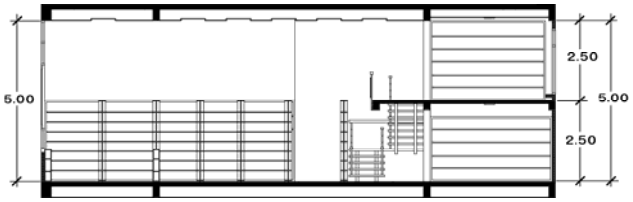
ภาพที่ 50 แสดงบรรยากาศภายในห้องบริการวารสาร และหนังสือพิมพ์



ภาพที่ 51 แสดงผังพื้นชั้น 2 ห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์ (ด้านซ้าย) และห้องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ด้านขวา)

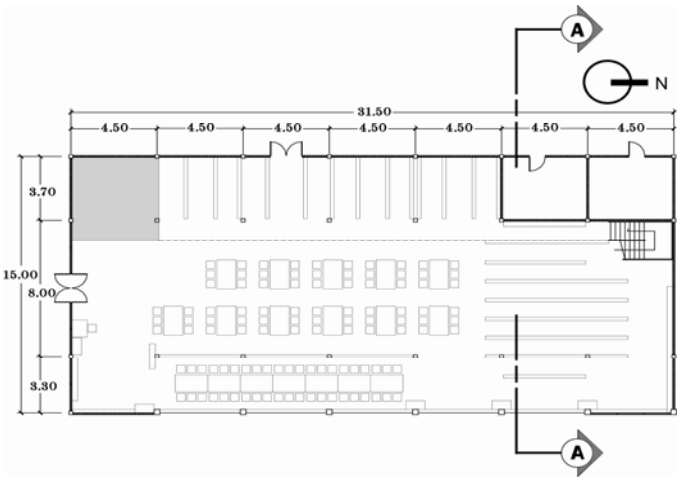


ภาพที่ 52 แสดงผังพื้นห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์

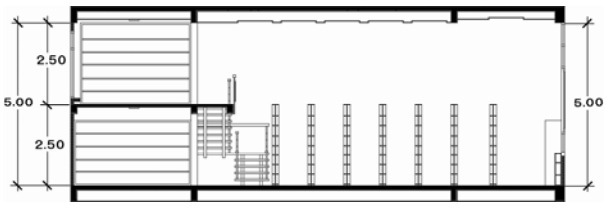


ภาพที่ 53 แสดงรูปตัดห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์

ภาพที่ 54 แสดงบรรยากาศภายในห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์

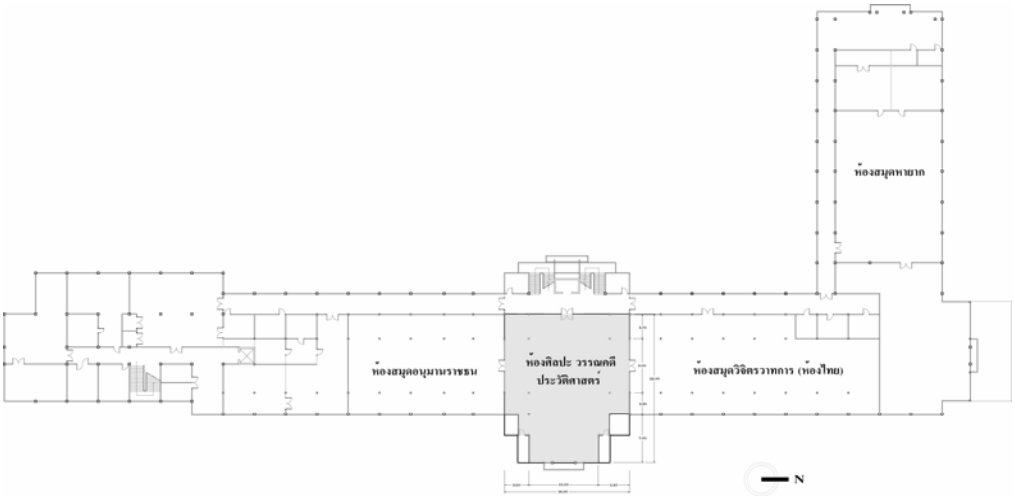


ภาพที่ 55 แสดงผังพื้นห้องวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

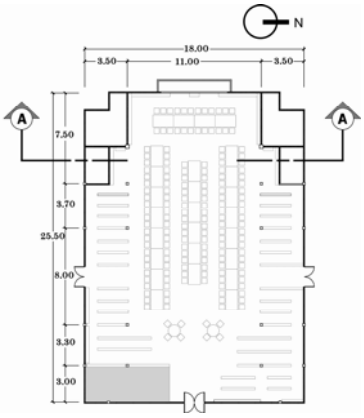


ภาพที่ 56 แสดงรูปตัดห้องวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

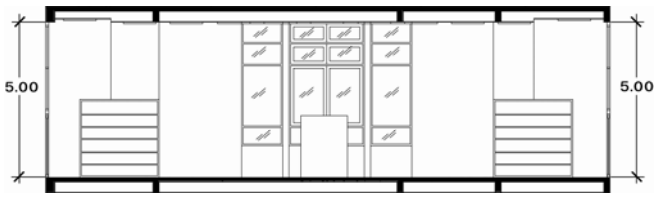
ภาพที่ 57 แสดงบรรยากาศภายในห้องวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี



ภาพที่ 58 แสดงผังพื้นอาคารชั้น 3 ห้องศิลปะ วรรณคดี ประวัติศาสตร์

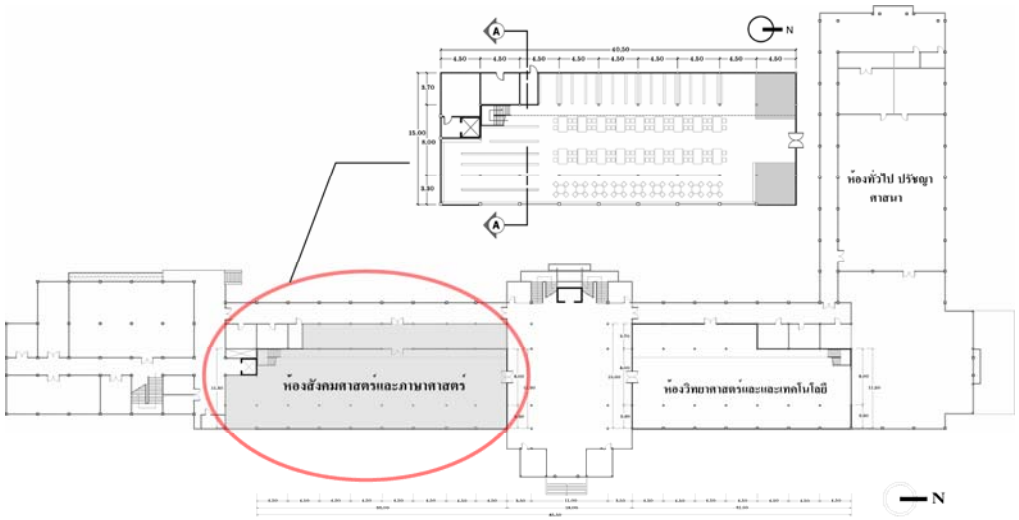


ภาพที่ 59 แสดงผังพื้นห้องศิลปะ วรรณคดี ประวัติศาสตร์



ภาพที่ 60 แสดงรูปตัดห้องศิลปะ วรรณคดี ประวัติศาสตร์

ภาพที่ 61 แสดงบรรยากาศภายในห้องศิลปะ วรรณคดี ประวัติศาสตร์



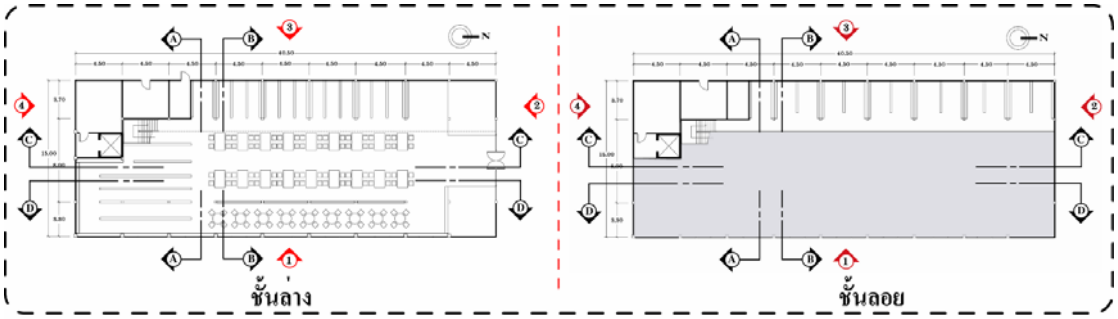
ภาพที่ 62 แสดงผังพื้นห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์ที่ใช้เป็นห้องต้นแบบในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เลือกห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษาเพียง 1 ห้อง เนื่องจากรูปแบบอาคารภายนอก ภายในที่มีลักษณะที่เหมือนกัน ระยะห่างระหว่างช่วงเสา ความกว้าง ความสูง วัสดุ สี และรูปแบบการเจาะช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกที่เหมือนกัน โดยเลือกห้องสังคมศาสตร์ และภาษาศาสตร์ ซึ่งมีพื้นที่ 862.50 ตารางเมตร มาเป็นห้องต้นแบบ เพื่อทำการทดลอง วิเคราะห์คุณสมบัติของหิ้งสะท้อนแสงที่หลากหลาย โดยทำการศึกษาตัวแปรของหิ้งสะท้อนแสงคือ รูปแบบ วัสดุของหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับอาคารหอสมุดแห่งชาติ และมีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร โดยผลการทดลองจากห้องต้นแบบสามารถนำไปพัฒนาใช้กับห้องอ่านหนังสือห้องอื่นๆต่อไป

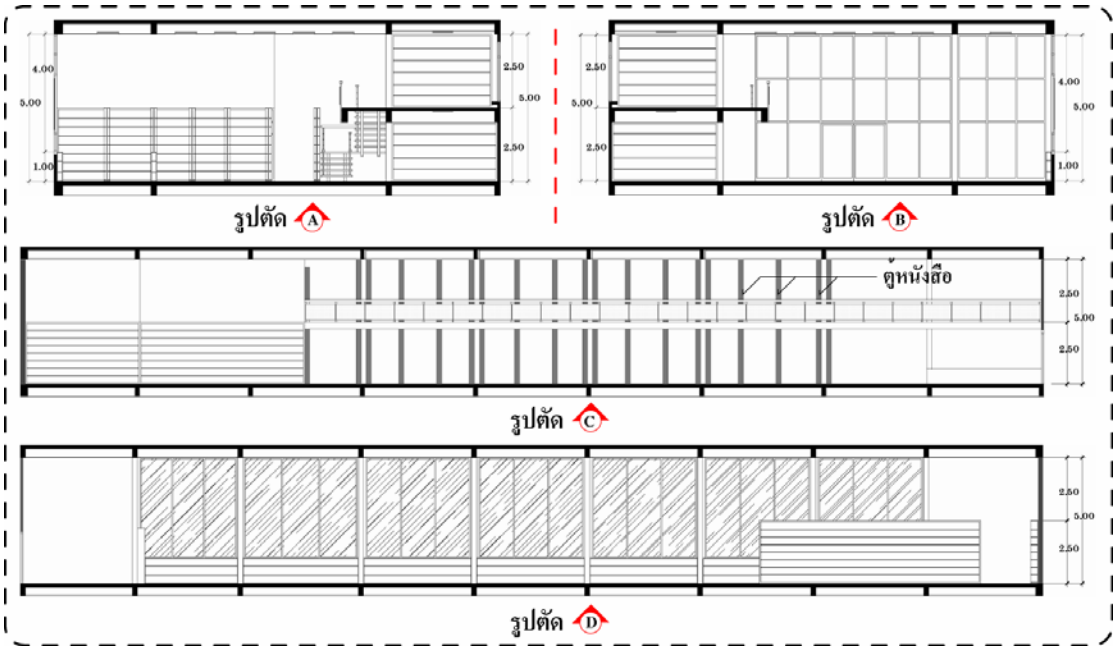
2. ลักษณะรูปแบบของห้องอ่านหนังสือที่เลือกเพื่อใช้ทำการศึกษา

2.1 ห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา

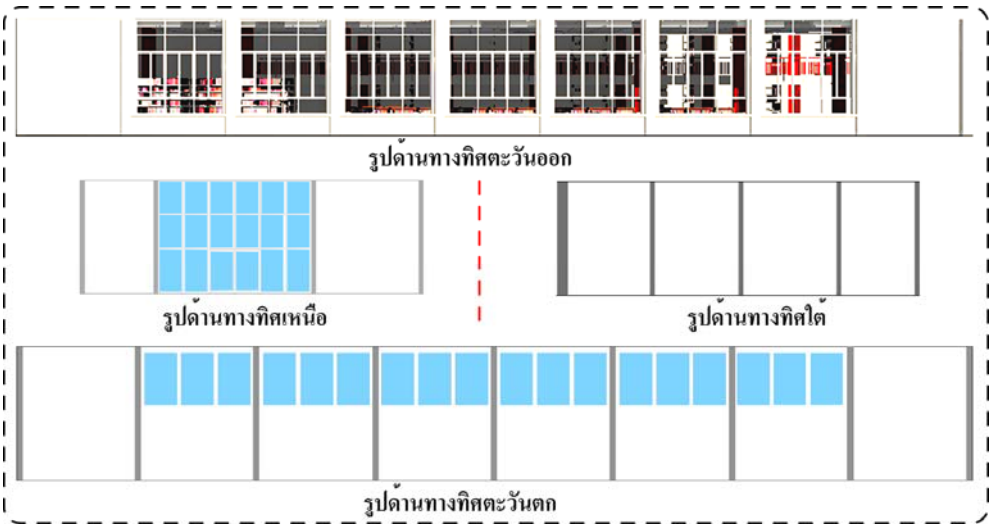
เป็นห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดความกว้าง 15 เมตร ความยาว 40.50 เมตร และสูง 5 เมตร ภายในมีชั้นลอยที่อยู่สูงจากระดับพื้น 2.50 เมตร การจัดพื้นที่ใช้สอยแยกตามกิจกรรมการใช้งาน เช่น โต๊ะอ่านหนังสือ ชั้นวางหนังสือ เคาน์เตอร์ ทางด้านทิศเหนือเป็นผนังทึบ ทางด้านทิศตะวันออกขอบล่างของช่องเปิดอยู่ที่ระดับความสูงจากพื้น 1.00 เมตร ขอบบนอยู่ที่ระดับความสูง 5.00 เมตร ทางด้านทิศตะวันตกเป็นผนังทึบ และทางด้านทิศใต้เป็นผนังทึบที่ติดกับห้องอื่น



ภาพที่ 63 แสดงการจำลองผังพื้นห้องที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 64 แสดงรูปตัดของห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 65 แสดงรูปด้านของห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา

ภาพที่ 66 แสดงทัศนียภาพภายในห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา

ภาพที่ 67 แสดงรูปแบบภายนอกห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา

2.2 ค่าการสะท้อนแสง และค่าการส่องผ่านแสง ทำการวัดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในห้อง โดยใช้เครื่องมือวัดแสง คือ Lux Meter รุ่น Testo 545 (ภาพที่ 68) วัดปริมาณแสงเปรียบเทียบระหว่างปริมาณแสงสะท้อนจากวัสดุกับปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัสดุที่ต้องการทราบโดยค่าที่วัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ (พรรณชลัท สุริโยธิน, 2543 : 80)

ภาพที่ 68 แสดงเครื่องมือวัดแสง คือ Lux Meter รุ่น Testo 545

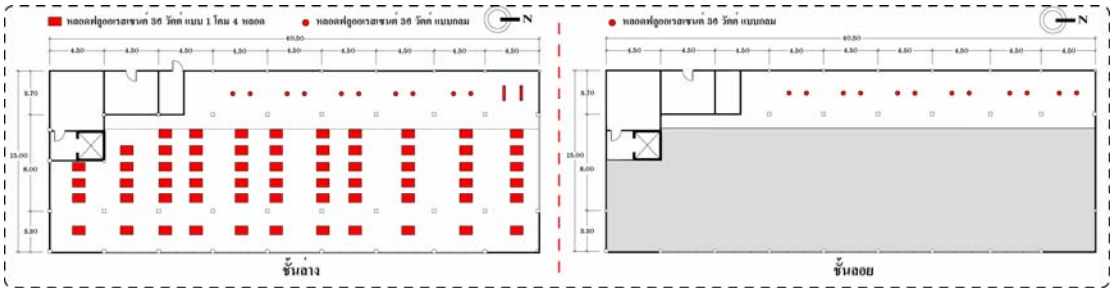
ตำแหน่งที่ทำการวัดค่าการสะท้อนแสง และค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุภายในห้องมีดังนี้ คือ

ภาพที่ 69 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดจุดต่างๆ

- พื้น กระเบื้องยางสีครีมสลับสีเขียว มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 22.3%
- เสา ไม้เนื้อแข็งสีน้ำตาลแดง มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 17.0%
- ผนัง ก่ออิฐฉาบปูนเรียบสีขาว มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 60.0%
- ฝ้าเพดาน โครงเคร่าทีบาร์ขนาด 0.60 x 1.20 ม. บุด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ดสีขาวหนา 9 ม.ม. มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 73.3%
- หน้าต่าง เป็นกรอบบานอลูมิเนียมลูกฟักกระจกใสหนา 6 มม. มีค่าการส่องผ่านแสง (Visible Light Transmittance) เฉลี่ยประมาณ 88% ดังภาพที่ 70

ภาพที่ 70 แสดงค่าการสะท้อนแสง และค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุต่างๆ

- ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ ชั้นล่างบริเวณอ่านหนังสือใช้โคมสี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นโคมสีเงินไม่มีตัวสะท้อนแสง ภายในโคมไฟ 1 โคม มีหลอดไฟจำนวน 4 หลอด เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ใช้บัลลาสต์ขดลวด รวมจำนวนโคม 63 โคม จำนวน 252 หลอด บริเวณใต้ชั้นลอยเป็นตู้หนังสือที่มีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกลม 36 วัตต์ บัลลาสต์ขดลวด รวมจำนวนหลอด 10 ดวง และหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ แบบหลอดเดียว จำนวน 2 หลอด ชั้นลอย ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกลม 36 วัตต์ บัลลาสต์ขดลวด รวมจำนวนหลอด 13 หลอด ดังภาพที่ 71

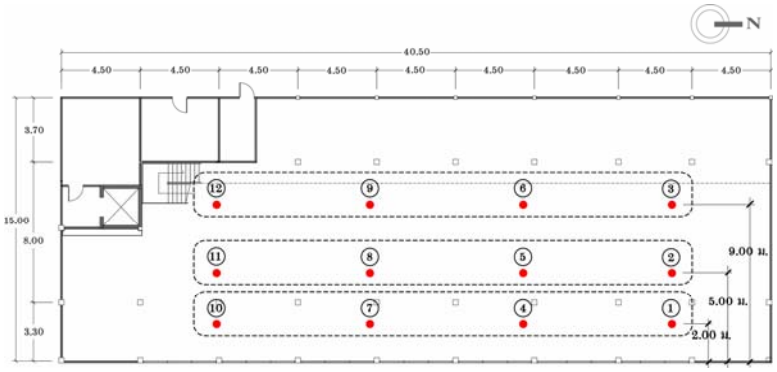


ภาพที่ 71 แสดงผังไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ห้องที่ทำการศึกษา

3. การวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ ณ หอสมุดแห่งชาติ

3.1 ทำการวัด และเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างของห้องที่ทำการศึกษาเดิม

ทำการวัดแสง โดยใช้เครื่องมือวัด Lux Meter ซึ่งวัดแสงระดับโต๊ะอ่านหนังสือสูงจากระดับพื้น 0.70 เมตร มีทั้งหมด 12 จุด โดยแถวแรกห่างจากช่องเปิด 2 5 และ 9 เมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 72 แสดงตำแหน่งจุดวัดแสงในห้องอ่านหนังสือ

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลา ดังนั้นจึงไม่สามารถเก็บผลการทดลองได้ครอบคลุมทุกสภาพท้องฟ้าตลอดทั้งปี จึงทำการวัดเฉพาะวันที่ 8 10 และ 13 มกราคม 2548 สภาพท้องฟ้ามีเมฆมากปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) และช่วงเวลาที่จำลอง 10:00 13:00 และ 16:00 น. เป็นช่วงเวลาที่เปิดใช้บริการ ดังภาพที่ 73

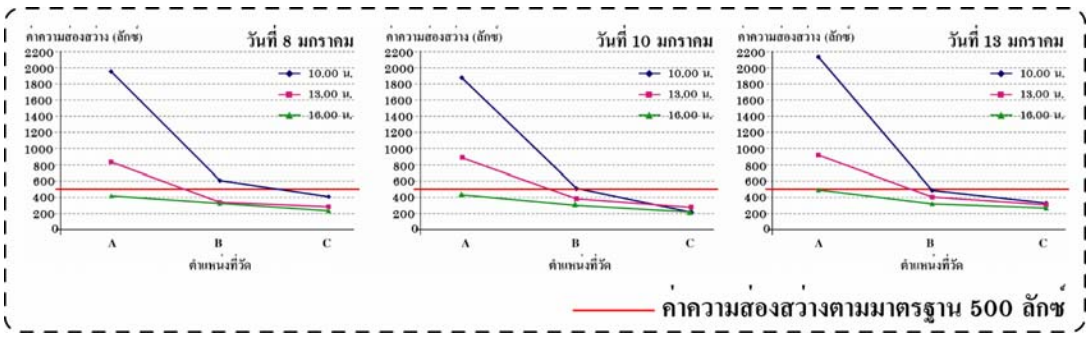
ภาพที่ 73 แสดงบรรยายกาศภายในวัน และเวลาที่ทำการวัดด้วยเครื่องมือ

โดยเปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน IES ซึ่งกำหนดให้พื้นที่อ่านหนังสือ ควรมีค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

3.2 ผลการวัดค่าความส่องสว่างของห้องอ่านหนังสือโดยใช้เครื่องมือวัด

ภายในห้องอ่านหนังสือที่ทำการศึกษา ณ วันที่ 8 10 และ 13 มกราคม 2548

จากการทดลองพบว่าค่าความส่องสว่าง โดยส่วนใหญ่แล้วตำแหน่ง A มีปริมาณแสงที่แดด และความร้อนที่เข้ามามาก ที่ตำแหน่ง B และ C มีปริมาณแสงที่ไม่เพียงพอกับการอ่านหนังสือ จึงทำให้เกิดปัญหาในด้านปริมาณ และคุณภาพแสงภายในห้องอ่านหนังสือ



กราฟที่ 2 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือโดยใช้เครื่องมือวัด

4. การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือที่วัดโดยใช้เครื่องมือ กับการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการวัดค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงแล้ว ได้เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างโดยใช้เครื่องมือ กับการคำนวณโดยโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 เพื่อศึกษาผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีรายละเอียดการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลอง แสดงในบทที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าความส่องสว่าง มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

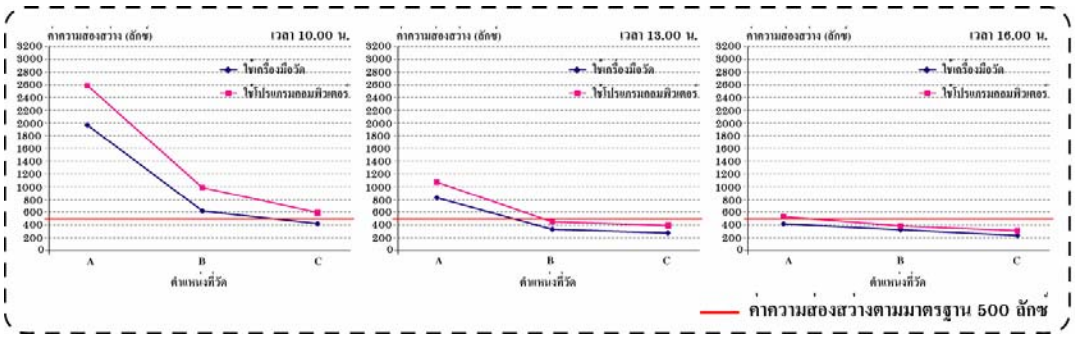
$$\text{ค่าความแตกต่างของค่าความส่องสว่าง (\%)} = \frac{E1 - E2}{E1} \times 100$$

โดยที่ E1 : ค่าความส่องสว่างที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดที่สถานที่จริง

E2 : ค่าความส่องสว่างที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือ กับค่าความส่องสว่างที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1.1 การทดลองเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ ระหว่างการใช้เครื่องมือวัด กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ ณ วันที่ 8 มกราคม 2548

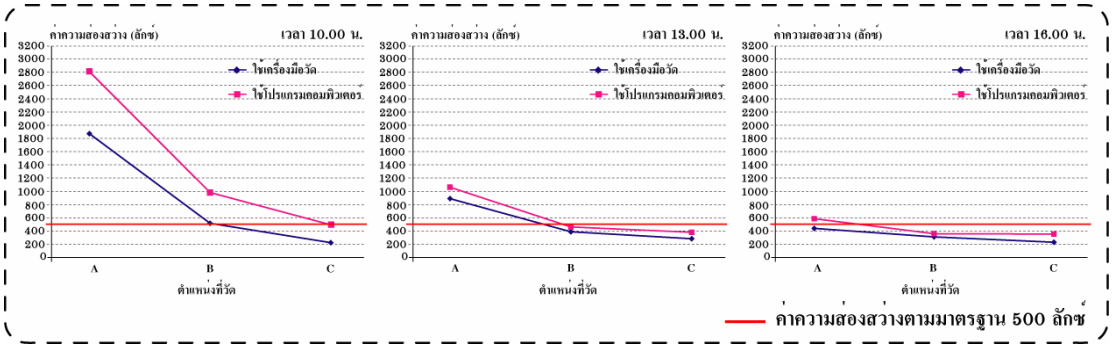


กราฟที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในวันที่ 8 มกราคม 2548

จากการทดลองพบว่าค่าความส่องสว่างที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดสถานที่จริง กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ตำแหน่ง A B และ C มีค่าความ

แตกต่างของค่าความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ช่วงเวลาเท่ากับ 4.5% 3.2% และ 2.5% ตามลำดับ

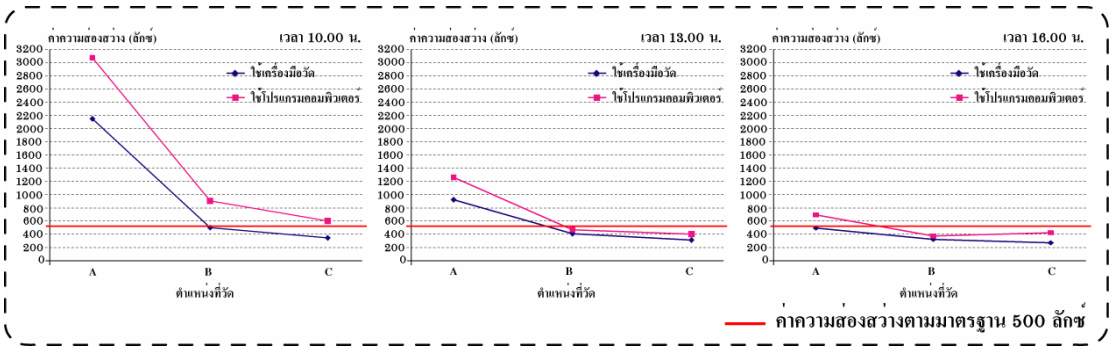
4.1.2 การทดลองเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ ระหว่างการใช้เครื่องมือวัด กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ ณ วันที่ 10 มกราคม 2548



กราฟที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในวันที่ 10 มกราคม 2548

จากการทดลอง พบว่าค่าความส่องสว่างที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดสถานที่จริง กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ตำแหน่ง A B และ C มีค่าความแตกต่างของค่าความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ช่วงเวลาเท่ากับ 8.6% 3.2% และ 3.4% ตามลำดับ

4.1.3 การทดลองเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ ระหว่างการใช้เครื่องมือวัด กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ ณ วันที่ 13 มกราคม 2548



กราฟที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในวันที่ 13 มกราคม 2548

จากการทดลอง พบว่าค่าความส่องสว่างที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดสถานที่จริง กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ที่ตำแหน่ง A B และ C มีค่าความแตกต่างของความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้ง 3 ช่วงเวลา เท่ากับ 6.8% 2.6% และ 3.8% ตามลำดับ

5. สรุปผลการทดลองระหว่างการใช้เครื่องมือวัด กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการทดลองระหว่างการใช้เครื่องมือวัดสถานที่จริง กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทั้ง 3 วัน พบว่าความแตกต่างของค่าความส่องสว่างที่ 4.2% (ตารางที่ 15) และผลที่ได้จากการทดลองทั้งสองวิธี มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ บริเวณที่อยู่ใกล้ช่องเปิดมีค่าความส่องสว่างที่สูงกว่ามาตรฐาน และค่าความส่องสว่างจะมีแนวโน้มที่ลดลงภายใน เนื่องจากในการวัดสถานที่จริงบริเวณหน้าต่างมีการติดตั้งมูลี่ เพื่อป้องกันแสงสว่างที่เข้ามา โดยมูลี่แต่ละช่วงหน้าต่างมีระดับสูงต่ำไม่เท่ากัน เนื่องจากมูลี่บางช่วงเกิดการชำรุดจึงไม่สามารถปรับระดับให้เท่ากันได้ ประกอบกับภายในมีการเปิดไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ เพื่อความสว่างที่เพียงพอต่อการอ่านหนังสือ ส่วนการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไม่มีการติดตั้งมูลี่ ไม่มีการเปิดไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ และไม่มีเฟอร์นิเจอร์จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความส่องสว่างที่วัด ดังนั้นจึงเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีข้อดีในแง่ที่สามารถจำลองสภาพความส่องสว่างภายในได้ตามความต้องการ

ตารางที่ 15 แสดงความแตกต่างของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้ง 3 วัน

ตำแหน่งที่วัด	เวลาที่ทำการทดลอง			เฉลี่ยทั้ง 3 ตำแหน่ง (%)
	วันที่ 8 มกราคม 2548	วันที่ 10 มกราคม 2548	วันที่ 13 มกราคม 2548	
A	4.5	8.6	6.8	6.6
B	3.2	3.2	2.6	3
C	2.5	3.4	2.8	2.9
เฉลี่ยทั้ง 3 ตำแหน่ง และทั้ง 3 วัน				**4.2%**

บทที่ 4

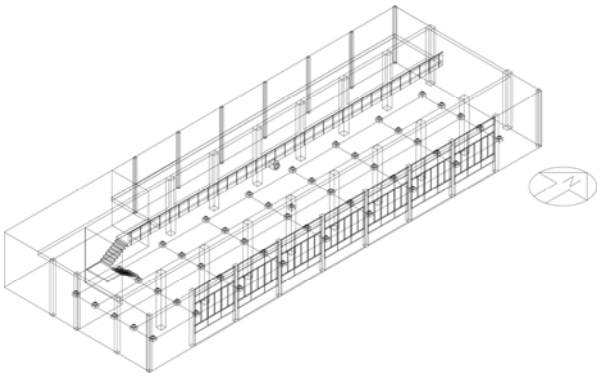
การทดลองและการวิเคราะห์รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสม

1. การทดลองโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 และการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างระหว่างการใช้เครื่องมือวัดสถานที่จริง กับการใช้โปรแกรม Desktop Radiance 2.0 มีความแตกต่างของค่าความส่องสว่างที่ 4.2% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความส่องสว่างระหว่างการใช้เครื่องมือวัด กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้งานวิจัยครอบคลุมและสามารถแสดงผลการวิเคราะห์การจำลองให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น รายละเอียดในการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีดังนี้คือ

1.1 ลักษณะห้องอ่านหนังสือที่จำลองในโปรแกรม

เป็นห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดความกว้าง 15.00 เมตร ความยาว 40.50 เมตร ความสูง 5.00 เมตร ภายในมีชั้นลอย ทางทิศเหนือเป็นประตูกระจก แต่เนื่องจากอยู่ติดกับโถงกลางที่ไม่มีแสงธรรมชาติส่องถึงจึงจำลองเป็นผนังทึบ ทางด้านทิศตะวันออกเป็นหน้าต่าง จากพื้นสูงถึงระดับใต้ช่องแสง 1.00 เมตร จากใต้ช่องแสงถึงระดับใต้วงกบช่องเปิด 2.60 เมตร จากระดับวงกบบนช่องเปิดถึงระดับช่องแสงบน 1.40 เมตร ทางด้านทิศตะวันตก และทางด้านทิศใต้เป็นผนังทึบ โดยจำลองในโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 ดังภาพที่ 74



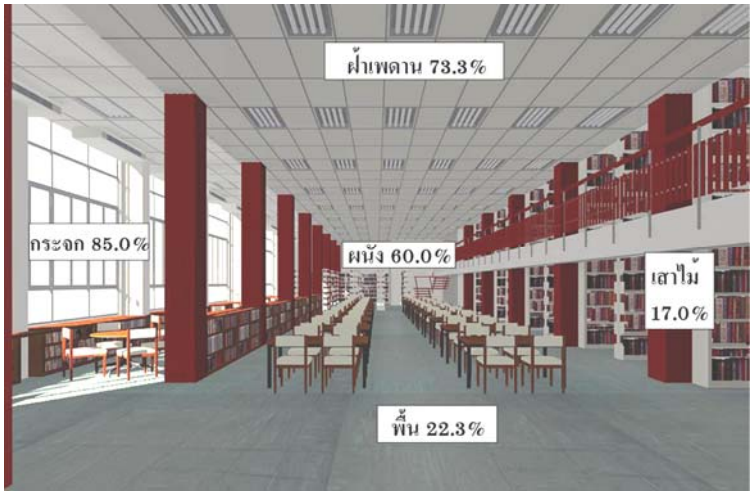
ภาพที่ 74 แสดงการจำลองห้องต้นแบบในโปรแกรม Desktop Radiance 2.0

1.2 คุณสมบัติของวัสดุในการจำลองในโปรแกรม Desktop Radiance 2.0

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวต่างๆ ที่จำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ พื้นกระเบื้องยาง เสาไม้ ผนังคอนกรีต ฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด และค่าการส่องผ่านแสงของกระจกในห้องอ่านหนังสือที่ทำการจำลอง โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่จำลองในโปรแกรม Desktop Radiance 2.0

ส่วนประกอบของห้องในการจำลอง	คุณสมบัติของวัสดุ		
	Reflectance	**Specularity**	**Roughness**
1. พื้น	22.30%	5.00%	2.00%
2. เสา	17.00%	5.00%	3.00%
3. ผนัง	60.00%	3.00%	3.00%
4. ฝ้าเพดาน	73.30%	0.00%	5.00%
5. กระจก 85.00%	5.30%	-	-
6. อะลูมิเนียมสีขาวด้าน	65.00%	0.50%	1.00%
7. อะลูมิเนียมสีเงินมันวาว	80.20%	75.00%	1.00%



ภาพที่ 75 แสดงค่าการสะท้อนแสง และค่าการส่องผ่านแสงที่จำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.3 ลักษณะสภาพท้องฟ้า

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความสว่างภายนอกตลอดปี พ.ศ.2543 ที่มีความถี่ในการเก็บบันทึกผลทุก 5 นาที ในช่วงเวลา 08:00 - 17:00 น. จัดกลุ่มข้อมูลตามสภาพท้องฟ้า 3 ประเภท

ด้วยวิธีอัตราส่วนท้องฟ้า พบว่าสภาพท้องฟ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆมากปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) จำนวน 44% เป็นท้องฟ้ามีเมฆมาก (Cloudy Sky) จำนวน 33% และเป็นท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) จำนวน 23% (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2543 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จึงเลือกสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) หรือ (Intermediate Sky)

1.4 การเลือกวัน และเวลาที่ทำการจำลอง

1.4.1 วันที่ทำการศึกษา คือ วันที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทำมุมสูงสุดกับโลก คือ วันที่ 21 มีนาคม เป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลกมากที่สุด ในวันที่ 21 มิถุนายน ขั้วโลกเหนือจะเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด และวันที่ 21 ธันวาคม ขั้วโลกใต้จะเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด

1.4.2 ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา เป็นช่วงเวลาที่หอสมุดเปิดทำการ โดยทำการจำลองทุกๆ 2 ชั่วโมง คือ ช่วงเวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

1.5 ตัวแปรที่ทำการศึกษาจำลอง

รูปแบบ และวัสดุของหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

1.5.1 รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการจำลองมีดังนี้ คือ

1.5.1.1 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบ

1.5.1.2 หิ้งสะท้อนแสงภายนอก และภายในแนวราบ

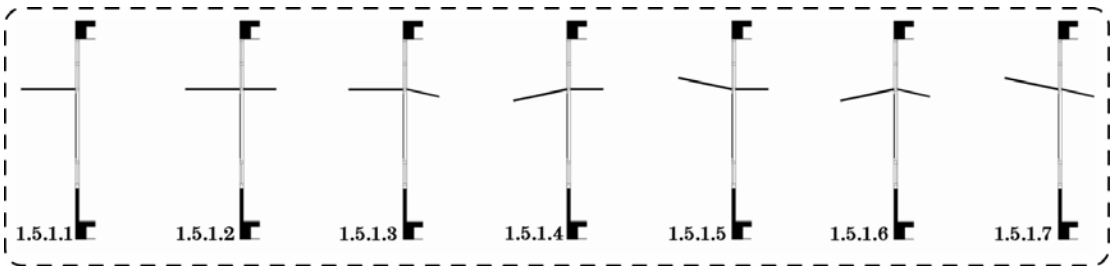
1.5.1.3 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบ และภายในเอียงลง

1.5.1.4 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงลง และภายในแนวราบ

1.5.1.5 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงขึ้น และภายในแนวราบ

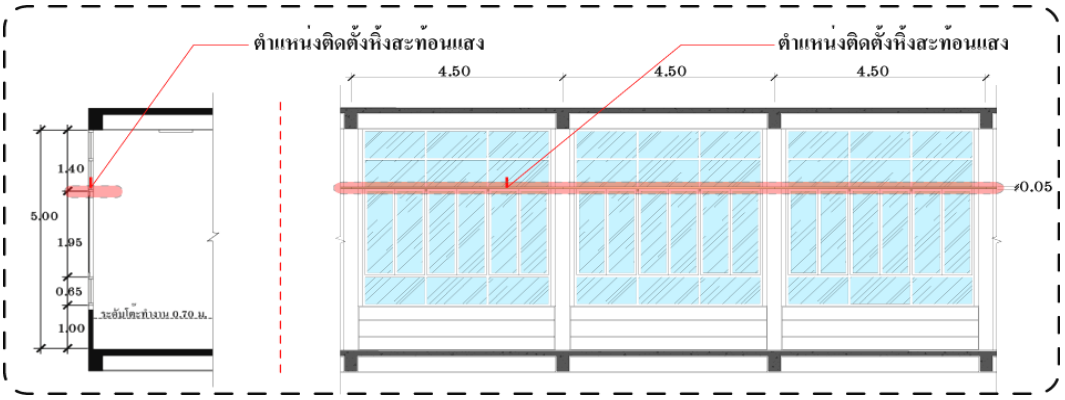
1.5.1.6 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงลง และภายในเอียงลง

1.5.1.7 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงขึ้น และภายในเอียงลง



ภาพที่ 76 แสดงรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการจำลอง

ตำแหน่งที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงเป็นระดับใต้ช่องแสงด้านบน (ภาพที่ 77) เนื่องจากเป็นระดับโครงสร้างหน้าต่างเดิม และเป็นตำแหน่งวงบนหน้าต่างอะลูมิเนียมที่หิ้งสะท้อนแสงจะยึดติดกับโครงสร้างหน้าต่าง



ภาพที่ 77 แสดงรูปตัด และรูปด้านตำแหน่งที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง

ส่วนวิธีการกำหนดระยะยื่นภายนอกระยะยื่นภายใน และความลาดเอียด มีรายละเอียดดังนี้

1.5.1.1 ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก มีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

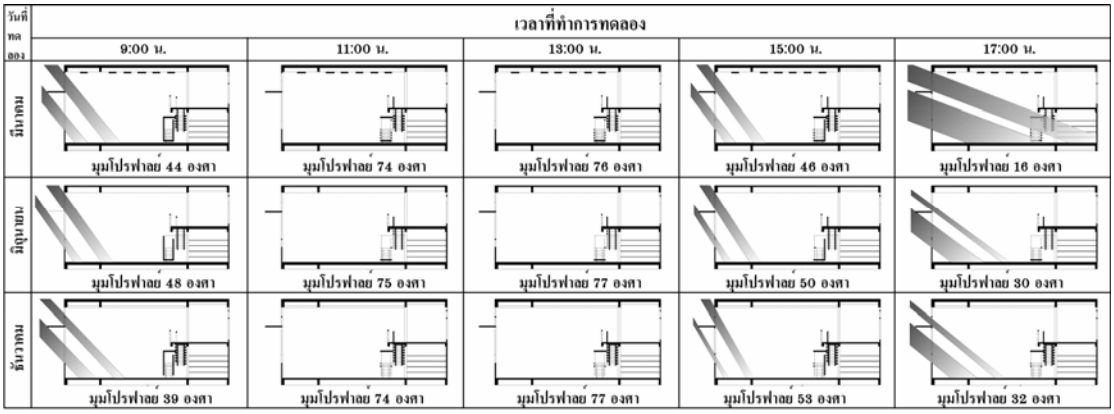
- สามารถป้องกันแสงแดดตรงได้ในปริมาณที่พอสมควร
- โครงสร้างของหน้าต่าง สามารถรับน้ำหนักของหิ้งสะท้อนแสงได้
- สามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอก

จากการวิเคราะห์พบว่าหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 2.50 ม. สามารถกันแสงแดดได้ดี (73.3% ของระยะเวลาที่ศึกษา) ดังตารางที่ 17 แต่โครงสร้างหน้าต่างไม่สามารถรับน้ำหนักได้ และบังทัศนียภาพภายนอก หิ้งสะท้อนแสงระยะยื่น 2.00 ม. สามารถกันแสงแดดได้ (53.3% ของระยะเวลาที่ศึกษา) หิ้งสะท้อนแสงระยะยื่น 1.50 ม. สามารถกันแสงแดดได้ (46.6% ของระยะเวลาที่ศึกษา) และหิ้งสะท้อนแสงระยะยื่น 1.00 ม. สามารถกันแสงแดดได้ (40.0% ของระยะเวลาที่ศึกษา) เนื่องจากหิ้งสะท้อนแสงระยะยื่น 1.50 ม. สามารถกันแสงได้ใกล้เคียงกับระยะยื่น 2.00 ม. และมีน้ำหนักที่เบากว่า และมองทัศนียภาพภายนอกได้ดีขึ้น จึงเลือกหิ้งสะท้อนแสงระยะยื่น 1.50 ม. ในการวิจัยครั้งนี้

ตารางที่ 17 แสดงระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอกที่สามารถบังแดดได้

วันที่	ช่วงเวลา	ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอก				
		0.50 เมตร	1.00 เมตร	1.50 เมตร	2.00 เมตร	2.50 เมตร
21 มีนาคม	9.00 น.					●
	11.00 น.		●	●	●	●
	13.00 น.		●	●	●	●
	15.00 น.					●
	17.00 น.					
21 มิถุนายน	9.00 น.					●
	11.00 น.		●	●	●	●
	13.00 น.		●	●	●	●
	15.00 น.					●
	17.00 น.					
21 ธันวาคม	9.00 น.					
	11.00 น.		●	●	●	●
	13.00 น.		●	●	●	●
	15.00 น.			●	●	●
	17.00 น.				●	
รวม		**0**	**6 (40.0%)**	**7 (46.6%)**	**8 (53.3%)**	**11 (73.3%)**
หมายเหตุ : ● ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงที่สามารถบังแดดในวันและเวลานั้นได้						

ตารางที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบมุมเอียงของแสงแดดที่กระทบกับหิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอก ที่มีระยะยื่น 1.50 เมตร

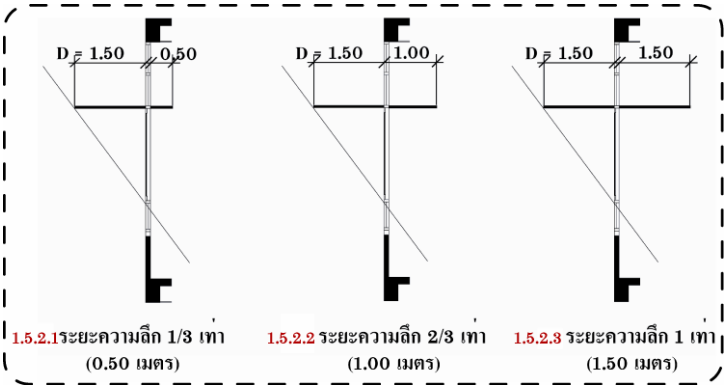


1.5.2 ระยะความลึกของหิ้งสะท้อนแสงภายใน การกำหนดระยะความลึกของหิ้งสะท้อนแสงภายใน ใช้ลักษณะใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, 2548: 46) ซึ่งกำหนดระยะความลึกภายในไว้ 4 แบบ ที่สัมพันธ์กับระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (D) คือ ขนาด 1/3 เท่าของ D ขนาด 1/2 เท่าของ D ขนาด 2/3 เท่าของ D และขนาด 1 เท่าของ D โดยในการวิจัยครั้งนี้กำหนดให้ระยะความลึกเข้าสู่ภายในมี 3 รูปแบบ มีรายละเอียดดังนี้คือ

1.5.2.1 ขนาด 1/3 เท่าของ D (ระยะความลึกภายใน เท่ากับ 0.50 เมตร)

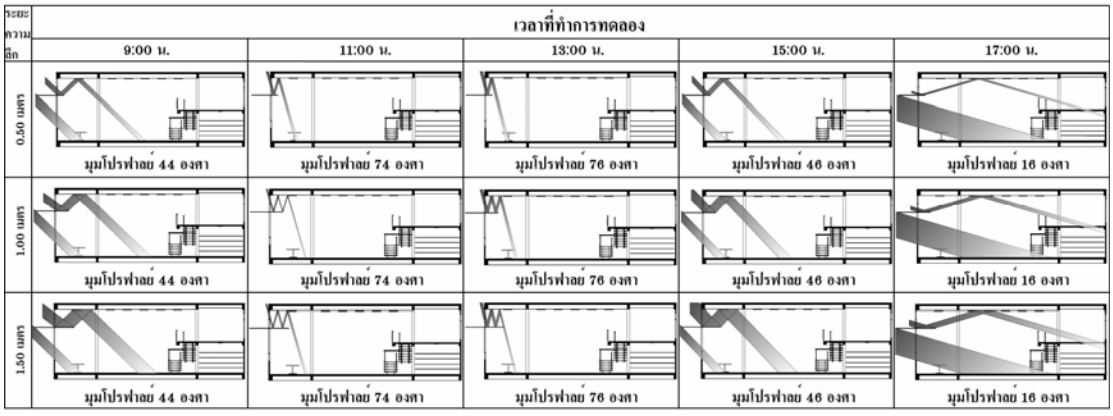
1.5.2.2 ขนาด 2/3 เท่าของ D (ระยะความลึกภายใน เท่ากับ 1.00 เมตร)

1.5.2.3 ขนาด 1 เท่าของ D (ระยะความลึกภายใน เท่ากับ 1.50 เมตร)

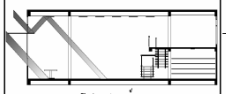
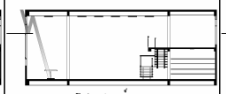
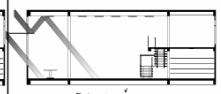
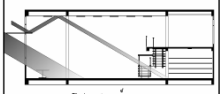
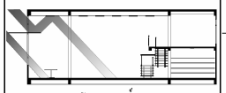
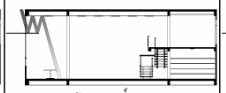
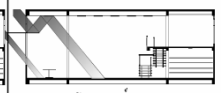
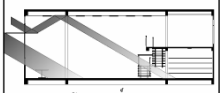
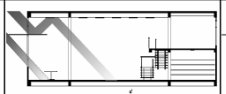
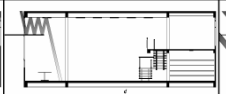
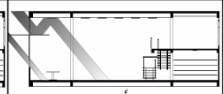
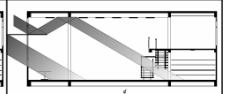


ภาพที่ 78 แสดงระยะความลึกภายในของหิ้งสะท้อนแสง

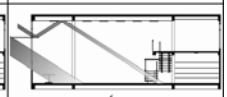
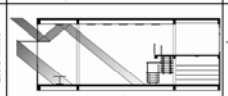
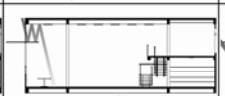
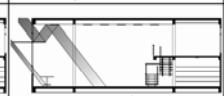
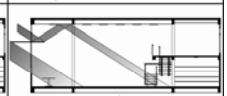
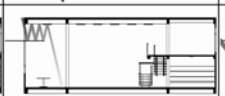
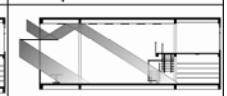
ตารางที่ 19 แสดงลักษณะแสงที่ตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่มีระยะความลึกภายในที่ต่างกัน 3 รูปแบบ ในวันที่ 21 มีนาคม



ตารางที่ 20 แสดงลักษณะแสงที่ตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่มีระยะความลึกภายในที่ต่างกัน 3 รูปแบบ ในวันที่ 21 มิถุนายน

ระยะความลึก	เวลาที่ทำการทดลอง				
	9:00 น.	11:00 น.	13:00 น.	15:00 น.	17:00 น.
0.50 เมตร	 มุมโปรฟาเลย์ 48 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 75 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 77 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 50 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 30 องศา
1.00 เมตร	 มุมโปรฟาเลย์ 48 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 75 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 77 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 50 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 30 องศา
1.50 เมตร	 มุมโปรฟาเลย์ 48 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 75 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 77 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 50 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 30 องศา

ตารางที่ 21 แสดงลักษณะแสงที่ตกกระทบ และสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่มีระยะความลึกภายในที่ต่างกัน 3 รูปแบบ ในวันที่ 21 ธันวาคม

ระยะความลึก	เวลาที่ทำการทดลอง				
	9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.
0.50 เมตร	มุมโปรฟาเลย์ 39 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 74 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 77 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 53 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 32 องศา
1.00 เมตร	 มุมโปรฟาเลย์ 39 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 74 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 77 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 53 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 52 องศา
1.50 เมตร	มุมโปรฟาเลย์ 39 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 74 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 77 องศา	มุมโปรฟาเลย์ 33 องศา	 มุมโปรฟาเลย์ 32 องศา

1.5.3 มุมเอียงของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ภายในที่ศึกษามี 5 แบบ มีดังนี้คือ

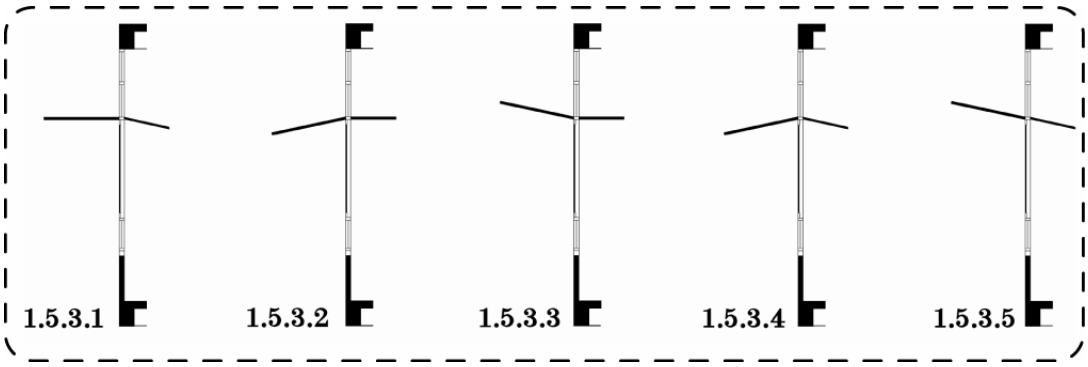
1.5.3.1 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบ ภายในเอียงลง

1.5.3.2 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงลง ภายในแนวราบ

1.5.3.3 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงขึ้น ภายในแนวราบ

1.5.3.4 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงลง ภายในเอียงลง

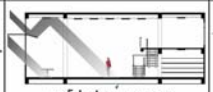
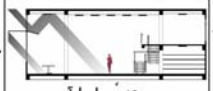
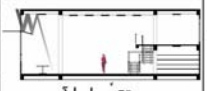
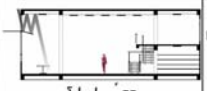
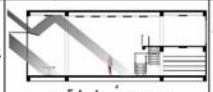
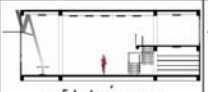
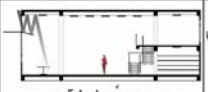
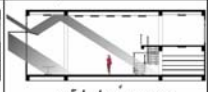
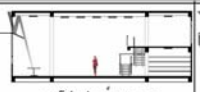
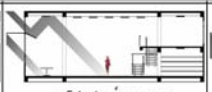
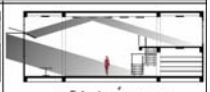
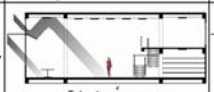
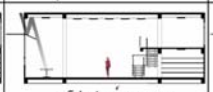
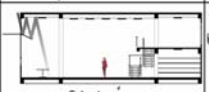
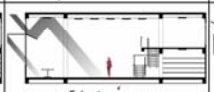
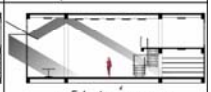
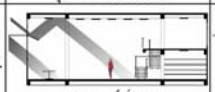
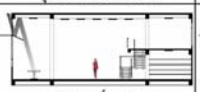
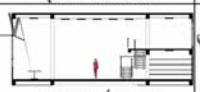
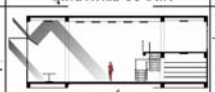
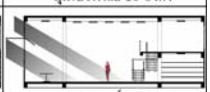
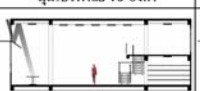
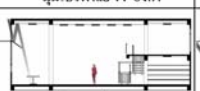
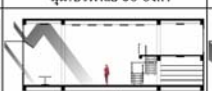
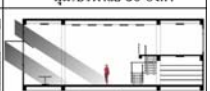
1.5.3.5 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงขึ้น ภายในเอียงลง



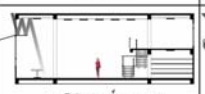
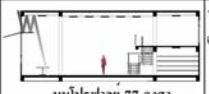
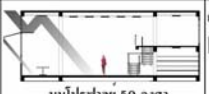
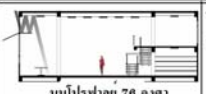
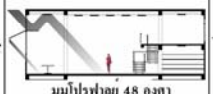
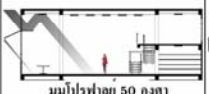
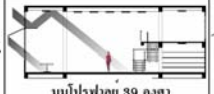
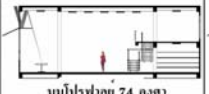
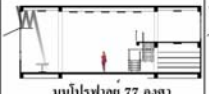
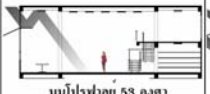
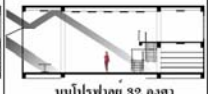
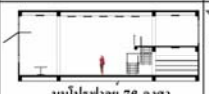
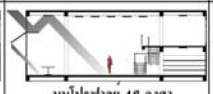
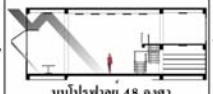
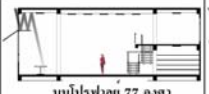
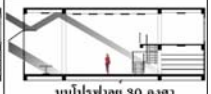
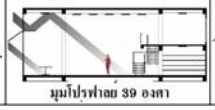
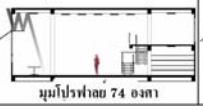
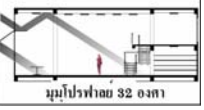
ภาพที่ 79 แสดงมุมเอียงของหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอก และภายใน

การกำหนดมุมเอียงของหิ้งสะท้อนแสง มีลักษณะใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (เรณู ด่านกุล, 2545: 115) ซึ่งกำหนดมุมเอียง 3 แบบ คือ มุมเอียง 15˚ 25˚ 35˚ และ 45˚ เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้คำนึงถึงมุมมองการมองทัศนียภาพภายนอก จึงกำหนดมุมเอียงไว้ 3 แบบ คือ มุมเอียง 15˚ 25˚ และ 35˚ โดยมีการลดหลั่นกัน 10˚ ดังตารางที่ 22 - 26

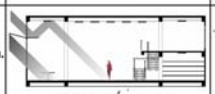
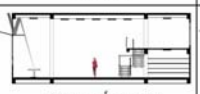
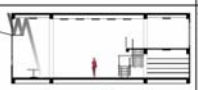
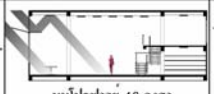
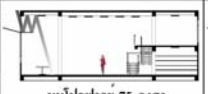
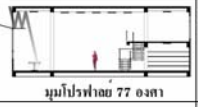
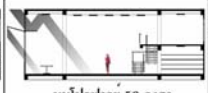
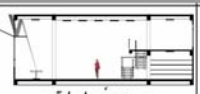
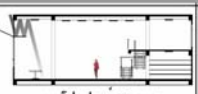
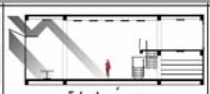
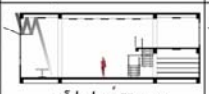
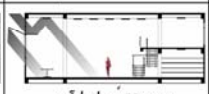
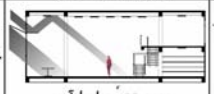
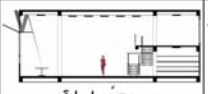
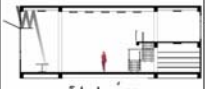
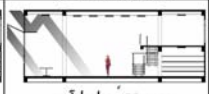
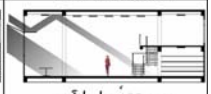
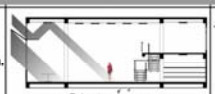
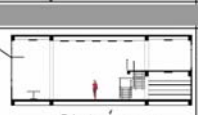
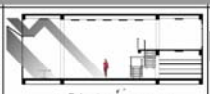
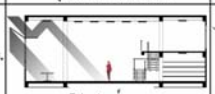
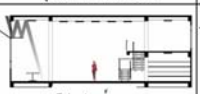
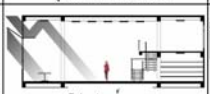
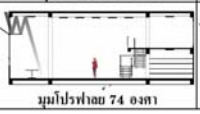
ตารางที่ 22 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 เมตร และภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

มุมองศาเอียง	วันเดือน	เวลาที่ทำการทดลอง				
		9:00 น.	11:00 น.	13:00 น.	15:00 น.	17:00 น.
ภายนอกแนวราบ 1.50 ม. ภายใน 0.50 ม. เอียงลง 15˚	21 มีค.	 มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 76 องศา	มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	 มุมโปรฟายล์ 48 องศา	 มุมโปรฟายล์ 75 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	 มุมโปรฟายล์ 39 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 53 องศา	 มุมโปรฟายล์ 32 องศา
ภายนอกแนวราบ 1.50 ม. ภายใน 0.50 ม. เอียงลง 25˚	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 76 องศา	 มุมโปรฟายล์ 46 องศา	 มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	 มุมโปรฟายล์ 48 องศา	 มุมโปรฟายล์ 75 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 50 องศา	 มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	 มุมโปรฟายล์ 39 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 53 องศา	มุมโปรฟายล์ 32 องศา
ภายนอกแนวราบ 1.50 ม. ภายใน 0.50 ม. เอียงลง 35˚	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 76 องศา	มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	 มุมโปรฟายล์ 48 องศา	มุมโปรฟายล์ 75 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 50 องศา	 มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	มุมโปรฟายล์ 39 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 53 องศา	 มุมโปรฟายล์ 32 องศา

ตารางที่ 23 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ และภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 เมตร ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

มุมองศาเอียง	วันเดือน	เวลาที่ทำการทดลอง				
		9:00 น.	11:00 น.	13:00 น.	15:00 น.	17:00 น.
ภายนอก 1.50 ม. เอียงลง 15˚ ภายในแนวราบ 0.50 ม.	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 76 องศา	มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	มุมโปรฟายล์ 48 องศา	มุมโปรฟายล์ 75 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	มุมโปรฟายล์ 39 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 53 องศา	มุมโปรฟายล์ 32 องศา
ภายนอก 1.50 ม. เอียงลง 25˚ ภายในแนวราบ 0.50 ม.	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 76 องศา	มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	 มุมโปรฟายล์ 48 องศา	มุมโปรฟายล์ 75 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	 มุมโปรฟายล์ 39 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 53 องศา	 มุมโปรฟายล์ 32 องศา
ภายนอก 1.50 ม. เอียงลง 35˚ ภายในแนวราบ 0.50 ม.	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 76 องศา	 มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	 มุมโปรฟายล์ 48 องศา	มุมโปรฟายล์ 75 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 50 องศา	 มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	 มุมโปรฟายล์ 39 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 53 องศา	 มุมโปรฟายล์ 32 องศา

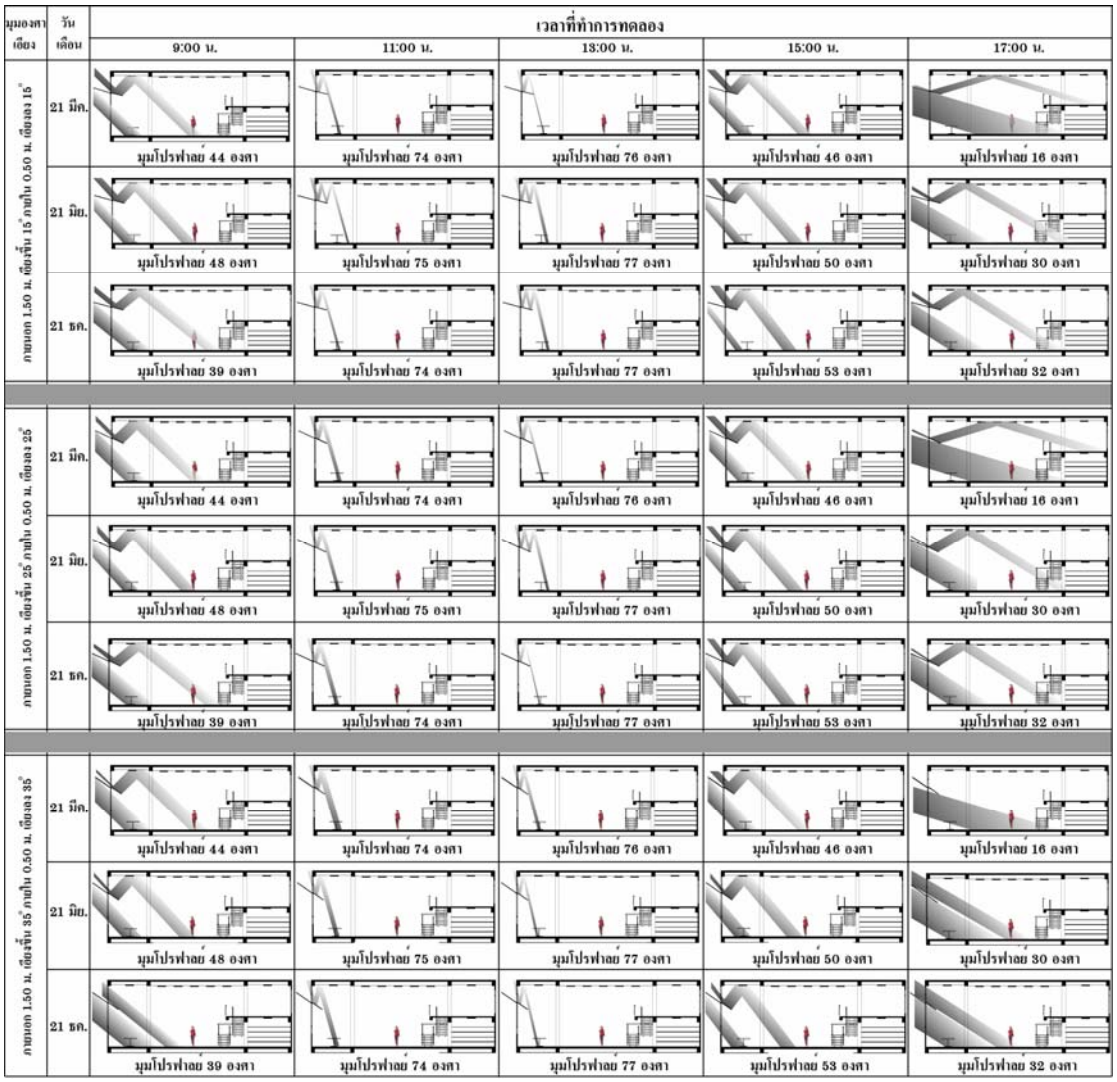
ตารางที่ 24 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงขึ้น 15˚ 25˚ 35˚ และภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 เมตร ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

มุมองศาเอียง	วันเดือน	เวลาที่ทำการทดลอง				
		9:00 น.	11:00 น.	13:00 น.	15:00 น.	17:00 น.
ภายนอก 1.50 น. เอียงขึ้น 15˚ ภายในแนวราบ 0.50 น.	21 มีค.	 มุมโปรฟายล์ 44 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 76 องศา	มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	 มุมโปรฟายล์ 48 องศา	 มุมโปรฟายล์ 75 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	มุมโปรฟายล์ 39 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 53 องศา	มุมโปรฟายล์ 32 องศา
ภายนอก 1.50 น. เอียงขึ้น 25˚ ภายในแนวราบ 0.50 น.	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 76 องศา	 มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	มุมโปรฟายล์ 48 องศา	 มุมโปรฟายล์ 75 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	 มุมโปรฟายล์ 39 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 53 องศา	 มุมโปรฟายล์ 32 องศา
ภายนอก 1.50 น. เอียงขึ้น 35˚ ภายในแนวราบ 0.50 น.	21 มีค.	 มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	 มุมโปรฟายล์ 76 องศา	 มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	 มุมโปรฟายล์ 48 องศา	 มุมโปรฟายล์ 75 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	 มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	มุมโปรฟายล์ 39 องศา	 มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 53 องศา	มุมโปรฟายล์ 32 องศา

ตารางที่ 25 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ และภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 15˚ 25˚ 35˚ ใน วันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

มุมองศาเอียง	วัน เดือน	เวลาที่ทำการทดลอง				
		9:00 น.	11:00 น.	13:00 น.	15:00 น.	17:00 น.
ภายนอก 1.50 ม. เอียงลง 15˚ ภายใน 0.50 ม. เอียงลง 15˚	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 76 องศา	มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	มุมโปรฟายล์ 48 องศา	มุมโปรฟายล์ 75 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	มุมโปรฟายล์ 39 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 53 องศา	มุมโปรฟายล์ 32 องศา
ภายนอก 1.50 ม. เอียงลง 25˚ ภายใน 0.50 ม. เอียงลง 25˚	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 76 องศา	มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	มุมโปรฟายล์ 48 องศา	มุมโปรฟายล์ 75 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	มุมโปรฟายล์ 39 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 53 องศา	มุมโปรฟายล์ 32 องศา
ภายนอก 1.50 ม. เอียงลง 35˚ ภายใน 0.50 ม. เอียงลง 35˚	21 มีค.	มุมโปรฟายล์ 44 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 76 องศา	มุมโปรฟายล์ 46 องศา	มุมโปรฟายล์ 16 องศา
	21 มิย.	มุมโปรฟายล์ 48 องศา	มุมโปรฟายล์ 75 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 50 องศา	มุมโปรฟายล์ 30 องศา
	21 ธค.	มุมโปรฟายล์ 39 องศา	มุมโปรฟายล์ 74 องศา	มุมโปรฟายล์ 77 องศา	มุมโปรฟายล์ 53 องศา	มุมโปรฟายล์ 32 องศา

ตารางที่ 26 แสดงแสงตกกระทบและสะท้อนที่บริเวณหิ้งสะท้อนแสง ที่ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงขึ้น 15° 25° 35° และภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 15° 25° 35° ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

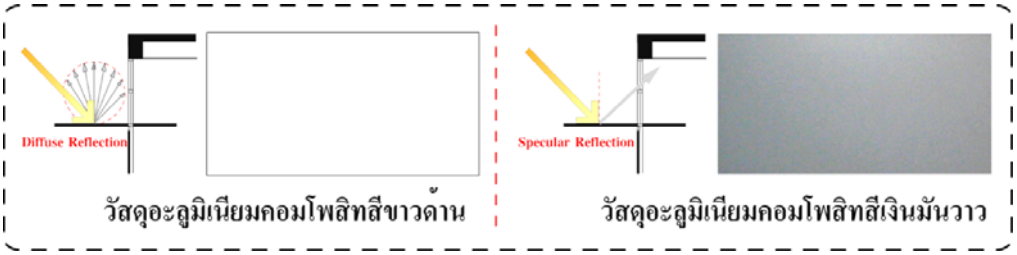


1.5.4 รูปแบบการสะท้อนของวัสดุหิ้งสะท้อนแสง ลักษณะการสะท้อนมีเกณฑ์ที่พิจารณาใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, 2548: 47) ซึ่งกำหนดรูปแบบการสะท้อนของวัสดุหิ้งสะท้อนแสง 3 แบบ คือ การสะท้อนเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) การสะท้อนเสมือนกระจกเงาบางส่วน (Spread Reflection) และการสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) ในการวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดรูปแบบการสะท้อนของวัสดุหิ้งสะท้อนแสง 2 แบบ คือ การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) และการสะท้อนเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection)

โดยเลือกวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิท เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาเหมาะสมกับโครงสร้างหน้าต่างใช้ได้ทั้งภายนอก และภายในดูแลรักษาง่าย มีรายละเอียดดังนี้คือ

1.5.4.1 อะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ค่าการสะท้อน 65.00 % ใช้เป็นตัวแทนรูปแบบการสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

1.5.4.2 อะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว ค่าการสะท้อน 80.20% ใช้เป็นตัวแทนรูปแบบการสะท้อนเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection)



ภาพที่ 80 แสดงวัสดุของหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการจำลองในโปรแกรม Desktop Radiance

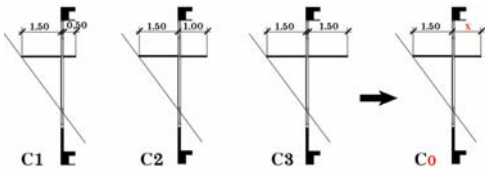
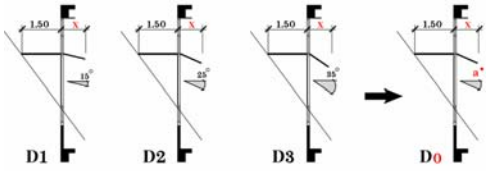
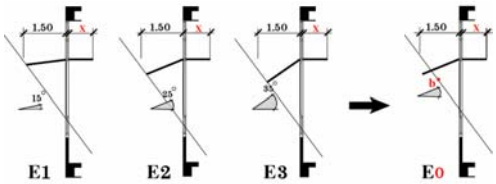
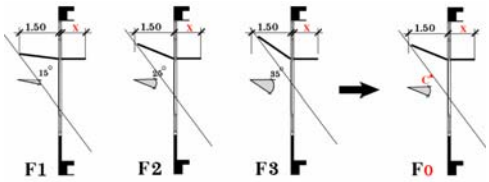
1.6 ขั้นตอนการจำลองอาคารโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance

การศึกษาครั้งนี้ เพื่อหาหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับอาคารหอสมุดแห่งชาติโดยนำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อสรุปหาแนวทางต่อไป มีลำดับขั้นตอนการศึกษาดังนี้ คือ

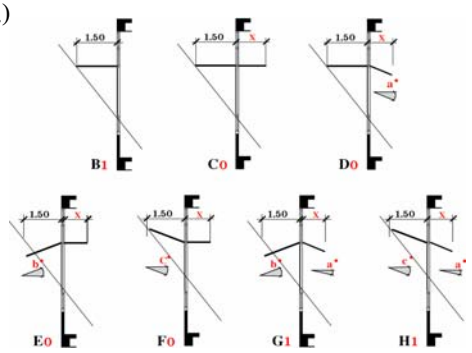
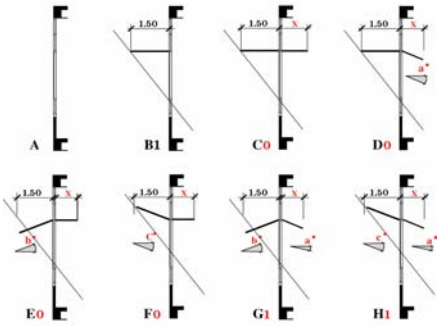
ตารางที่ 27 แสดงขั้นตอนการจำลองอาคารโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance และการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

ภาพประกอบ	รายละเอียด
(1.)	**ขั้นตอนที่ 1** จำลองห้องต้นแบบที่ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง เพื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง
(2.)	**ขั้นตอนที่ 2** จำลองหิ้งสะท้อนแสงที่มีระยะยื่นภายนอก 1.50 ม. วัสดุที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมคอมโพสิทขาวด้าน วิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับห้องต้นแบบ

ตารางที่ 27 (ต่อ)

ภาพประกอบ	รายละเอียด
(3.)  	**ขั้นตอนที่ 3** จำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอกแนวราบและภายในแนวราบที่มีระยะยื่น 0.50 1.00 และ 1.50 ม. วัสดุที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน เปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม เพื่อหารูปแบบหิ้งสะท้อนแสงดีที่สุดของกลุ่มนี้ Co โดยระยะยื่นภายใน (X) ของรูปแบบดีที่สุดจะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป 4 5 6 7 และ 8
(4.)  	**ขั้นตอนที่ 4** จำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบ และภายในเอียงลง 15˚ 25˚ และ 35˚ ระยะยื่นภายใน = (X) วัสดุใช้อะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน เปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม เพื่อหารูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุดของกลุ่มนี้ Do โดยค่ามุมเอียงลงหิ้งสะท้อนแสงภายใน a ของรูปแบบดีที่สุดจะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป 7 และ 8
(5.)  	**ขั้นตอนที่ 5** จำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงลงที่มีมุมเอียง 15˚ 25˚ และ 35˚ และภายในแนวราบที่มีระยะยื่น = (X) วัสดุที่ใช้อะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน เปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม เพื่อหารูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุดของกลุ่มนี้ Eo โดยมุมเอียงลงของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก b ของรูปแบบดีที่สุดนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป 7
(6.)  	**ขั้นตอนที่ 6** จำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงขึ้นที่มีมุมเอียง 15˚ 25˚ และ 35˚ และภายในแนวราบที่มีระยะยื่น = (X) วัสดุที่ใช้อะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน เปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม เพื่อหารูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุดของกลุ่มนี้ Fo โดยมุมเอียงขึ้นหิ้งสะท้อนแสงภายนอก c ของรูปแบบดีที่สุดนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป 8
(7.) 	**ขั้นตอนที่ 7** จำลองหิ้งสะท้อนแสงที่มีมุมเอียงลงภายนอก = b มุมเอียงลงภายใน = a และมีระยะยื่นภายใน = (X) วัสดุที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน วิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรม
(8.) 	**ขั้นตอนที่ 8** จำลองหิ้งสะท้อนแสงที่มีมุมเอียงขึ้นภายนอก = c มุมเอียงลงภายใน = a ที่มีระยะยื่นภายใน = (X) วัสดุที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน วิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรม

ตารางที่ 27 (ต่อ)

ภาพประกอบ	รายละเอียด
(9.) 	**ขั้นตอนที่ 9** วิเคราะห์เปรียบเทียบห้องต้นแบบที่ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ A และที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบที่ดีที่สุดของแต่ละรูปแบบ B1 C0 D0 E0 F0 G1 และ H1 นำมาวิเคราะห์ เพื่อหารูปแบบที่ดีที่สุด กรณีที่วัสดุของหิ้งสะท้อนแสงเป็นอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน
(10.) 	**ขั้นตอนที่ 10** จากรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุด นำมาเปลี่ยนวัสดุเป็นอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาวหา รูปแบบที่ดีที่สุด แล้วนำรูปแบบที่ดีที่สุดทั้ง 2 วัสดุ มาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง เพื่อศึกษาหารูปแบบ และวัสดุหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับอาคารหอสมุดแห่งชาติ

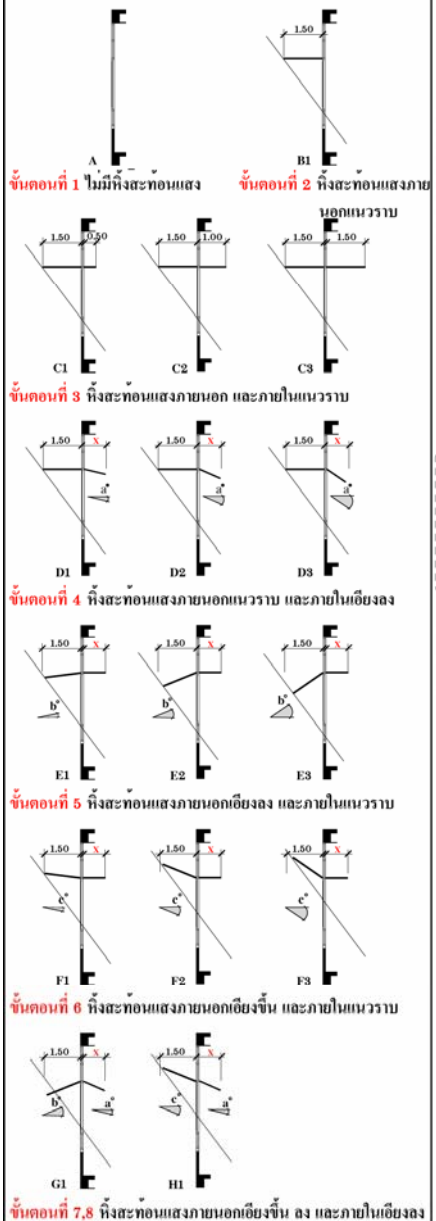
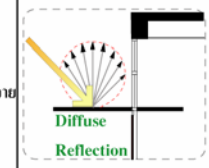
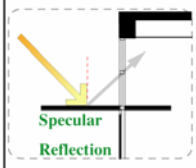
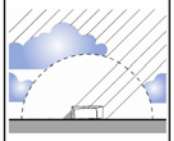
1.7 จำนวนผลการทดลอง มีทั้งหมด 345 การจำลองมีรายละเอียดดังนี้

1.7.1 รูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการจำลองมี 16 รูปแบบ ดังตารางที่ 28

1.7.2 วัสดุหิ้งสะท้อนแสงที่ทำการจำลองมี 2 แบบ คือ อะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน และ อะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว

1.7.3 วันที่ทำการจำลองมี 3 วัน คือ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม ช่วงเวลาที่ทำการจำลองมี 5 ช่วงเวลา คือ 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 28 แสดงจำนวนผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม Desktop Radiance 2.0

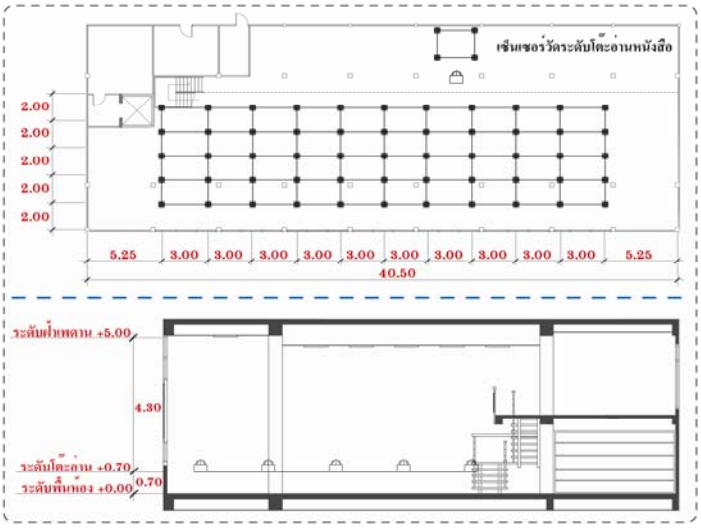
รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุของหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ สภาพท้องฟ้า	เวลาที่จำลอง	หมายเหตุ
	1. อะลูมิเนียมคอมโพสิท สีขาวด้าน  การสะท้อนแบบกระจาย ค่าการสะท้อนแสง 65% 2. อะลูมิเนียมคอมโพสิท สีเงินมันวาว  การสะท้อนเสมือนกระจกเงา ค่าการสะท้อนแสง 80.20%	 ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) 21 มีนาคม 21 มิถุนายน 21 ธันวาคม		X คือ ระยะยื่นภายในแนวราบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 (Co) a คือ มุมเอียงลงภายในที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 (Do) b คือ มุมเอียงลงภายนอกที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 (Eo) c คือ มุมเอียงขึ้นภายนอกที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 (Fo)

รวมผลการจำลอง	รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	16	อะลูมิเนียมสีขาวด้าน 1	3	5	240
	รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	7	อะลูมิเนียมสีเงินมันวาว 1	3	5	105
	คำนวณผลการทดลอง		(16x1x3x5) + (7x1x3x5)			345

2. ปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการประเมินผลทางด้าน Visual Performance

2.1 ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)

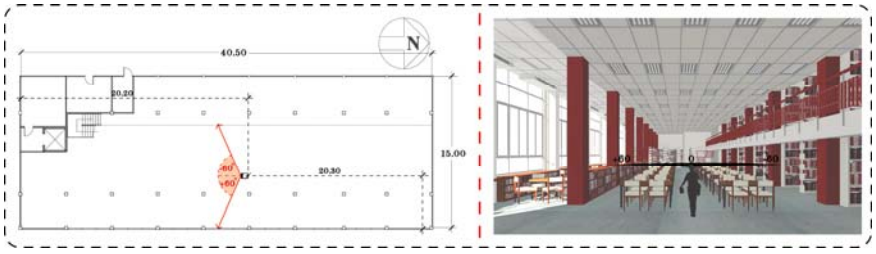
วัดค่าความส่องสว่างที่ระยะความสูงจากพื้น 0.70 เมตร ซึ่งเป็นความสูงที่ระดับโต๊ะอ่านหนังสือ การวัดค่าความส่องสว่างภายในแบบตารางกริด ทางด้านความกว้างของห้องอ่านหนังสือทำการวัดทุกระยะ 2.00 เมตร รวม 5 แถว และทางด้านยาวของห้องอ่านหนังสือทำการวัดทุกระยะ 3.00 เมตร รวม 11 แถว รวมทั้งหมด 55 จุด ดังภาพที่ 81



ภาพที่ 81 แสดงตำแหน่งการวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องอ่านหนังสือ

2.2 ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า (Guth Visual Comfort Probability) VCP มุมมองในแนวราบทั้งหมด 120˚ คือ มุมมองทางด้านขวามีค่า 0 ถึง -60˚ และมุมมองทางด้านซ้ายมีค่า 0 ถึง +60˚ โปรแกรมจะคำนวณค่า VCP ทุกๆ 10˚ ในแนวราบ รวมทั้งหมด 13 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 81



ภาพที่ 82 แสดงตำแหน่งมุมมองในแนวราบ

2.3 ค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่าง (Uniformity of Illumination)

พื้นที่อ่านหนังสือควรมีค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ไม่ต่างกันมาก เพื่อความสบายตาของผู้ใช้อาคาร

3. วิธีการให้ค่าคะแนนของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อ Visual Performance

การให้คะแนนค่าความส่องสว่าง (Illuminance) ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity of Illumination) มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาการให้ค่าคะแนนดังนี้

3.1 การให้ค่าคะแนนของความส่องสว่าง (Illuminance)

ตารางที่ 29 แสดงค่าระดับความส่องสว่างตามมาตรฐานของ IES ภายในอาคาร

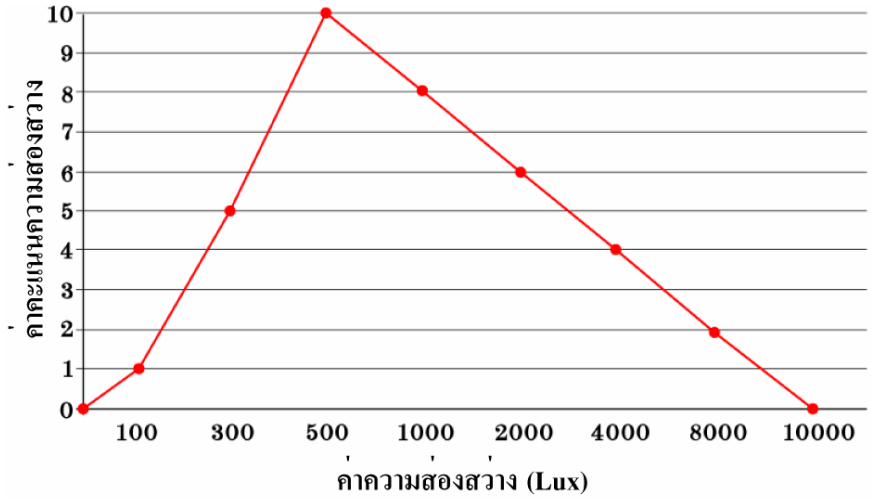
ความสว่างภายในอาคาร	
พื้นที่ที่ต้องการความส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**
	ลักซ์ (Lux)
สถานที่ศึกษา โรงเรียน มหาวิทยาลัย	
ห้องเรียน ห้องบรรยาย	300
ห้องปฏิบัติ ห้องสมุด ห้องอ่านหนังสือ	**500**

ที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง พิมพ์ครั้งที่ 4 (กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย – ญี่ปุ่น), 2545, 394.

ค่าความส่องสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งานในลักษณะต่างๆ สำหรับพื้นที่ที่ใช้ในการอ่านหนังสือ ควรมีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 500 ลักซ์ ในการวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดการให้คะแนนดังแสดงในตารางที่ 30 โดยค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์ มีคะแนนเท่ากับ 10 สำหรับค่าความส่องสว่างที่ต่ำหรือสูงกว่านั้น จะให้คะแนนลดหลั่นกันลงมา เนื่องจากปริมาณแสงที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน หรือมีค่าความสว่างที่มากเกินความต้องการจนเกิดสภาวะแสงบาดตา

ตารางที่ 30 แสดงค่าความส่องสว่างกับค่าคะแนนที่ได้

ค่าของค่าความส่องสว่าง (Lux)	คะแนน
0	0
100	1
300	5
500	**10**
1,000	8
2,000	6
4,000	4
8,000	2
10,000	0



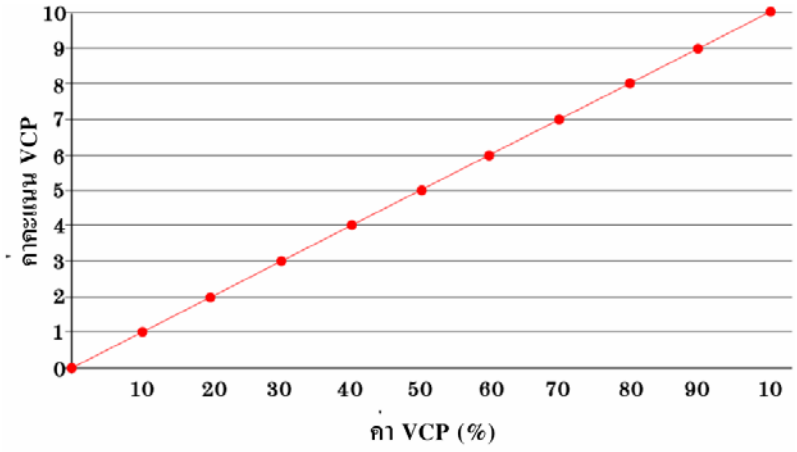
กราฟที่ 6 แสดงช่วงค่าความส่องสว่างกับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.2 การให้คะแนนของค่า VCP

ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) ที่มีค่าเท่ากับ 100% กำหนดการให้ค่าคะแนนเท่ากับ 10 ส่วนค่า VCP ที่ต่ำกว่านั้นจะได้ค่าคะแนนที่ลดหลั่นกันลงมาดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 แสดงค่า VCP กับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ค่า Guth Visual Comfort Probability (%)	คะแนน
0	0
10	1
20	2
30	3
40	4
50	5
60	6
70	7
80	8
90	9
100	**10**



กราฟที่ 7 แสดงช่วงค่า VCP กับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.3 การให้คะแนนค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity of Illumination)

เนื่องจากค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ดีที่สุดคือ 100% ฉะนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงพิจารณาเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Mahdavi et al 1996 : 13) มีดังนี้คือ

$$U = \frac{E_m}{E_m + E_{SD}} \times 100$$

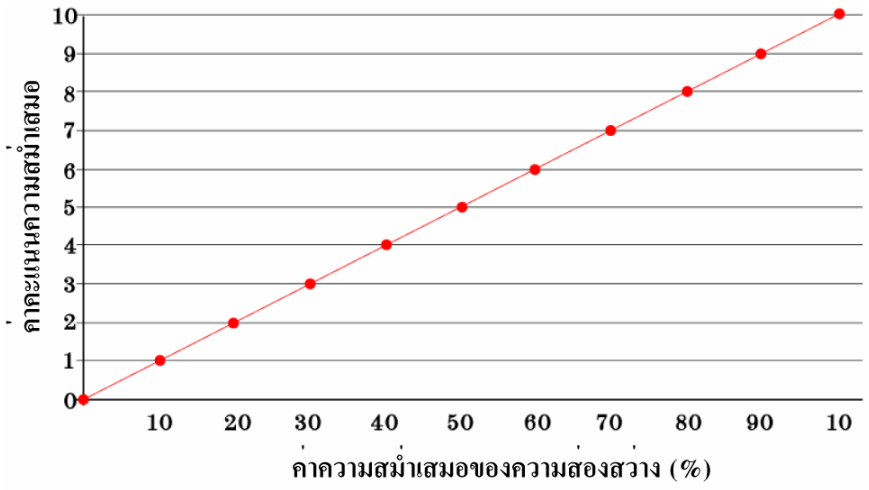
โดยที่ U = ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

E_m = ค่าเฉลี่ยของค่าความส่องสว่างทุกๆ จุดที่ทำการวัด

E_{SD} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความส่องสว่างทุกๆ จุดที่ทำการวัด

ตารางที่ 32 แสดงค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างกับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ค่า Uniformity of Illumination (%)	คะแนน
0	0
10	1
20	2
30	3
40	4
50	5
60	6
70	7
80	8
90	9
100	**10**



กราฟที่ 8 แสดงช่วงค่า Uniformity of Illumination กับค่าคะแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.4 การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย

ค่าน้ำหนักความสำคัญ คือ ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity of Illumination) ดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 แสดงการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย

ปัจจัยที่พิจารณา	ค่าน้ำหนัก
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)	5
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)	4
3. ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity of Illumination)	3

โดยคะแนนรวมของทุกปัจจัย คำนวณได้ดังนี้

$$\text{คะแนนรวม} = \frac{(F_1 \times M_1) + (F_2 \times M_2) + (F_3 \times M_3)}{F_1 + F_2 + F_3}$$

โดยกำหนดให้ F_1 = ค่าน้ำหนักของตัวแปรค่าความส่องสว่าง

F_2 = ค่าน้ำหนักของตัวแปรค่า VCP

F_3 = ค่าน้ำหนักของตัวแปรค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

M_1 = คะแนนของค่าความส่องสว่าง

M_2 = คะแนนของค่า VCP

M_3 = คะแนนของค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

4. การนำเสนอผลที่ได้จากโปรแกรม Desktop Radiance

4.1 การให้ค่าคะแนน และการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้แต่ละรูปแบบ

ขั้นตอนที่ 1 แสดงรายละเอียดการจำลอง คือ รูปแบบ วัสดุของหิ้งสะท้อนแสง วันที่ทำการจำลอง สภาพท้องฟ้า และช่วงเวลาที่ทำการจำลอง

ขั้นตอนที่ 2 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ค่าความส่องสว่างที่แสดงเป็นช่วงสีต่างๆ บนภาพพร้อมทั้งแสดงตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างต่ำที่สุด และสูงที่สุด

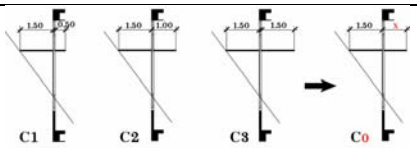
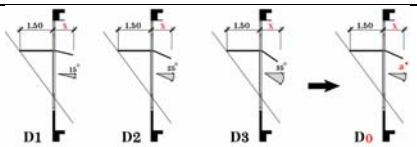
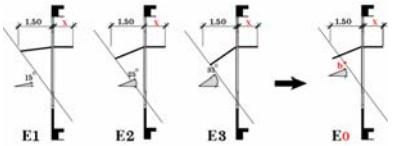
ขั้นตอนที่ 3 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ทำการจำลอง และอธิบายสรุปผลการจำลองในแต่ละส่วน

ขั้นตอนที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลดิบของค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ได้จากการจำลอง และการให้ค่าคะแนน

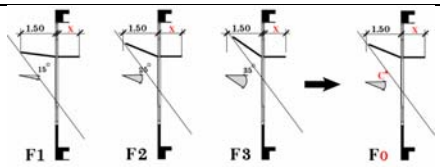
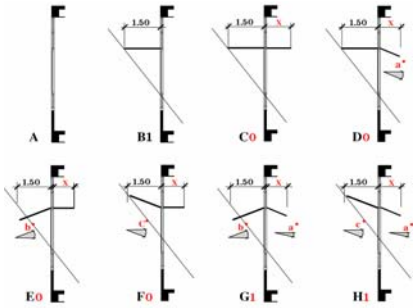
ขั้นตอนที่ 5 หลังจากนำเสนอข้อมูลตามขั้นตอน 1 - 4 ครบ สำหรับการทดลองทั้ง 3 วันแล้ว จึงสรุปค่าคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ของผลการจำลองทั้ง 3 วัน คือ วันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และวันที่ 21 ธันวาคม

รายละเอียดในการนำเสนอผลการจำลองรูปแบบหิ้งสะท้อนแสง มีทั้งหมด 11 ลำดับ โดยลำดับที่ 1 2 และ 3 จะแสดงครบทั้ง 5 ขั้นตอน ส่วนในลำดับที่ 4 5 6 7 8 9 10 และ 11 จะแสดงเฉพาะขั้นตอนที่ 4 และ 5 เพื่อลดจำนวนหน้ากระดาษ เนื่องจากผลการจำลอง และสรุปผลการเปรียบเทียบมีจำนวนมาก และให้ง่ายต่อการติดตามผลการจำลองของรูปแบบต่างๆ จึงได้แสดงหมายเลขหน้าที่ปรากฏไว้ใน ตารางที่ 34

ตารางที่ 34 แสดงหมายเลขหน้าของแต่ละรูปแบบ และสรุปเปรียบเทียบ

		หมายเลขหน้า	
ลำดับ	รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ผลการจำลอง	สรุปการเปรียบเทียบ
1.		A : 89 - 99	
2.		B1 : 100 – 109	
3.		C1 : 110 - 119 C2 : 120 - 129 C3 : 130 – 139	140
4.		D1 : 141 - 143 D2 : 144 - 146 D3 : 147– 149	150
5.		E1 : 151 - 153 E2 : 154 - 156 E3 : 157 – 159	160

ตารางที่ 34 (ต่อ)

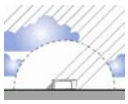
		หมายเลขหน้า	
ลำดับ	รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ผลการจำลอง	สรุปการเปรียบเทียบ
6.		F1 : 161 - 163 F2 : 164 - 166 F3 : 167 – 169	170
7.		G1 : 171 - 173	174
8.		H1 : 175 – 177	178
9.	สรุปการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าคะแนนรวมทุกปัจจัยที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน 	-	179 – 180
10.	การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสำเสมอของความส่องสว่าง ค่าคะแนนรวมของทุกปัจจัยของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 7 รูปแบบ ระหว่างการใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับสีเงินมันวาว	-	181 – 184

4.2 ตัวอย่างขั้นตอนการนำเสนอ

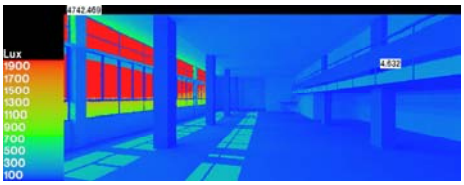
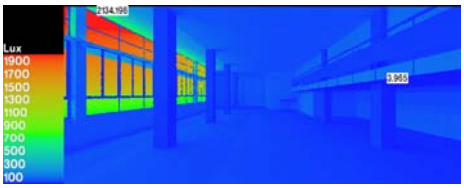
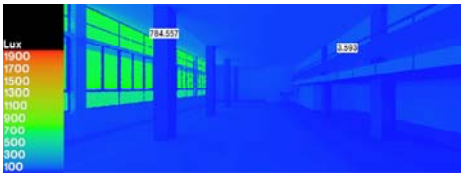
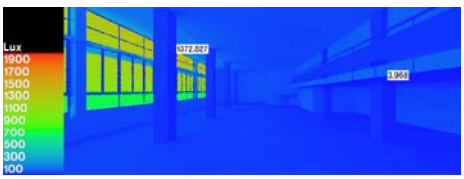
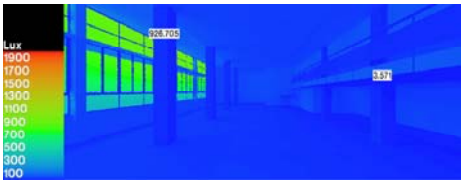
กรณีหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 (ภายนอกระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม.) ในวันที่ 21 มีนาคม

4.2.1 ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 (ภายนอกระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม.) ในวันที่ 21 มีนาคม

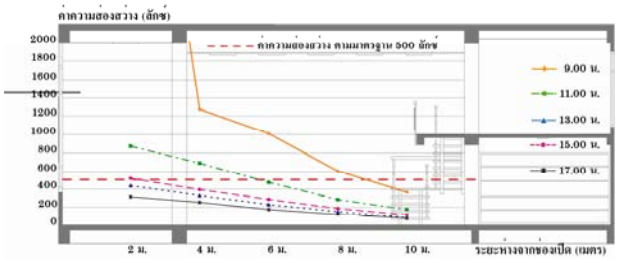
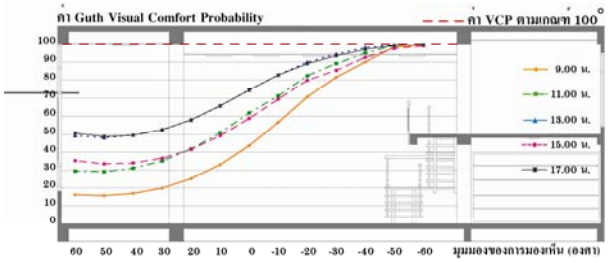
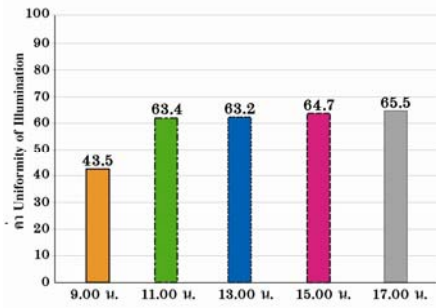
ขั้นตอนที่ 1 ตารางที่ 35 แสดงตัวอย่างผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 (ภายนอกระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม.) จำลองในวันที่ 21 มีนาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มีนาคม	

ขั้นตอนที่ 2 ตารางที่ 36 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

ขั้นตอนที่ 3 ตารางที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่างค่าต่ำสุด 73 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 6279 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1902 495 243 296 และ 184 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60 ˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 65% มีค่าต่ำสุด = 51.3% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 74.1% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 60.1% มีค่าต่ำสุด = 43.5% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 65.5% ที่เวลา 17:00 น.

ขั้นตอนที่ 4 ตารางที่ 38 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6279	867	435	516	311	2.9	8.5	8.4	9.9	5.3
4 ม.	1269	684	326	390	251	7.5	9.3	5.7	7.3	4.0
6 ม.	1003	471	226	284	171	8.0	9.3	3.5	4.7	2.4
8 ม.	598	280	148	182	116	9.6	4.6	2.0	2.6	1.3
10 ม.	361	172	79	110	73	6.5	2.4	0.8	1.2	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	6.8	4.1	5.1	2.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.1				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.7	99.9	99.9	99.3	99.9	10.0	10.0	10.0	9.9	10.0
-50	98.7	99.5	99.5	97.7	99.5	9.9	10.0	10.0	9.8	10.0
-40	90.2	95.2	98.3	92.8	97.3	9.0	9.5	9.8	9.3	9.7
-30	81.6	89.3	94.6	85.5	93.7	8.2	8.9	9.5	8.6	9.4
-20	70.6	82.4	90.1	79.9	89.2	7.1	8.2	9.0	8.0	8.9
-10	56.7	71.2	82.9	69.4	82.8	5.7	7.1	8.3	6.9	8.3
0	43.7	61.8	74.4	58.8	74.4	4.4	6.2	7.4	5.9	7.4
10	33.0	50.9	65.7	49.2	65.8	3.3	5.1	6.6	4.9	6.6
20	25.1	41.8	58.0	41.6	58.1	2.5	4.2	5.8	4.2	5.8
30	19.8	35.1	52.5	36.6	52.6	2.0	3.5	5.3	3.7	5.3
40	16.8	31.0	49.6	33.9	49.5	1.7	3.1	5.0	3.4	5.0
50	15.5	29.0	48.2	33.4	48.9	1.6	2.9	4.8	3.3	4.9
60	16.0	29.3	49.4	35.2	50.7	1.6	2.9	4.9	3.5	5.1
					คะแนนเฉลี่ย	5.1	6.3	7.4	6.3	7.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.5	63.4	63.2	64.7	65.5	4.4	6.3	6.3	6.5	6.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				

4.2.2 เปรียบเทียบผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 (ภายนอกระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม.) ในวันที่ 21 มีนาคม

ขั้นตอนที่ 5 ตารางที่ 39 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1

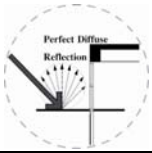
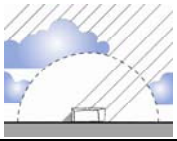
เดือนที่จำลอง	คะแนนจากการวิเคราะห์						คะแนนรวมทุกปัจจัย
	ค่าความส่องสว่าง		ค่า VCP		ค่าความสม่ำเสมอ		
	คะแนน(M1)	F1 x M1	คะแนน(M2)	F2 x M2	คะแนน(M3)	F3 x M3	
มีนาคม	5.1	25.7	6.5	26.0	6.0	18.0	**5.88**
มิถุนายน	5.1	25.3	7.3	29.1	6.0	18.1	
ธันวาคม	5.5	27.6	5.9	23.7	6.1	18.3	
ค่าเฉลี่ย	**5.23**	26.2	**6.57**	26.3	**6.05**	18.2	
หมายเหตุ	สูตรในการหาค่าคะแนนรวม แสดงไว้ในหน้าที่ 83						

5. ผลการจำลองการใช้หิ้งสะท้อนแสงรูปแบบต่างๆ

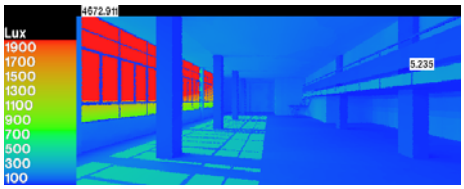
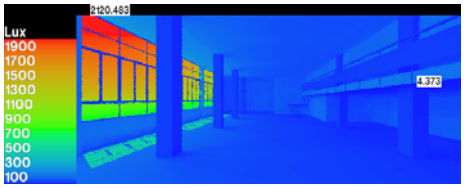
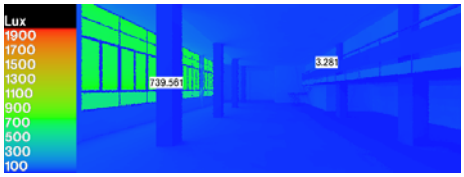
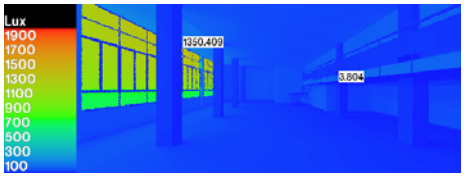
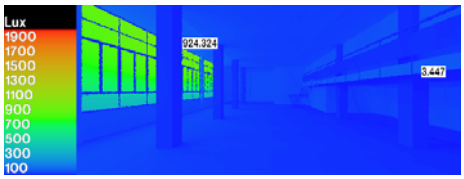
5.1 การจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ A – H วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน

5.1.1 ผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสง ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

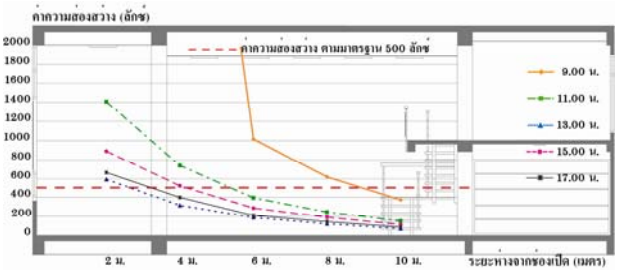
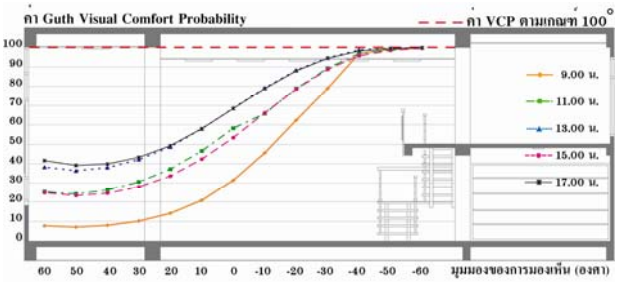
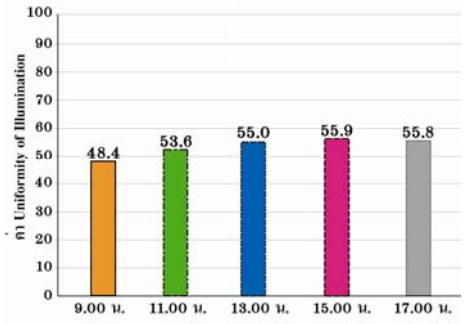
ตารางที่ 40 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มีนาคม	

ตารางที่ 41 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

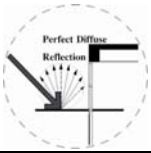
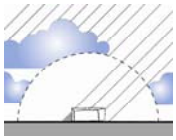
ตารางที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มีนาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 74 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 7160 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 3095 730 293 405 และ 265 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VPC (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 59.9% มีค่าต่ำสุด = 44.5% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 68.9% ที่เวลา 17:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 53.7% มีค่าต่ำสุด = 48.4% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 55.9% ที่เวลา 15:00 น.

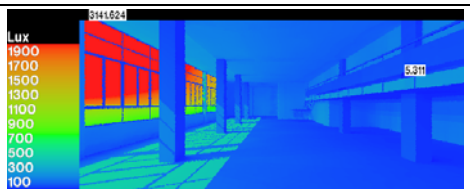
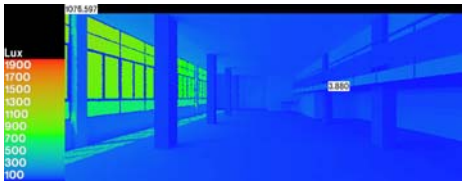
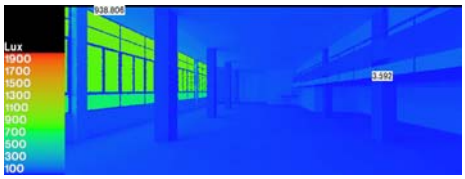
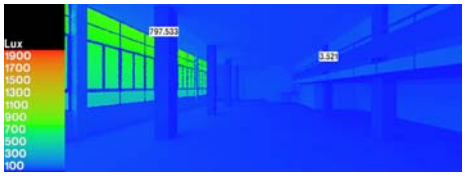
ตารางที่ 43 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	7160	1737	677	903	590	2.4	6.5	9.3	8.4	9.6
4 ม.	6201	934	368	532	354	2.9	8.3	6.7	9.9	6.4
6 ม.	1068	498	210	285	183	7.9	10.0	3.2	4.7	2.7
8 ม.	647	300	133	191	125	9.4	5.0	1.7	2.8	1.5
10 ม.	400	183	79	113	74	7.5	2.7	0.8	1.3	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.0	6.5	4.3	5.4	4.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.8	99.8	99.9	99.6	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.0	99.0	99.6	98.5	99.5	9.9	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	96.9	96.9	98.8	95.7	98.2	9.7	9.7	9.9	9.6	9.8
-30	78.8	89.3	94.7	88.7	94.4	7.9	8.9	9.5	8.9	9.4
-20	62.2	78.7	88.3	78.4	87.9	6.2	7.9	8.8	7.8	8.8
-10	45.3	65.6	79.1	65.9	78.7	4.5	6.6	7.9	6.6	7.9
0	31.0	58.0	68.4	53.1	68.2	3.1	5.8	6.8	5.3	6.8
10	20.6	46.3	57.7	42.0	57.8	2.1	4.6	5.8	4.2	5.8
20	13.9	36.8	48.4	33.2	49.0	1.4	3.7	4.8	3.3	4.9
30	9.8	30.2	41.9	27.6	43.0	1.0	3.0	4.2	2.8	4.3
40	7.6	25.9	37.7	24.3	39.5	0.8	2.6	3.8	2.4	4.0
50	6.7	23.9	36.0	23.1	38.8	0.7	2.4	3.6	2.3	3.9
60	7.3	25.1	37.9	24.6	41.3	0.7	2.5	3.8	2.5	4.1
					คะแนนเฉลี่ย	4.5	6.0	6.8	5.8	6.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	48.4	53.6	55	55.9	55.8	4.8	5.4	5.5	5.6	5.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.4				

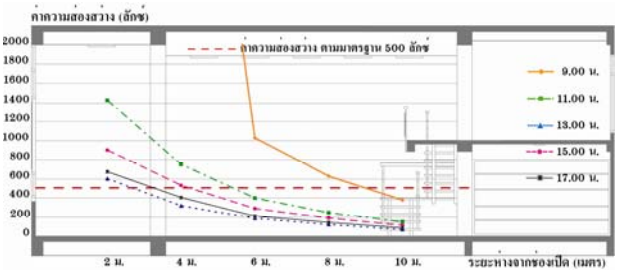
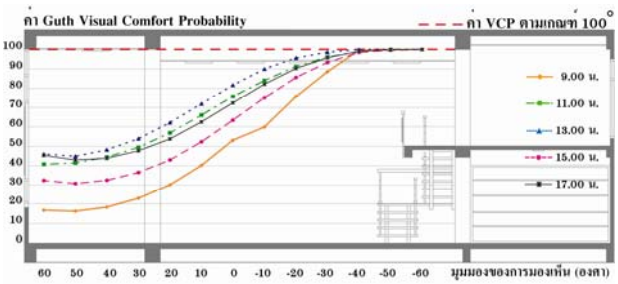
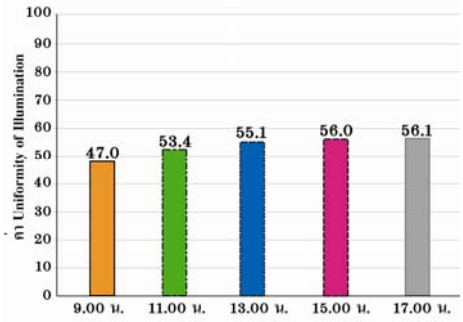
ตารางที่ 44 แสดงการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มิถุนายน	

ตารางที่ 45 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

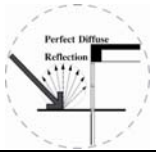
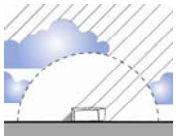
ตารางที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มิถุนายน

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 70 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 13:00 น.ค่าสูงสุด 6685 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 4 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 2339 593 259 404 และ 304 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VPC (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 68.1% มีค่าต่ำสุด = 55.3% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 76.2% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 53.5% มีค่าต่ำสุด = 47% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 56.1% ที่เวลา 17:00 น.

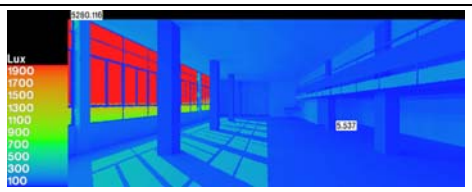
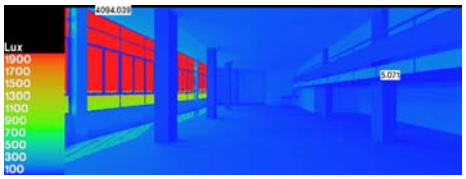
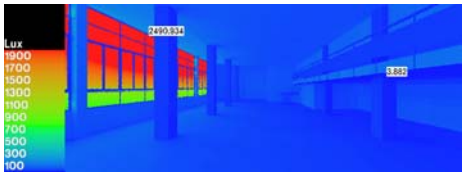
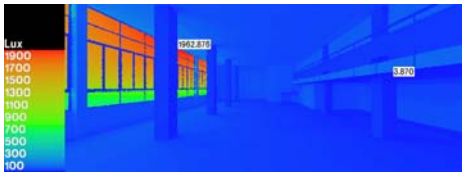
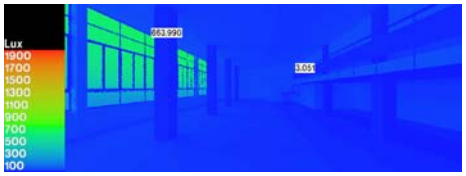
ตารางที่ 47 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	2977	1425	598	899	672	5.0	7.2	9.6	8.4	9.3
4 ม.	6685	747	319	529	404	2.7	9.0	5.5	9.9	7.6
6 ม.	1028	399	188	290	211	7.9	7.5	2.8	4.8	3.2
8 ม.	625	246	122	190	144	9.5	3.9	1.4	2.8	1.9
10 ม.	378	150	70	113	88	7.0	2.0	0.7	1.3	0.9
					คะแนนเฉลี่ย	6.4	5.9	4.0	5.4	4.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	100.0	100.0	100.0	99.9	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.9	99.9	100.0	99.5	99.7	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	99.5	98.8	99.9	98.4	99.0	10.0	9.9	10.0	9.8	9.9
-30	88.4	96.0	98.5	93.2	95.7	8.8	9.6	9.9	9.3	9.6
-20	75.5	91.0	95.5	85.4	90.1	7.6	9.1	9.6	8.5	9.0
-10	59.7	83.8	89.8	74.9	82.0	6.0	8.4	9.0	7.5	8.2
0	52.8	75.5	81.5	63.2	72.2	5.3	7.6	8.2	6.3	7.2
10	39.8	65.8	71.7	52.0	62.3	4.0	6.6	7.2	5.2	6.2
20	29.7	56.6	61.9	42.6	53.5	3.0	5.7	6.2	4.3	5.4
30	22.7	49.1	53.6	36.1	47.4	2.3	4.9	5.4	3.6	4.7
40	18.1	44.1	47.9	32.1	43.5	1.8	4.4	4.8	3.2	4.4
50	16.0	41.1	44.5	30.4	42.6	1.6	4.1	4.5	3.0	4.3
60	16.5	40.4	45.7	32.0	45.0	1.7	4.0	4.6	3.2	4.5
					คะแนนเฉลี่ย	5.5	7.2	7.6	6.5	7.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.8				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	47	53.4	55.1	56	56.1	4.7	5.3	5.5	5.6	5.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.4				

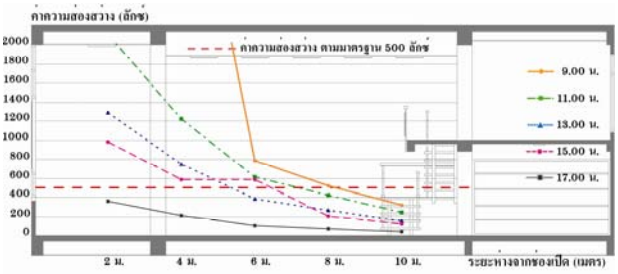
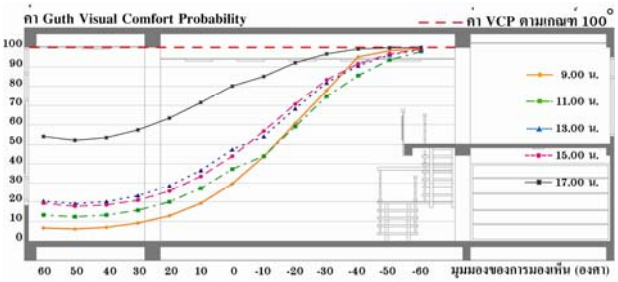
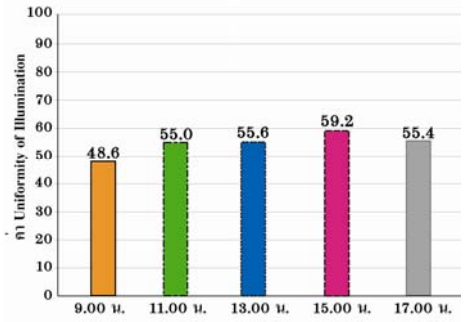
ตารางที่ 48 แสดงการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 ธันวาคม	

ตารางที่ 49 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

ตารางที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง กรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 ธันวาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 45 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 5408 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 2340 921 569 497 และ 162 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 55.9% มีค่าต่ำสุด = 43.4% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 77.2% ที่เวลา 17:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 54.8% มีค่าต่ำสุด = 48.6% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 59.2% ที่เวลา 15:00 น.

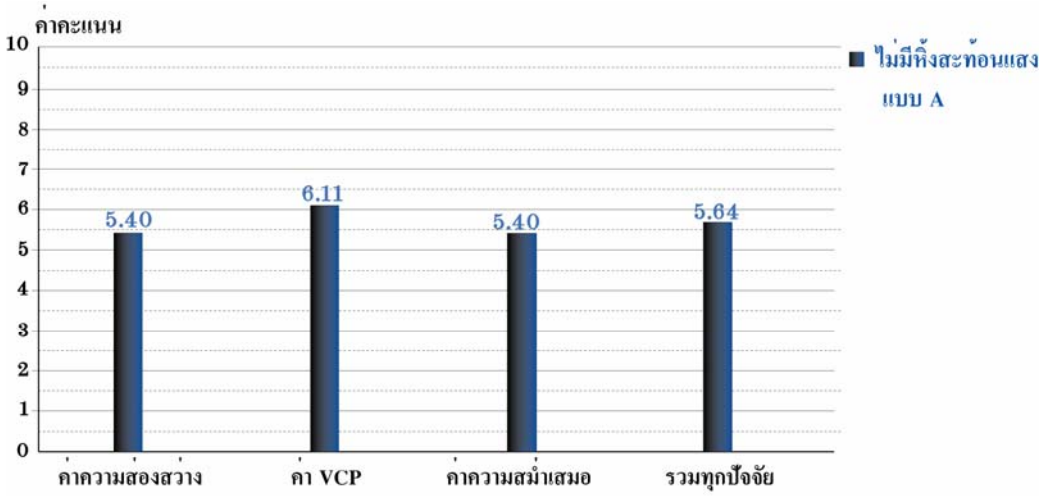
ตารางที่ 51 แสดงผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	5405	2098	1281	979	364	3.3	5.9	7.4	8.1	6.6
4 ม.	4661	1216	748	586	216	3.7	7.6	9.0	9.7	3.3
6 ม.	785	614	388	586	109	8.9	9.5	7.2	9.7	1.2
8 ม.	523	426	270	210	75	9.9	8.2	4.4	3.2	0.8
10 ม.	325	250	159	126	45	5.6	4.0	2.2	1.5	0.5
					คะแนนเฉลี่ย	6.3	7.0	6.0	6.4	2.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.6	97.9	98.9	99.1	100.0	10.0	9.8	9.9	9.9	10.0
-50	98.3	93.5	96.2	96.6	99.8	9.8	9.4	9.6	9.7	10.0
-40	95.1	85.4	90.5	91.5	99.2	9.5	8.5	9.1	9.2	9.9
-30	77.7	74.6	81.7	83.2	96.7	7.8	7.5	8.2	8.3	9.7
-20	60.6	58.9	68.2	70.5	92.1	6.1	5.9	6.8	7.1	9.2
-10	43.5	43.7	53.8	56.6	85.0	4.4	4.4	5.4	5.7	9.7
0	29.4	37.0	47.1	43.7	80.0	2.9	3.7	4.7	4.4	9.2
10	19.2	27.0	36.3	33.2	71.4	1.9	2.7	3.6	3.3	8.5
20	12.7	19.9	28.2	25.5	63.3	1.3	2.0	2.8	2.6	8.0
30	8.9	15.6	23.1	20.8	57.2	0.9	1.6	2.3	2.1	7.1
40	6.7	13.1	20.0	18.3	53.2	0.7	1.3	2.0	1.8	6.3
50	5.9	12.2	18.9	17.6	51.9	0.6	1.2	1.9	1.8	5.7
60	6.4	13.1	20.3	19.2	53.8	0.6	1.3	2.0	1.9	5.3
					คะแนนเฉลี่ย	4.3	4.6	5.3	5.2	8.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	48.6	55	55.6	59.2	55.4	4.9	5.5	5.6	5.9	5.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.5				

5.1.1.1 เปรียบเทียบผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

ตารางที่ 52 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A

เดือนที่จำลอง	คะแนนจากการวิเคราะห์						คะแนนรวมทุกปัจจัย
	ค่าความส่องสว่าง		ค่า VCP		ค่าความสม่ำเสมอ		
	คะแนน(M1)	F1 x M1	คะแนน(M2)	F2 x M2	คะแนน(M 3)	F3 x M3	
มีนาคม	5.3	26.4	6.0	24.0	5.4	16.1	**5.64**
มิถุนายน	5.3	26.3	6.8	27.2	5.4	16.1	
ธันวาคม	5.6	28.2	5.5	22.2	5.5	16.4	
ค่าเฉลี่ย	**5.40**	27.0	**6.11**	24.4	**5.40**	16.2	
หมายเหตุ	สูตรในการหาค่าคะแนนรวม แสดงไว้ในหน้าที่ 83						

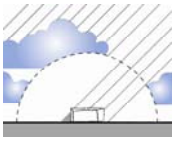


กราฟที่ 9 แสดงการวิเคราะห์คะแนนของผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A

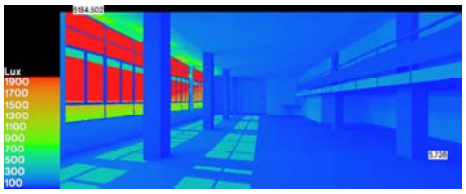
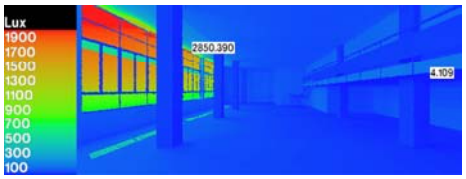
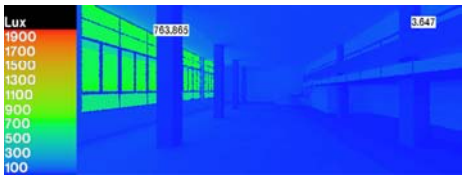
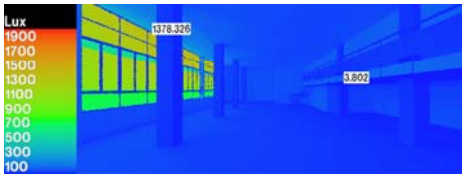
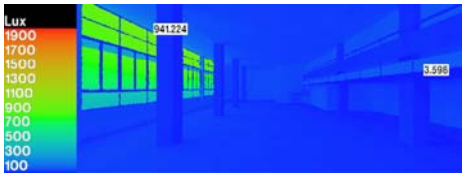
จากการวิเคราะห์คะแนนกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A พบว่าค่าคะแนนความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.40 ค่าคะแนน VCP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.11 ค่าคะแนนความสม่ำเสมอของส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.40 และคะแนนรวมทุกปัจจัยมีค่าเท่ากับ 5.64

5.1.2 ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 (ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม.) ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

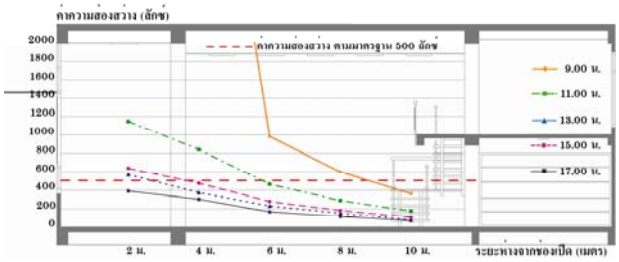
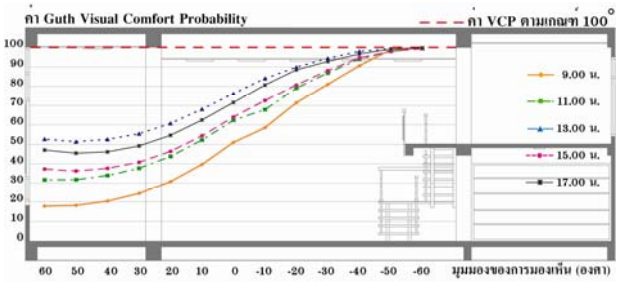
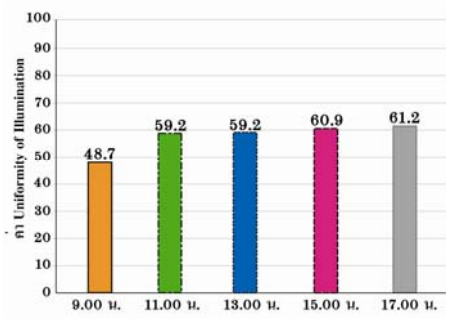
ตารางที่ 53 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มีนาคม	

ตารางที่ 54 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

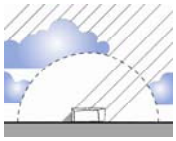
ตารางที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่างค่าต่ำสุด 72 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 6166 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 2789 583 282 338 และ 211 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60 ˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 66% มีค่าต่ำสุด = 54.1% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 75.6% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 57.8% มีค่าต่ำสุด = 48.7% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 61.2% ที่เวลา 17:00 น.

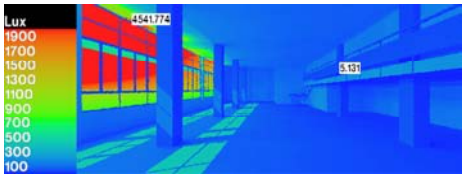
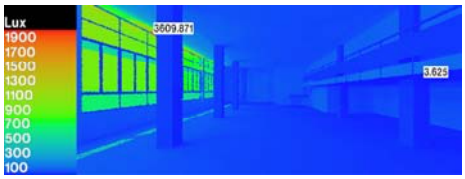
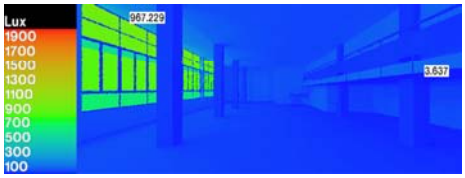
ตารางที่ 56 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6166	1144	570	639	392	2.9	7.7	9.7	9.4	7.3
4 ม.	5835	839	376	476	305	3.1	8.6	6.9	9.4	5.1
6 ม.	981	466	233	281	170	8.1	9.2	3.7	4.6	2.4
8 ม.	599	291	153	183	117	9.6	4.8	2.1	2.7	1.3
10 ม.	364	177	80	110	72	6.6	2.5	0.8	1.2	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.1	6.6	4.6	5.5	3.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.2				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.8	99.5	99.9	99.5	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.0	98.1	99.4	98.1	99.3	9.9	9.8	9.9	9.8	9.9
-40	90.7	94.1	98.1	94.8	96.8	9.1	9.4	9.8	9.5	9.7
-30	81.1	86.9	94.5	88.2	92.9	8.1	8.7	9.5	8.8	9.3
-20	71.5	79.1	89.9	80.7	88.6	7.2	7.9	9.0	8.1	8.9
-10	58.6	67.9	84.1	72.6	80.7	5.9	6.8	8.4	7.3	8.1
0	51.0	62.4	76.2	64.1	71.6	5.1	6.2	7.6	6.4	7.2
10	39.7	52.2	68.1	54.4	62.6	4.0	5.2	6.8	5.4	6.3
20	30.8	43.8	60.8	46.4	54.7	3.1	4.4	6.1	4.6	5.5
30	24.6	37.7	55.5	40.8	49.2	2.5	3.8	5.6	4.1	4.9
40	20.6	34.0	52.6	37.7	46.2	2.1	3.4	5.3	3.8	4.6
50	18.4	31.8	51.4	36.3	45.5	1.8	3.2	5.1	3.6	4.6
60	18.0	31.7	52.7	37.3	47.1	1.8	3.2	5.3	3.7	4.7
					คะแนนเฉลี่ย	5.4	6.3	7.6	6.5	7.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.6				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการทดลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	48.7	59.2	59.2	60.9	61.2	4.9	5.9	5.9	6.1	6.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

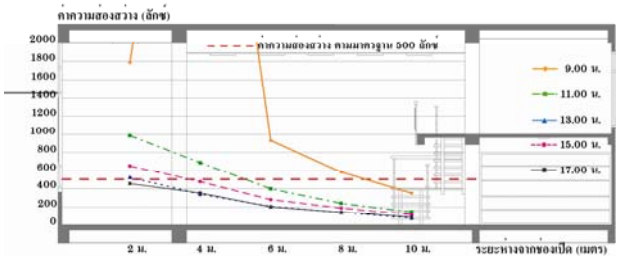
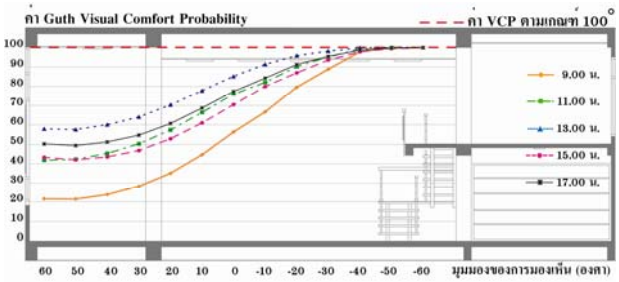
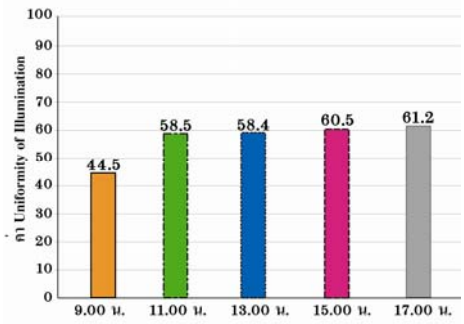
ตารางที่ 57 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มิถุนายน	

ตารางที่ 58 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

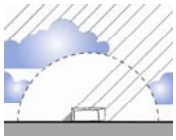
ตารางที่ 59 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 71 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 13:00 น.ค่าสูงสุด 6360 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 4 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 2002 483 253 339 และ 243 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 71.8% มีค่าต่ำสุด = 58.8% ที่เวลา 13:00 น. และมีค่าสูงสุด = 81.4% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 56.6% มีค่าต่ำสุด = 44.5% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 61.2% ที่เวลา 17:00 น.

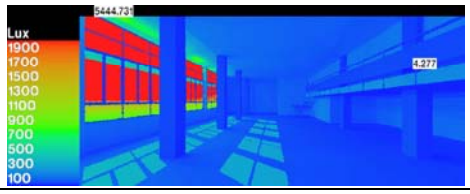
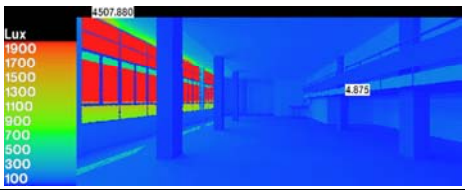
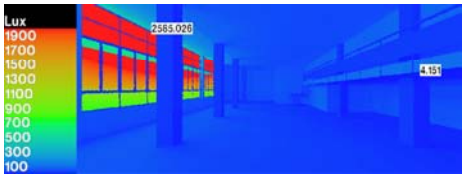
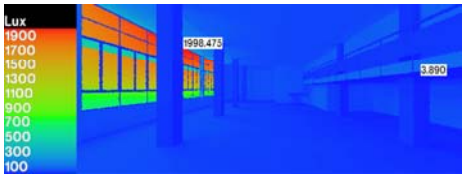
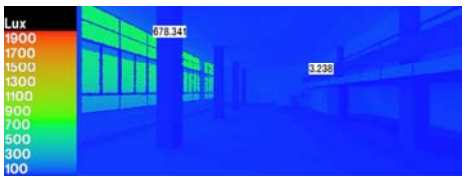
ตารางที่ 60 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1790	984	523	650	453	6.4	8.1	9.9	9.4	8.8
4 ม.	6360	686	338	475	350	2.8	9.3	6.0	9.4	6.3
6 ม.	931	396	202	277	196	8.3	7.4	3.0	4.5	2.9
8 ม.	581	236	134	184	137	9.7	3.7	1.7	2.7	1.7
10 ม.	348	137	71	108	81	6.2	1.7	0.7	1.2	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.7	6.0	4.3	5.4	4.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.7	99.9	100.0	99.4	99.7	10.0	10.0	10.0	9.9	10.0
-40	97.7	99.2	99.8	97.8	98.6	9.8	9.9	10.0	9.8	9.9
-30	88.8	95.1	98.1	93.5	95.4	8.9	9.5	9.8	9.4	9.5
-20	79.5	90.1	95.8	86.9	91.2	8.0	9.0	9.6	8.7	9.1
-10	66.7	82.0	91.3	79.9	84.2	6.7	8.2	9.1	8.0	8.4
0	56.3	75.9	85.1	70.4	77.3	5.6	7.6	8.5	7.0	7.7
10	44.6	66.4	77.7	61.0	68.7	4.5	6.6	7.8	6.1	6.9
20	35.1	57.4	70.3	52.8	60.7	3.5	5.7	7.0	5.3	6.1
30	28.3	50.2	64.1	46.8	54.7	2.8	5.0	6.4	4.7	5.5
40	24.0	45.3	60.1	43.5	51.2	2.4	4.5	6.0	4.4	5.1
50	21.7	42.3	57.6	42.0	49.4	2.2	4.2	5.8	4.2	4.9
60	21.8	41.8	57.9	43.3	50.2	2.2	4.2	5.8	4.3	5.0
					คะแนนเฉลี่ย	5.9	7.3	8.1	7.1	7.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.2				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.5	58.5	58.4	60.5	61.2	4.5	5.9	5.8	6.1	6.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.7				

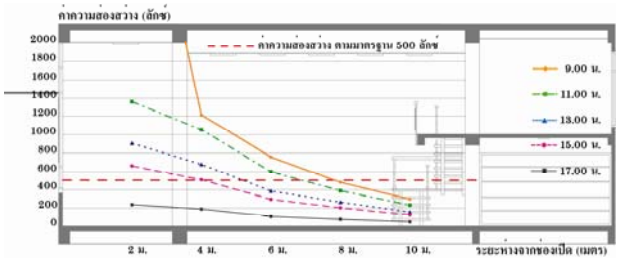
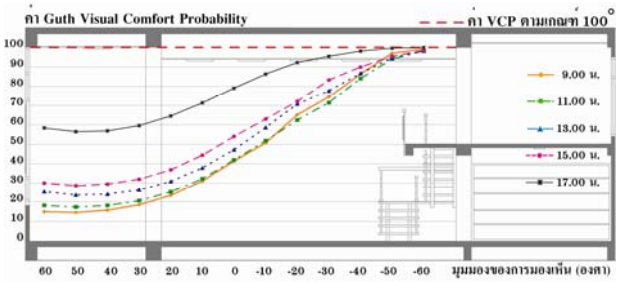
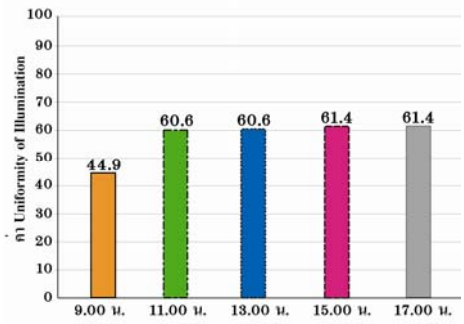
ตารางที่ 61 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 ธันวาคม	

ตารางที่ 62 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

ตารางที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 43 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 4666 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1460 722 474 354 และ 127 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 56.9% มีค่าต่ำสุด = 48.5% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 75.2% ที่เวลา 17:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 57.8% มีค่าต่ำสุด = 44.9% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 61.4% ที่เวลา 15:00 17:00 น.

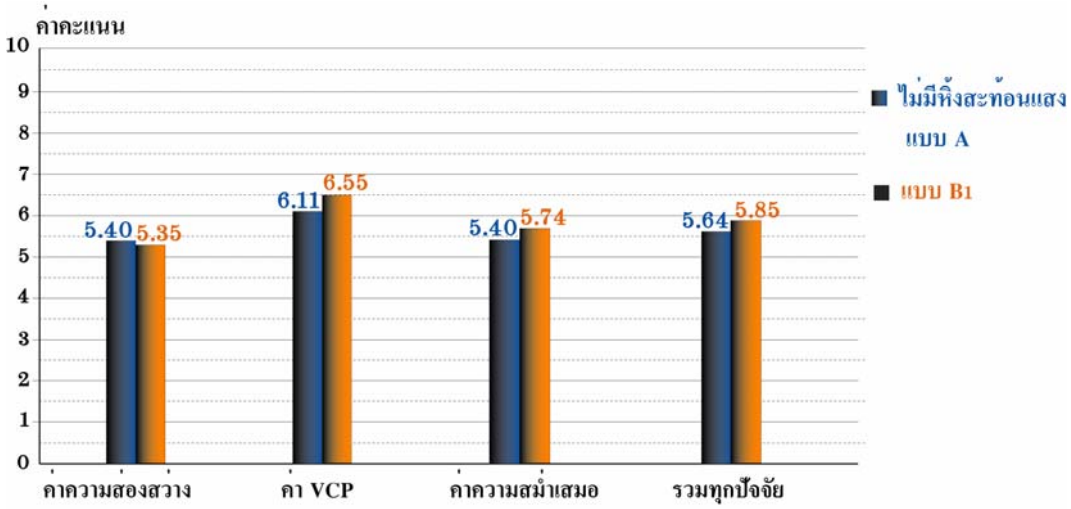
ตารางที่ 64 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4666	1356	901	657	233	3.7	7.3	8.4	9.4	3.7
4 ม.	1211	1049	674	507	184	7.6	7.9	9.3	10.0	2.7
6 ม.	753	594	382	290	102	9.0	9.6	7.1	4.8	1.0
8 ม.	479	386	259	199	71	9.5	7.2	4.2	3.0	0.7
10 ม.	292	227	152	119	43	4.8	3.5	2.0	1.4	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	7.1	6.2	5.7	1.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.5				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.2	98.1	98.2	98.5	99.9	9.9	9.8	9.8	9.9	10.0
-50	97.0	94.0	94.5	95.4	99.6	9.7	9.4	9.5	9.5	10.0
-40	86.2	83.9	86.6	89.8	98.1	8.6	8.4	8.7	9.0	9.8
-30	74.3	71.3	77.5	83.1	95.4	7.4	7.1	7.8	8.3	9.5
-20	65.0	62.3	70.6	71.9	92.2	6.5	6.2	7.1	7.2	9.2
-10	50.5	51.6	58.4	62.8	86.2	5.1	5.2	5.8	6.3	9.5
0	41.1	41.7	47.0	53.8	78.9	4.1	4.2	4.7	5.4	9.2
10	30.8	32.0	37.6	44.1	71.2	3.1	3.2	3.8	4.4	8.6
20	23.3	25.0	30.6	36.6	64.4	2.3	2.5	3.1	3.7	7.9
30	18.4	20.5	26.1	31.7	59.4	1.8	2.1	2.6	3.2	7.1
40	15.6	18.0	23.9	29.2	56.7	1.6	1.8	2.4	2.9	6.4
50	14.4	17.2	23.5	28.4	56.3	1.4	1.7	2.4	2.8	5.9
60	14.8	18.0	25.2	29.7	58.2	1.5	1.8	2.5	3.0	5.7
					คะแนนเฉลี่ย	4.9	4.9	5.4	5.8	8.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.9	60.6	60.6	61.4	61.4	4.5	6.1	6.1	6.1	6.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

5.1.2.1 เปรียบเทียบผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

ตารางที่ 65 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1

เดือนที่จำลอง	คะแนนจากการวิเคราะห์						คะแนนรวมทุกปัจจัย
	ค่าความส่องสว่าง		ค่า VCP		ค่าความสม่ำเสมอ		
	คะแนน(M1)	F1 x M1	คะแนน(M2)	F2 x M2	คะแนน(M3)	F3 x M3	
มีนาคม	5.2	26.1	6.6	26.4	5.8	17.4	**5.85**
มิถุนายน	5.3	26.5	7.2	28.7	5.7	17.0	
ธันวาคม	5.5	27.6	5.9	23.4	5.8	17.3	
ค่าเฉลี่ย	**5.35**	26.7	**6.55**	26.2	**5.74**	17.2	
หมายเหตุ	สูตรในการหาค่าคะแนนรวม แสดงไว้ในหน้าที่ 83						

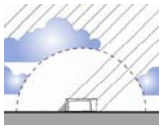


กราฟที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

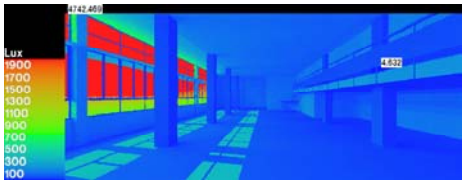
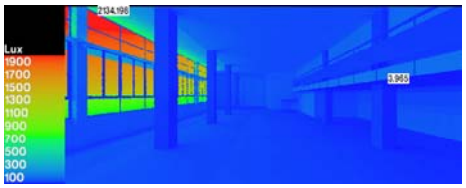
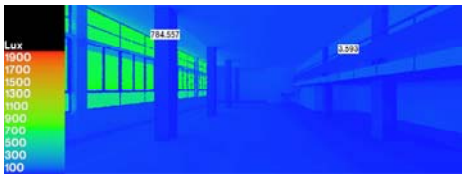
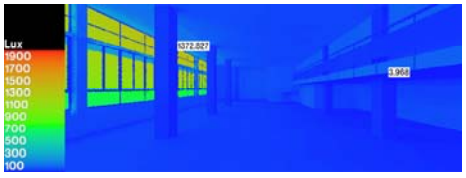
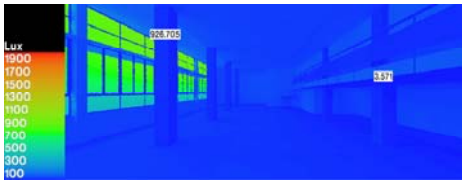
จากการวิเคราะห์คะแนนหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 พบว่าค่าคะแนนความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.35 ค่าคะแนน VCP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.55 ค่าคะแนนความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.74 และคะแนนรวมทุกปัจจัยเท่ากับ 5.85 ซึ่งผลการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 คะแนนความส่องสว่างมีค่าลดลง โดยรวมทุกปัจจัยมีค่าที่เพิ่มขึ้น 3.72%

5.1.3.1 การจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 (ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 ม.) จำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

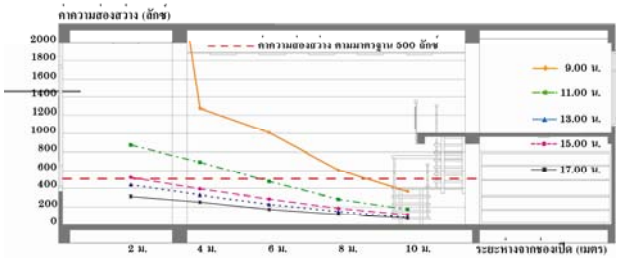
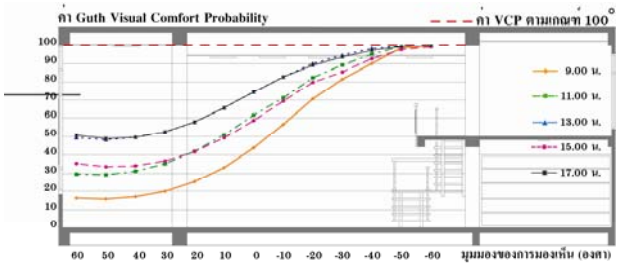
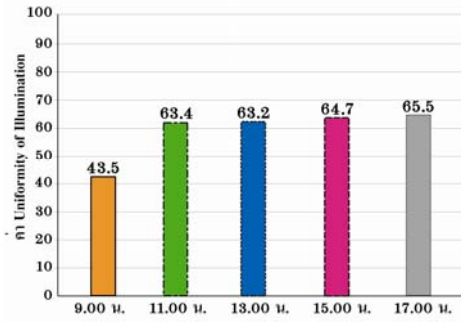
ตารางที่ 66 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มีนาคม	

ตารางที่ 67 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

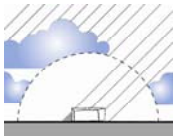
ตารางที่ 68 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 73 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 6279 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1902 495 243 296 และ 184 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60 ˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 65% มีค่าต่ำสุด = 51.3% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 74.1% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 60.1% มีค่าต่ำสุด = 43.5% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 65.5% ที่เวลา 17:00 น.

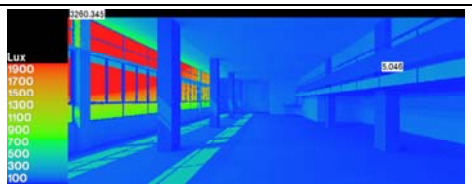
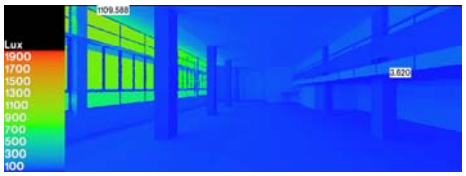
ตารางที่ 69 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6279	867	435	516	311	2.9	8.5	8.4	9.9	5.3
4 ม.	1269	684	326	390	251	7.5	9.3	5.7	7.3	4.0
6 ม.	1003	471	226	284	171	8.0	9.3	3.5	4.7	2.4
8 ม.	598	280	148	182	116	9.6	4.6	2.0	2.6	1.3
10 ม.	361	172	79	110	73	6.5	2.4	0.8	1.2	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	6.8	4.1	5.1	2.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.1				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.7	99.9	99.9	99.3	99.9	10.0	10.0	10.0	9.9	10.0
-50	98.7	99.5	99.5	97.7	99.5	9.9	10.0	10.0	9.8	10.0
-40	90.2	95.2	98.3	92.8	97.3	9.0	9.5	9.8	9.3	9.7
-30	81.6	89.3	94.6	85.5	93.7	8.2	8.9	9.5	8.6	9.4
-20	70.6	82.4	90.1	79.9	89.2	7.1	8.2	9.0	8.0	8.9
-10	56.7	71.2	82.9	69.4	82.8	5.7	7.1	8.3	6.9	8.3
0	43.7	61.8	74.4	58.8	74.4	4.4	6.2	7.4	5.9	7.4
10	33.0	50.9	65.7	49.2	65.8	3.3	5.1	6.6	4.9	6.6
20	25.1	41.8	58.0	41.6	58.1	2.5	4.2	5.8	4.2	5.8
30	19.8	35.1	52.5	36.6	52.6	2.0	3.5	5.3	3.7	5.3
40	16.8	31.0	49.6	33.9	49.5	1.7	3.1	5.0	3.4	5.0
50	15.5	29.0	48.2	33.4	48.9	1.6	2.9	4.8	3.3	4.9
60	16.0	29.3	49.4	35.2	50.7	1.6	2.9	4.9	3.5	5.1
					คะแนนเฉลี่ย	5.1	6.3	7.4	6.3	7.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.5	63.4	63.2	64.7	65.5	4.4	6.3	6.3	6.5	6.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				

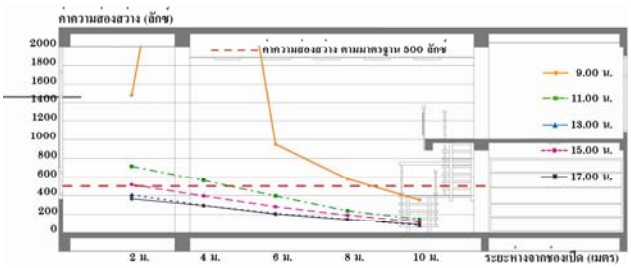
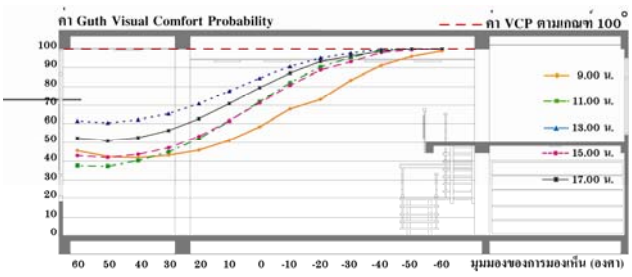
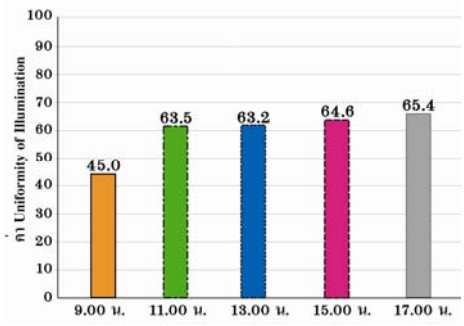
ตารางที่ 70 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มิถุนายน	

ตารางที่ 71 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

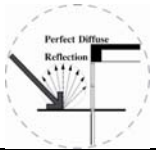
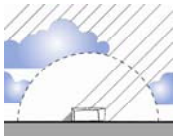
ตารางที่ 72 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 73 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 13:00 น.ค่าสูงสุด 5645 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 4 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1797 407 222 295 และ 213 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 72.8% มีค่าต่ำสุด = 64.4% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 81.8% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 60.3% มีค่าต่ำสุด = 45% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 65.4% ที่เวลา 17:00 น.

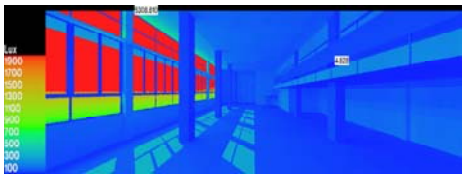
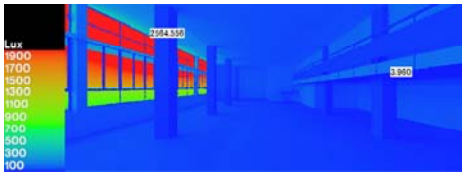
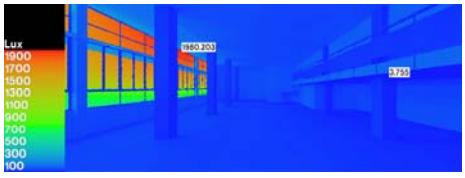
ตารางที่ 73 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1471	711	403	514	361	7.1	9.2	7.6	9.9	6.5
4 ม.	5645	560	289	392	288	3.2	9.8	4.8	7.3	4.8
6 ม.	944	393	203	276	196	8.2	7.3	3.1	4.5	2.9
8 ม.	576	232	140	183	135	9.7	3.6	1.8	2.7	1.7
10 ม.	349	139	73	110	83	6.2	1.8	0.7	1.2	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	6.3	3.6	5.1	3.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.1				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	98.8	100.0	100.0	99.9	100.0	9.9	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	95.9	99.9	99.9	99.4	99.9	9.6	10.0	10.0	9.9	10.0
-40	91.0	99.3	99.6	97.9	98.6	9.1	9.9	10.0	9.8	9.9
-30	83.2	95.2	97.6	93.0	96.1	8.3	9.5	9.8	9.3	9.6
-20	72.9	90.2	95.0	88.6	93.1	7.3	9.0	9.5	8.9	9.3
-10	67.8	81.9	90.4	80.5	87.0	6.8	8.2	9.0	8.1	8.7
0	58.3	71.7	84.3	71.0	79.2	5.8	7.2	8.4	7.1	7.9
10	51.0	61.3	77.4	61.5	70.6	5.1	6.1	7.7	6.2	7.1
20	45.8	51.9	70.6	53.1	62.6	4.6	5.2	7.1	5.3	6.3
30	43.0	44.8	65.2	47.0	56.3	4.3	4.5	6.5	4.7	5.6
40	41.7	40.1	62.1	43.5	52.4	4.2	4.0	6.2	4.4	5.2
50	42.3	37.3	60.4	41.8	50.8	4.2	3.7	6.0	4.2	5.1
60	45.5	37.6	61.4	42.8	52.1	4.6	3.8	6.1	4.3	5.2
					คะแนนเฉลี่ย	6.4	7.0	8.2	7.1	7.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.3				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	45	63.5	63.2	64.6	65.4	4.5	6.4	6.3	6.5	6.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				

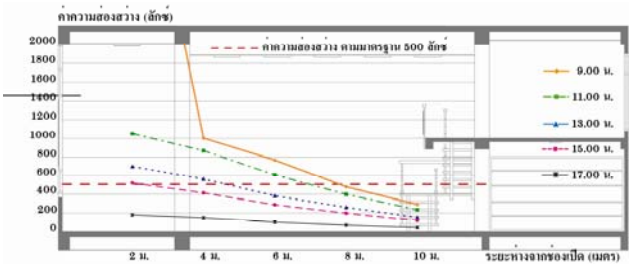
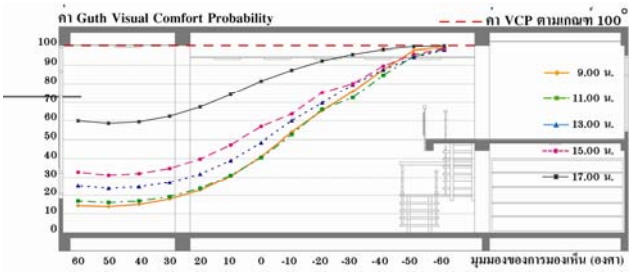
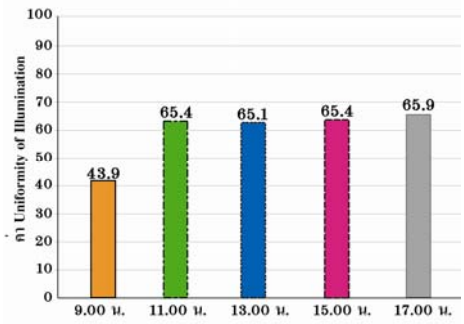
ตารางที่ 74 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 ธันวาคม	

ตารางที่ 75 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

ตารางที่ 76 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 43 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 4747 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1458 632 412 308 และ 109 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 58.2% มีค่าต่ำสุด = 48.6% ที่เวลา 11:00 น. และมีค่าสูงสุด = 79.6% ที่เวลา 17:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 61.1% มีค่าต่ำสุด = 43.9% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 65.9% ที่เวลา 17:00 น.

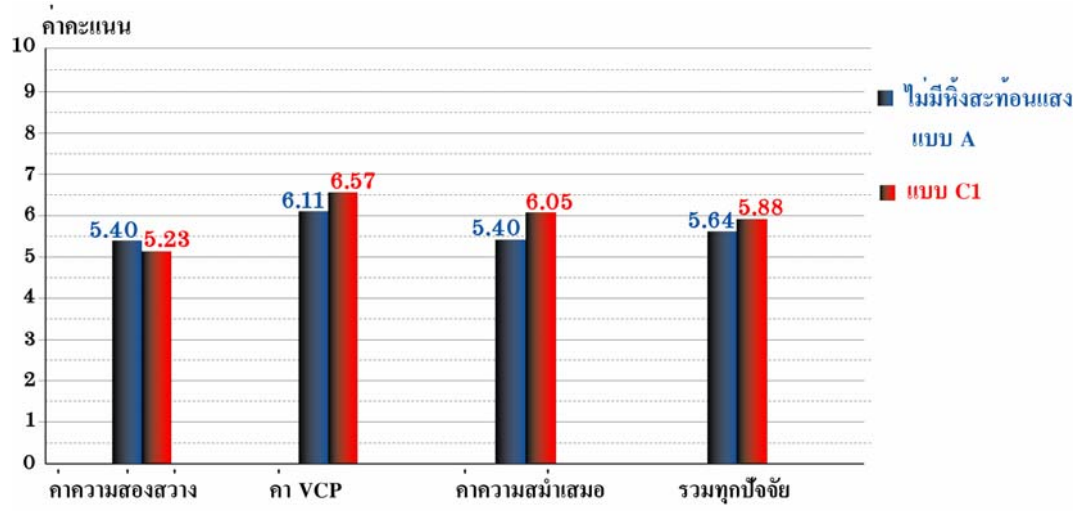
ตารางที่ 77 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4747	1054	698	519	181	3.6	7.9	9.2	9.9	2.6
4 ม.	1005	869	562	414	150	8.0	8.5	9.8	7.9	2.0
6 ม.	767	606	383	287	102	8.9	9.6	7.1	4.7	1.0
8 ม.	478	398	261	198	70	9.5	7.5	4.2	3.0	0.7
10 ม.	291	234	154	120	43	4.8	3.7	2.1	1.4	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	7.0	7.4	6.5	5.4	1.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.5				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.4	98.2	98.0	98.6	99.9	9.9	9.8	9.8	9.9	10.0
-50	97.7	94.6	94.1	95.7	99.6	9.8	9.5	9.4	9.6	10.0
-40	87.3	84.4	87.3	89.3	98.1	8.7	8.4	8.7	8.9	9.8
-30	75.6	72.3	79.3	79.8	95.5	7.6	7.2	7.9	8.0	9.6
-20	65.3	66.0	69.5	75.0	92.1	6.5	6.6	7.0	7.5	9.2
-10	53.9	52.5	59.9	63.5	87.1	5.4	5.3	6.0	6.4	9.6
0	40.9	40.4	48.4	56.8	81.2	4.1	4.0	4.8	5.7	9.2
10	30.4	30.8	38.8	47.2	74.0	3.0	3.1	3.9	4.7	8.7
20	22.8	23.7	31.6	39.6	67.3	2.3	2.4	3.2	4.0	8.1
30	17.9	19.2	27.0	34.6	62.3	1.8	1.9	2.7	3.5	7.4
40	15.0	16.8	24.6	31.8	59.3	1.5	1.7	2.5	3.2	6.7
50	13.8	16.0	23.8	31.0	58.5	1.4	1.6	2.4	3.1	6.2
60	14.3	16.8	25.1	32.6	59.8	1.4	1.7	2.5	3.3	5.9
					คะแนนเฉลี่ย	4.9	4.9	5.4	6.0	8.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.9	65.4	65.1	65.4	65.9	4.4	6.5	6.5	6.5	6.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.1				

5.1.3.2 เปรียบเทียบผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

ตารางที่ 78 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1

เดือนที่จำลอง	คะแนนจากการวิเคราะห์						คะแนนรวมทุกปัจจัย
	ค่าความส่องสว่าง		ค่า VCP		ค่าความสม่ำเสมอ		
	คะแนน(M1)	F1 x M1	คะแนน(M2)	F2 x M2	คะแนน(M3)	F3 x M3	
มีนาคม	5.1	25.7	6.5	26.0	6.0	18.0	**5.88**
มิถุนายน	5.1	25.3	7.3	29.1	6.0	18.1	
ธันวาคม	5.5	27.6	5.9	23.7	6.1	18.3	
ค่าเฉลี่ย	**5.23**	26.2	**6.57**	26.3	**6.05**	18.2	
หมายเหตุ	สูตรในการหาค่าคะแนนรวม แสดงไว้ในหน้าที่ 83						

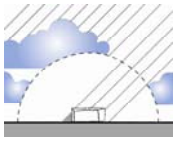


กราฟที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

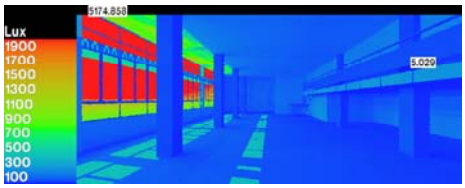
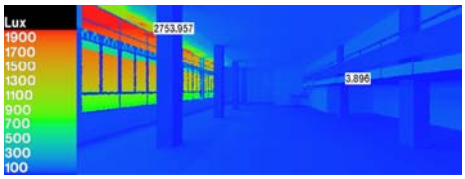
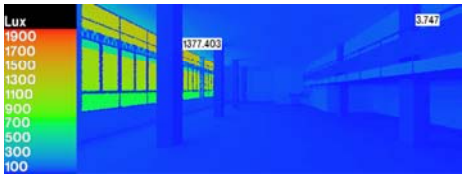
จากการวิเคราะห์คะแนนหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 พบว่าคะแนนค่าความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.23 ค่าคะแนน VCP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.57 ค่าคะแนนความสม่ำเสมอของค่าความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.05 และคะแนนรวมทุกปัจจัยมีค่าเท่ากับ 5.88 ซึ่งผลการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 คะแนนความส่องสว่างมีค่าลดลง โดยรวมทุกปัจจัยมีค่าที่เพิ่มขึ้น 4.25%

5.1.3.3 การจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 (ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในแนวราบระยะยื่น 1.00 ม.) จำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

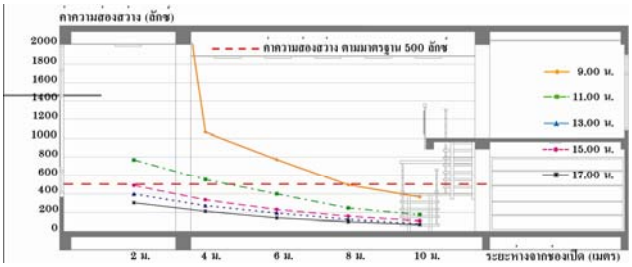
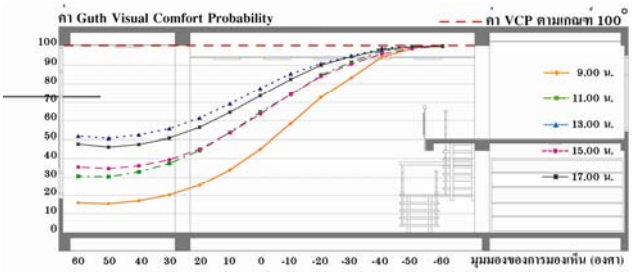
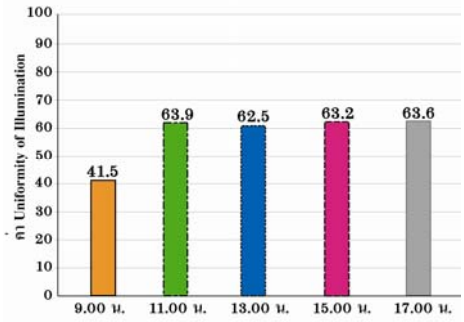
ตารางที่ 79 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มีนาคม	

ตารางที่ 80 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

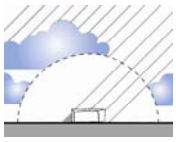
ตารางที่ 81 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 มีนาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 69 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 6279 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1792 424 209 261 และ 162 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 66.2% มีค่าต่ำสุด = 52.2% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 75.9% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 58.9% มีค่าต่ำสุด = 41.5% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 63.9% ที่เวลา 11:00 น.

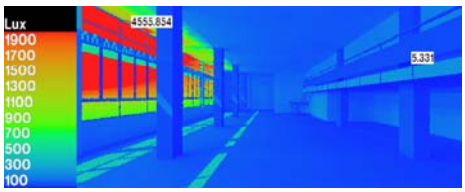
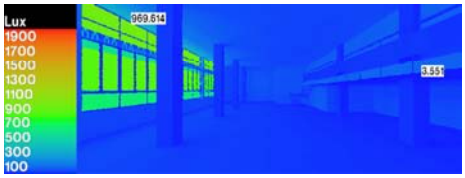
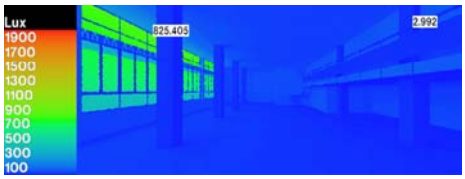
ตารางที่ 82 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6279	764	393	486	299	2.9	8.9	7.3	9.7	5.0
4 ม.	1061	551	268	331	207	7.9	9.8	4.4	5.8	3.1
6 ม.	767	395	188	225	136	8.9	7.4	2.8	3.5	1.7
8 ม.	492	242	120	154	98	9.8	3.8	1.4	2.1	1.0
10 ม.	362	170	77	107	69	6.6	2.4	0.8	1.1	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	7.2	6.5	3.3	4.4	2.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.7				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.7	99.9	99.9	99.7	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	98.9	99.5	99.6	98.7	99.5	9.9	10.0	10.0	9.9	10.0
-40	94.3	97.5	98.7	96.0	98.0	9.4	9.8	9.9	9.6	9.8
-30	83.1	91.5	95.0	90.5	94.5	8.3	9.2	9.5	9.1	9.5
-20	72.5	84.6	90.7	83.9	89.9	7.3	8.5	9.1	8.4	9.0
-10	58.3	73.9	85.3	74.1	82.3	5.8	7.4	8.5	7.4	8.2
0	44.8	64.5	77.3	63.4	73.4	4.5	6.5	7.7	6.3	7.3
10	33.7	53.5	69.0	53.3	64.4	3.4	5.4	6.9	5.3	6.4
20	25.4	44.1	61.3	44.9	56.4	2.5	4.4	6.1	4.5	5.6
30	20.0	37.2	55.6	39.2	50.6	2.0	3.7	5.6	3.9	5.1
40	16.8	32.7	52.3	36.0	47.4	1.7	3.3	5.2	3.6	4.7
50	15.2	30.1	50.5	34.5	46.0	1.5	3.0	5.1	3.5	4.6
60	15.7	30.3	51.6	35.3	47.6	1.6	3.0	5.2	3.5	4.8
					คะแนนเฉลี่ย	5.2	6.5	7.6	6.5	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.6				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	41.5	63.9	62.5	63.2	63.6	4.2	6.4	6.3	6.3	6.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

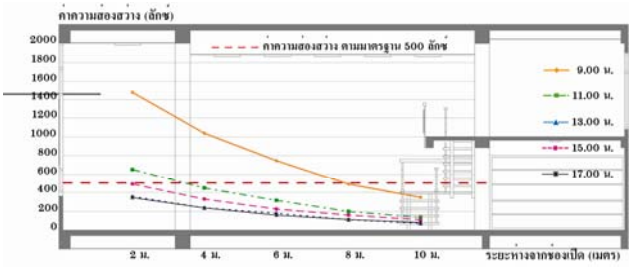
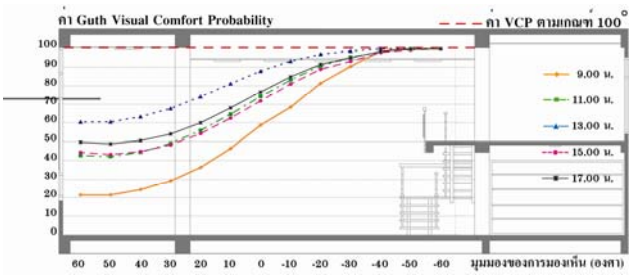
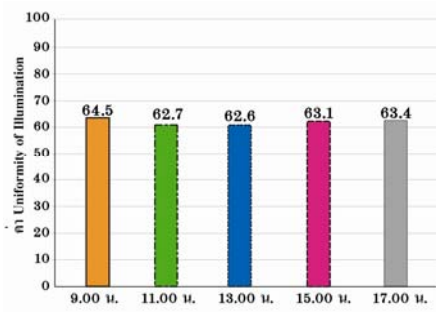
ตารางที่ 83 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มิถุนายน	

ตารางที่ 84 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

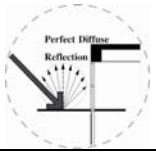
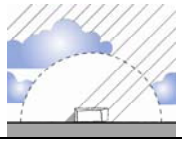
ตารางที่ 85 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 70 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 13:00 น.ค่าสูงสุด 1474 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 818 348 189 261 และ 185 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 62.6% มีค่าต่ำสุด = 59.6% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 84.3% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 63.2% มีค่าต่ำสุด = 62.6% ที่เวลา 13:00 น. และมีค่าสูงสุด = 64.5% ที่เวลา 9:00 น.

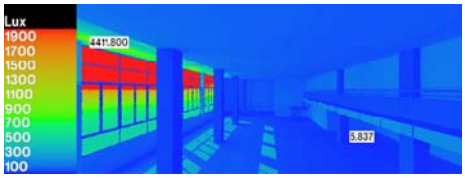
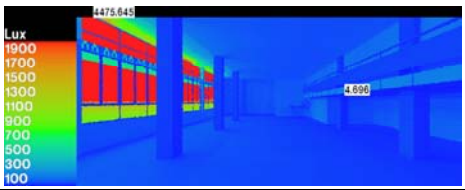
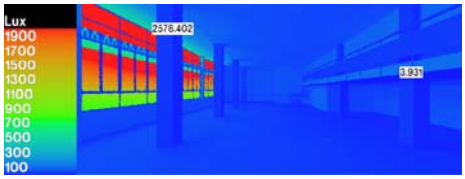
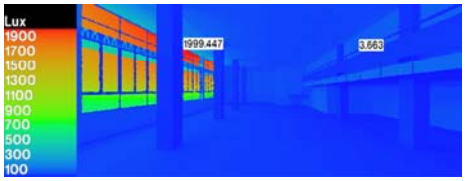
ตารางที่ 86 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1474	650	356	490	344	7.1	9.4	6.4	9.8	6.1
4 ม.	1038	447	234	328	234	7.9	8.7	3.7	5.7	3.7
6 ม.	744	315	176	222	156	9.0	5.4	2.5	3.4	2.1
8 ม.	489	196	108	157	110	9.7	2.9	1.2	2.1	1.2
10 ม.	347	133	70	107	79	6.2	1.7	0.7	1.1	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	8.0	5.6	2.9	4.4	2.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.7				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	100.0	100.0	100.0	99.9	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	100.0	99.9	100.0	99.4	99.6	10.0	10.0	10.0	9.9	10.0
-40	98.8	98.4	99.9	98.0	98.6	9.9	9.8	10.0	9.8	9.9
-30	90.6	95.5	98.8	93.3	95.2	9.1	9.6	9.9	9.3	9.5
-20	81.5	90.8	97.1	89.0	91.7	8.2	9.1	9.7	8.9	9.2
-10	68.4	83.3	93.4	81.1	85.0	6.8	8.3	9.3	8.1	8.5
0	58.7	74.2	88.0	71.8	76.7	5.9	7.4	8.8	7.2	7.7
10	46.3	64.6	81.3	62.5	68.0	4.6	6.5	8.1	6.3	6.8
20	36.1	55.9	74.1	54.2	60.0	3.6	5.6	7.4	5.4	6.0
30	28.8	49.0	67.7	48.2	54.0	2.9	4.9	6.8	4.8	5.4
40	24.0	44.3	63.3	44.7	50.5	2.4	4.4	6.3	4.5	5.1
50	21.1	42.0	60.5	43.0	48.7	2.1	4.2	6.1	4.3	4.9
60	21.1	42.5	60.4	44.2	49.6	2.1	4.3	6.0	4.4	5.0
					คะแนนเฉลี่ย	6.0	7.2	8.3	7.1	7.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.2				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	64.5	62.7	62.6	63.1	63.4	6.5	6.3	6.3	6.3	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.3				

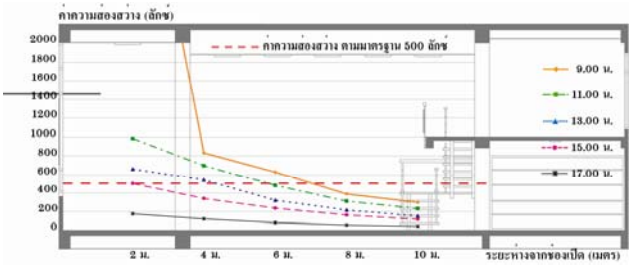
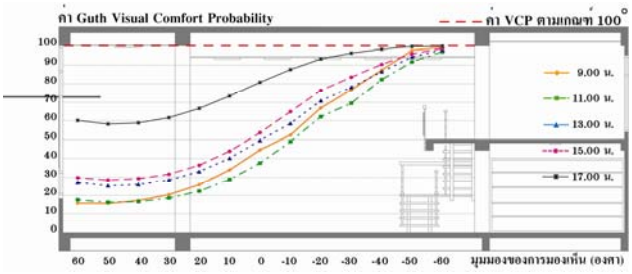
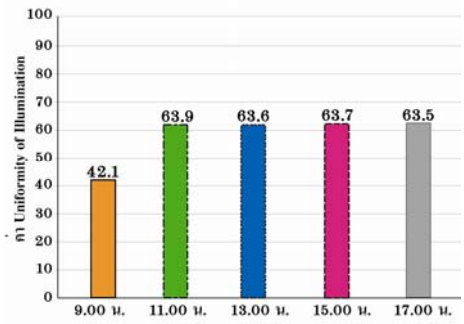
ตารางที่ 87 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 ธันวาคม	

ตารางที่ 88 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

ตารางที่ 89 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 41 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 4749 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1380 542 378 272 และ 95 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60 ˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 58% มีค่าต่ำสุด = 46.8% ที่เวลา 11:00 น. และมีค่าสูงสุด = 79.5% ที่เวลา 17:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 59.3% มีค่าต่ำสุด = 42.1% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 63.9% ที่เวลา 11:00 น.

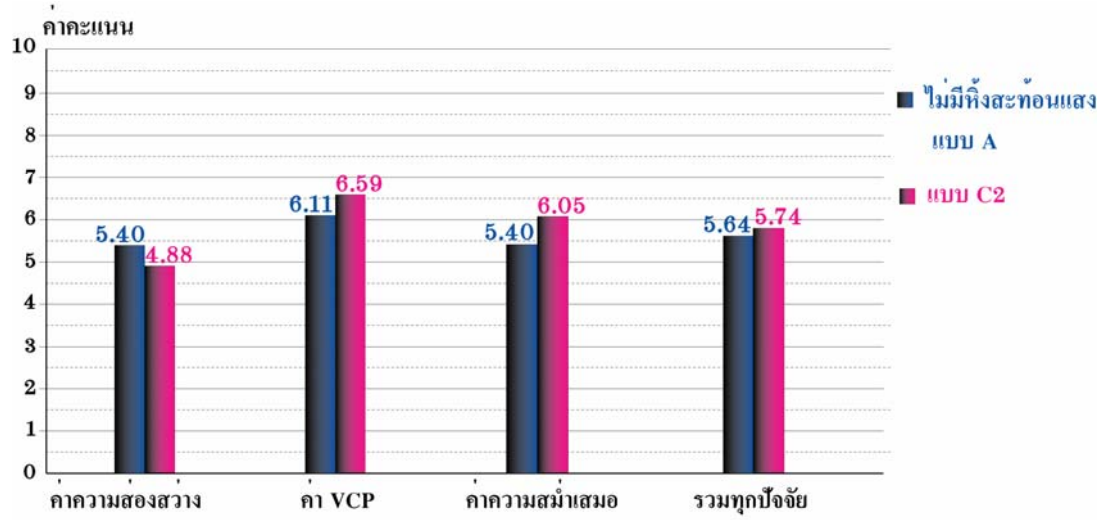
ตารางที่ 90 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4749	987	661	503	175	3.6	8.1	9.4	10.0	2.5
4 ม.	834	696	543	340	121	8.7	9.2	9.8	6.0	1.4
6 ม.	628	483	321	236	81	9.5	9.6	5.5	3.7	0.8
8 ม.	389	311	216	163	55	7.2	5.3	3.3	2.3	0.6
10 ม.	298	232	151	116	41	5.0	3.6	2.0	1.3	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.8	7.2	6.0	4.7	1.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.1				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.4	96.9	98.0	98.7	99.9	9.9	9.7	9.8	9.9	10.0
-50	97.6	91.6	94.1	95.8	99.7	9.8	9.2	9.4	9.6	10.0
-40	87.2	82.1	86.3	90.2	98.3	8.7	8.2	8.6	9.0	9.8
-30	76.5	69.3	77.9	83.3	96.2	7.7	6.9	7.8	8.3	9.6
-20	66.8	62.1	70.6	76.2	93.1	6.7	6.2	7.1	7.6	9.3
-10	52.4	48.9	58.5	64.8	87.5	5.2	4.9	5.9	6.5	9.6
0	44.5	37.5	49.5	53.6	80.6	4.5	3.8	5.0	5.4	9.3
10	33.8	28.6	40.1	43.8	73.2	3.4	2.9	4.0	4.4	8.8
20	25.8	22.3	32.9	36.3	66.5	2.6	2.2	3.3	3.6	8.1
30	20.4	18.5	28.4	31.5	61.6	2.0	1.9	2.8	3.2	7.3
40	17.2	16.6	25.9	29.1	58.8	1.7	1.7	2.6	2.9	6.7
50	15.6	16.2	25.3	28.3	58.2	1.6	1.6	2.5	2.8	6.2
60	15.7	17.5	27.0	29.6	60.1	1.6	1.8	2.7	3.0	5.9
					คะแนนเฉลี่ย	5.0	4.7	5.5	5.9	8.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	42.1	63.9	63.6	63.7	63.5	4.2	6.4	6.4	6.4	6.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

5.1.3.4 เปรียบเทียบผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

ตารางที่ 91 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2

เดือนที่จำลอง	คะแนนจากการวิเคราะห์						คะแนนรวมทุกปัจจัย
	ค่าความส่องสว่าง		ค่า VCP		ค่าความสม่ำเสมอ		
	คะแนน(M1)	F1 x M1	คะแนน(M2)	F2 x M2	คะแนน(M3)	F3 x M3	
มีนาคม	4.7	23.7	6.6	26.5	5.9	17.7	**5.74**
มิถุนายน	4.7	23.7	7.2	29.0	6.3	19.0	
ธันวาคม	5.1	25.7	5.9	23.6	5.9	17.8	
ค่าเฉลี่ย	**4.88**	24.4	**6.59**	26.4	**6.05**	18.2	
หมายเหตุ	สูตรในการหาค่าคะแนนรวม แสดงไว้ในหน้าที่ 83						

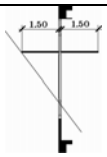
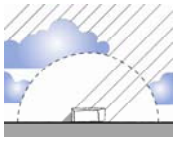


กราฟที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

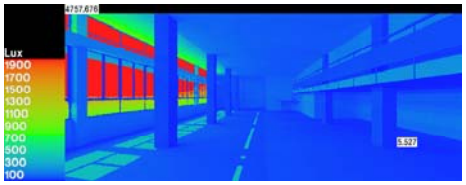
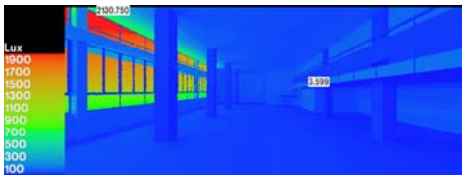
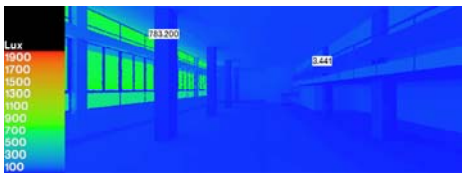
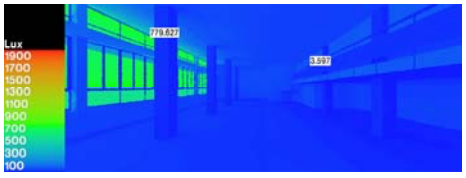
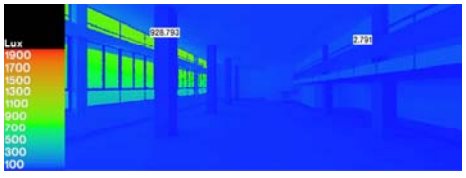
จากการวิเคราะห์คะแนนหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 พบว่าค่าคะแนนความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.88 ค่าคะแนน VCP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.59 ค่าคะแนนความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.05 และคะแนนรวมทุกปัจจัยเท่ากับ 5.74 ผลการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 คะแนนความส่องสว่างมีค่าลดลง แต่ปัจจัยอื่นๆดีขึ้น และผลรวมทุกปัจจัยมีค่าเพิ่มขึ้น 1.77%

5.1.3.5 การจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 (ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในแนวราบระยะยื่น 1.50 ม.) จำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

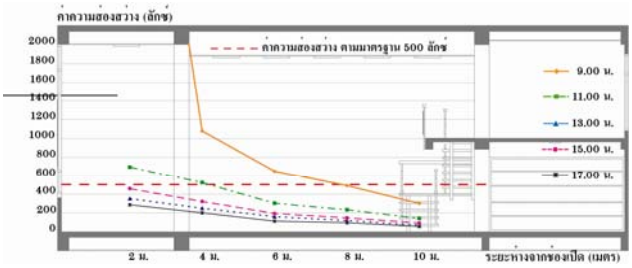
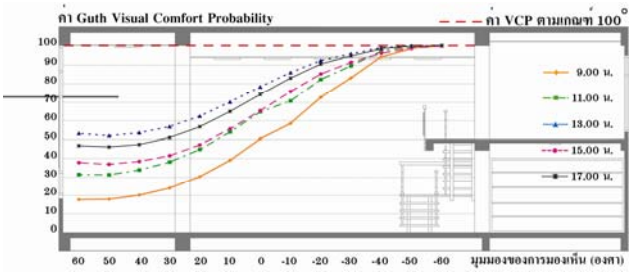
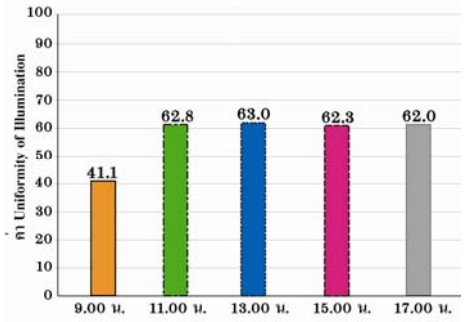
ตารางที่ 92 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มีนาคม	

ตารางที่ 93 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

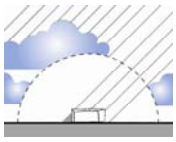
ตารางที่ 94 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 มีนาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 57 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 6146 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1731 378 190 243 และ 151 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 66.8% มีค่าต่ำสุด = 53.9% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 76.5% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 58.2% มีค่าต่ำสุด = 41.1% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 63.0% ที่เวลา 13:00 น.

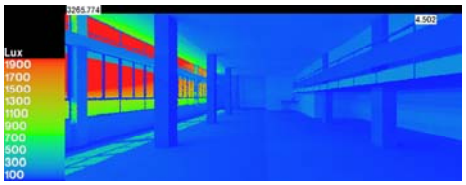
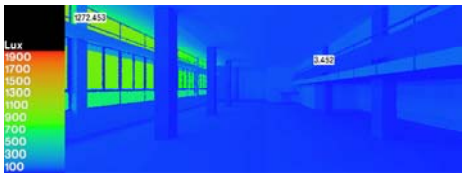
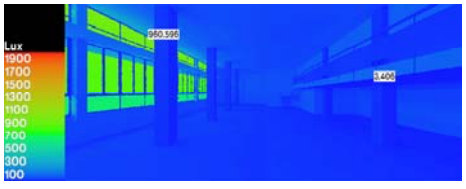
ตารางที่ 95 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6146	692	351	458	286	2.9	9.2	6.3	9.0	4.7
4 ม.	1074	522	249	321	201	7.9	9.9	4.0	5.5	3.0
6 ม.	647	303	161	194	113	9.4	5.1	2.2	2.9	1.3
8 ม.	490	233	120	148	96	9.8	3.7	1.4	2.0	1.0
10 ม.	300	142	69	93	57	5.0	1.8	0.7	0.9	0.6
					คะแนนเฉลี่ย	7.0	5.9	2.9	4.0	2.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.4				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.6	99.9	99.9	99.6	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	98.5	99.4	99.7	98.6	99.5	9.9	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	94.1	97.2	98.8	96.1	98.4	9.4	9.7	9.9	9.6	9.8
-30	82.7	89.2	95.8	91.1	94.6	8.3	8.9	9.6	9.1	9.5
-20	72.2	81.8	92.0	84.8	90.2	7.2	8.2	9.2	8.5	9.0
-10	58.1	70.2	85.6	75.3	82.6	5.8	7.0	8.6	7.5	8.3
0	49.9	64.3	77.8	64.9	73.7	5.0	6.4	7.8	6.5	7.4
10	38.4	53.5	69.6	55.1	64.5	3.8	5.4	7.0	5.5	6.5
20	29.6	44.3	62.0	46.7	56.3	3.0	4.4	6.2	4.7	5.6
30	23.4	37.5	56.4	40.9	50.5	2.3	3.8	5.6	4.1	5.1
40	19.5	33.2	53.1	37.8	46.9	2.0	3.3	5.3	3.8	4.7
50	17.3	30.6	51.5	36.3	45.6	1.7	3.1	5.2	3.6	4.6
60	17.1	30.7	52.7	37.2	46.3	1.7	3.1	5.3	3.7	4.6
					คะแนนเฉลี่ย	5.4	6.4	7.7	6.6	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.7				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	41.1	62.8	63	62.3	62	4.1	6.3	6.3	6.2	6.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

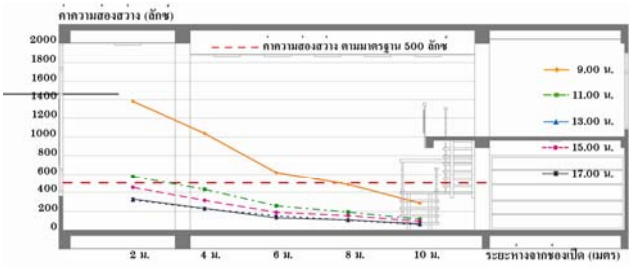
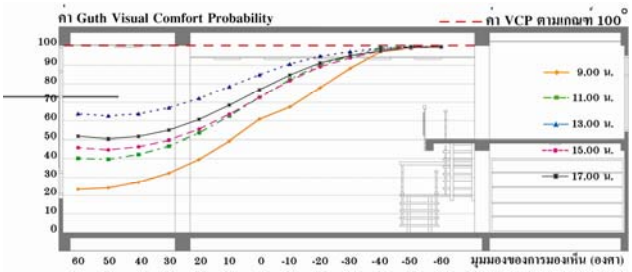
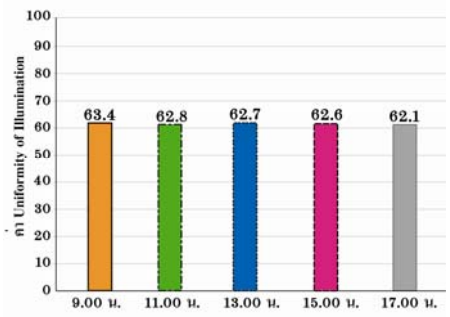
ตารางที่ 96 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 มิถุนายน	

ตารางที่ 97 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มิถุนายน

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

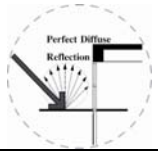
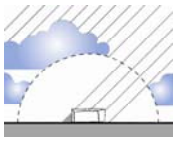
ตารางที่ 98 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง หิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการจำลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 61 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 13:00 น.ค่าสูงสุด 1375 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 760 314 174 242 และ 174 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 72.5% มีค่าต่ำสุด = 60.5% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 82.8% ที่เวลา 13:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 62.7% มีค่าต่ำสุด = 62.1% ที่เวลา 17:00 น. และมีค่าสูงสุด = 63.4% ที่เวลา 9:00 น.

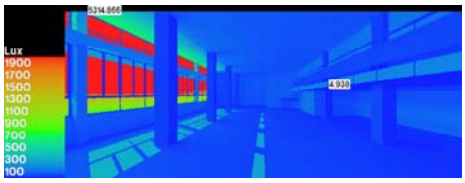
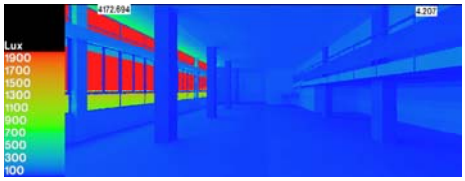
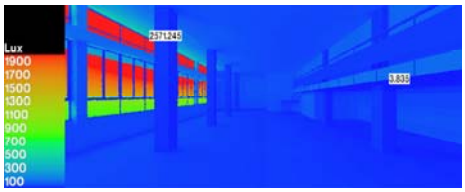
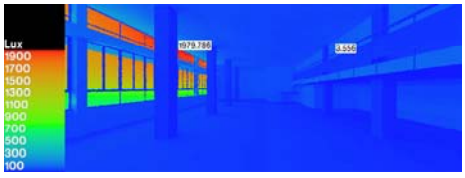
ตารางที่ 99 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1375	573	322	455	330	7.3	9.7	5.6	8.9	5.8
4 ม.	1034	434	227	316	231	7.9	8.4	3.5	5.4	3.6
6 ม.	617	258	153	190	131	9.5	4.2	2.1	2.8	1.6
8 ม.	487	192	105	154	110	9.7	2.8	1.1	2.1	1.2
10 ม.	287	115	61	94	67	4.7	1.3	0.6	0.9	0.7
คะแนนเฉลี่ย						7.8	5.3	2.6	4.0	2.6
คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา						4.5				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	100.0	100.0	99.9	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.6	99.9	99.9	99.5	99.7	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	97.6	99.3	99.1	98.1	98.0	9.8	9.9	9.9	9.8	9.8
-30	88.6	95.1	97.6	94.3	95.5	8.9	9.5	9.8	9.4	9.6
-20	78.0	90.5	95.2	89.4	91.5	7.8	9.1	9.5	8.9	9.2
-10	67.5	82.5	90.9	81.8	84.9	6.8	8.3	9.1	8.2	8.5
0	61.0	72.7	85.1	72.7	76.9	6.1	7.3	8.5	7.3	7.7
10	49.3	62.6	78.6	63.6	68.5	4.9	6.3	7.9	6.4	6.9
20	39.4	53.5	72.2	55.5	60.8	3.9	5.4	7.2	5.6	6.1
30	32.0	46.6	67.1	49.7	55.0	3.2	4.7	6.7	5.0	5.5
40	27.0	42.1	63.8	46.3	51.6	2.7	4.2	6.4	4.6	5.2
50	23.9	39.5	62.7	44.6	50.4	2.4	4.0	6.3	4.5	5.0
60	23.1	40.0	63.8	45.8	51.7	2.3	4.0	6.4	4.6	5.2
คะแนนเฉลี่ย						6.1	7.1	8.3	7.2	7.6
คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา						7.3				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	63.4	62.8	62.7	62.6	62.1	6.3	6.3	6.3	6.3	6.2
คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา						6.3				

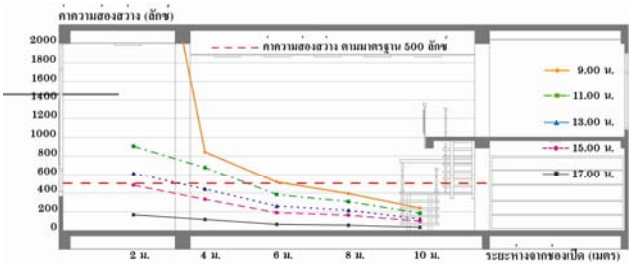
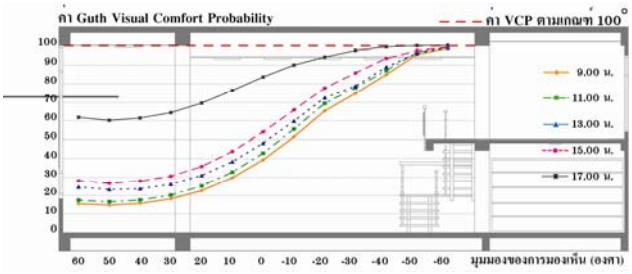
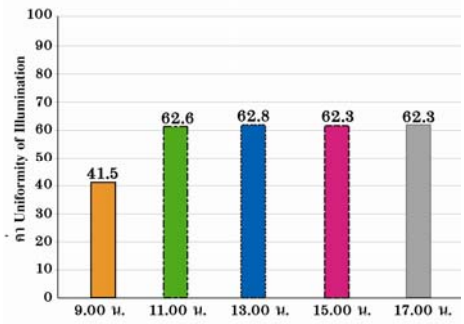
ตารางที่ 100 แสดงการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	วัสดุหิ้งสะท้อนแสง	วันที่ และสภาพท้องฟ้า	ช่วงเวลา
		 21 ธันวาคม	

ตารางที่ 101 แสดงสภาพจำลองภายในห้องอ่านหนังสือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 ธันวาคม

เวลา	ภาพ Image (Human Sensitivity)	ภาพใน Mode ของ (False Color)
9:00 น.		
11:00 น.		
13:00 น.		
15:00 น.		
17:00 น.		

ตารางที่ 102 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	สรุปผลการทดลอง
1. ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) 	ค่าความส่องสว่าง ค่าต่ำสุด 34 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ที่เวลา 17:00 น.ค่าสูงสุด 4654 ลักซ์ ที่ตำแหน่ง 2 เมตร ที่เวลา 9:00 น.โดยเฉลี่ยมีค่า 1328 489 330 253 และ 89 ลักซ์ ณ เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น. ตามลำดับ
2. ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) 	ค่า VCP โดยเฉลี่ยของมุมมองทั้งหมด (-60˚ ถึง 60˚) ทุกช่วงเวลามีค่า = 59.1% มีค่าต่ำสุด = 48% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 81.1% ที่เวลา 17:00 น.
3. ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination) 	ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยเฉลี่ยทุกช่วงเวลามีค่า = 58.3% มีค่าต่ำสุด = 41.5% ที่เวลา 9:00 น. และมีค่าสูงสุด = 62.8% ที่เวลา 13:00 น.

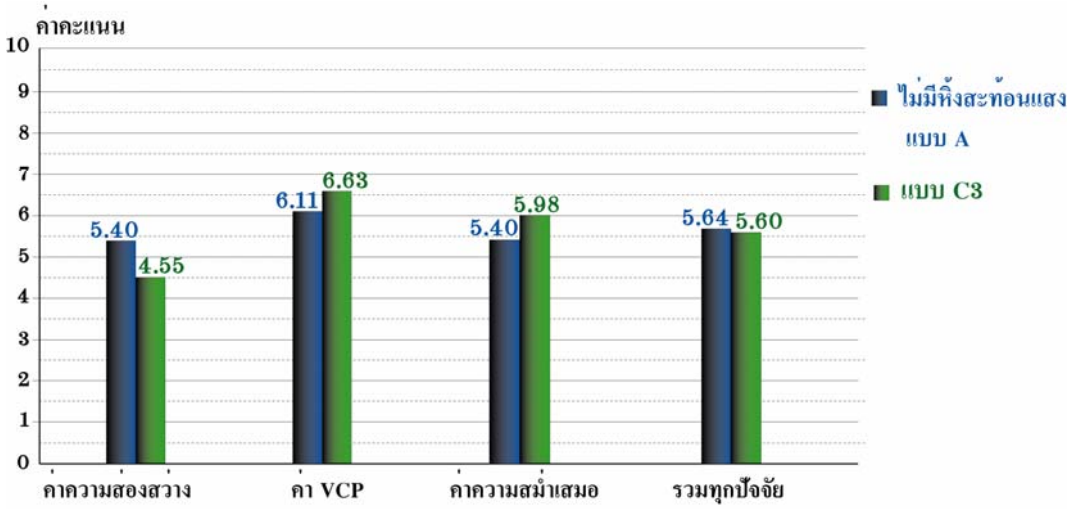
ตารางที่ 103 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4654	901	611	482	167	3.7	8.4	9.6	9.6	2.3
4 ม.	839	673	441	331	118	8.6	9.3	8.5	5.8	1.4
6 ม.	517	382	259	190	67	9.9	7.1	4.2	2.8	0.7
8 ม.	392	307	215	163	57	7.3	5.2	3.3	2.3	0.6
10 ม.	238	184	123	100	34	3.8	2.7	1.5	1.0	0.3
					คะแนนเฉลี่ย	6.7	6.5	5.4	4.3	1.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.8				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	98.5	99.0	98.7	99.2	100.0	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0
-50	95.2	96.4	95.8	97.2	99.8	9.5	9.6	9.6	9.7	10.0
-40	84.5	86.7	88.5	93.1	99.1	8.5	8.7	8.9	9.3	9.9
-30	74.4	77.4	78.3	85.3	97.3	7.4	7.7	7.8	8.5	9.7
-20	65.0	69.0	72.0	77.2	93.8	6.5	6.9	7.2	7.7	9.4
-10	51.3	55.3	59.6	65.5	89.6	5.1	5.5	6.0	6.6	9.7
0	39.2	42.7	48.0	53.8	83.2	3.9	4.3	4.8	5.4	9.4
10	29.6	32.6	38.2	43.6	76.0	3.0	3.3	3.8	4.4	9.0
20	22.6	25.1	30.8	35.6	69.2	2.3	2.5	3.1	3.6	8.3
30	18.2	20.2	26.1	30.4	64.1	1.8	2.0	2.6	3.0	7.6
40	15.7	17.5	23.6	27.7	61.2	1.6	1.8	2.4	2.8	6.9
50	14.8	16.6	23.3	26.6	60.0	1.5	1.7	2.3	2.7	6.4
60	15.5	17.4	24.6	27.8	61.6	1.6	1.7	2.5	2.8	6.1
					คะแนนเฉลี่ย	4.8	5.0	5.4	5.9	8.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	41.5	62.6	62.8	62.3	62.3	4.2	6.3	6.3	6.2	6.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

5.1.3.6 เปรียบเทียบผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

ตารางที่ 104 แสดงคะแนนการวิเคราะห์ผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3

เดือนที่จำลอง	คะแนนจากการวิเคราะห์						คะแนนรวมทุกปัจจัย
	ค่าความส่องสว่าง		ค่า VCP		ค่าความสม่ำเสมอ		
	คะแนน(M1)	F1 x M1	คะแนน(M2)	F2 x M2	คะแนน(M3)	F3 x M3	
มีนาคม	4.4	22.0	6.7	26.7	5.8	17.5	**5.60**
มิถุนายน	4.5	22.3	7.3	29.0	6.3	18.8	
ธันวาคม	4.8	23.9	6.0	23.8	5.8	17.5	
ค่าเฉลี่ย	**4.55**	22.7	**6.63**	26.5	**5.98**	17.9	
หมายเหตุ	สูตรในการหาค่าคะแนนรวม แสดงไว้ในหน้าที่ 83						



กราฟที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

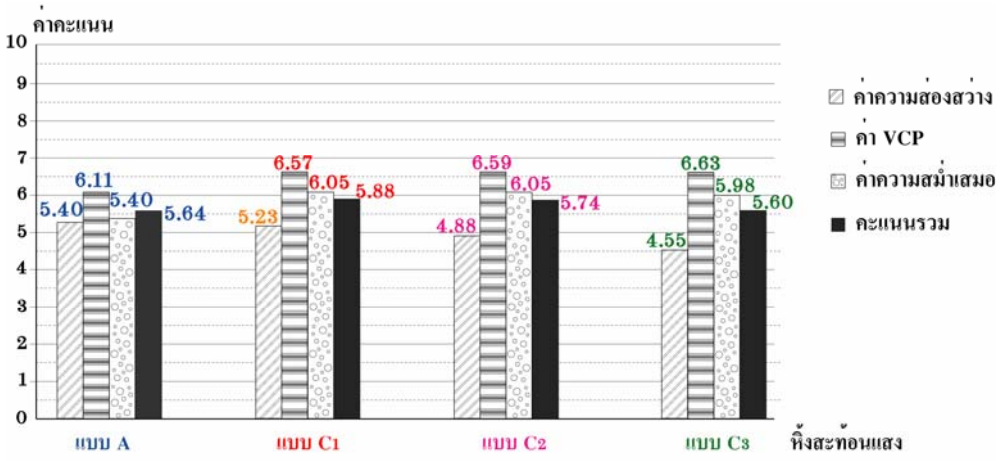
จากการเปรียบเทียบคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 พบว่าค่าคะแนนความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ค่าคะแนน VCP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.63 ค่าคะแนนความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.98 และคะแนนรวมทุกปัจจัยมีค่าเท่ากับ 5.60 ผลการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 คะแนนความส่องสว่างมีค่าลดลง แต่ปัจจัยอื่นๆดีขึ้น ผลรวมลดลง 0.71%

5.1.3.7 เปรียบเทียบค่าคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 C2 และ C3

จากการเปรียบเทียบค่าคะแนนที่พิจารณาทั้งสามปัจจัย คือ ค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 3 แบบ คือ C1 C2 และ C3 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ได้คะแนนรวมของทุกปัจจัยที่สูงสุด คือ 5.88 รองลงมาคือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ C2 5.74 คะแนน และหิ้งสะท้อนแสงแบบ C3 5.60 คะแนน ดังตารางที่ 105

ตารางที่ 105 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ C1 C2 และ C3

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ปัจจัยที่ทำการศึกษา			คะแนนรวมที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว
	ความส่องสว่าง	ค่า VCP	ความสม่ำเสมอ	
ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ A	5.40	6.11	5.40	5.64
ภายนอกแนวราบ ภายในแนวราบ 0.50 ม. **(แบบ C1)**	**5.23**	**6.57**	**6.05**	**5.88**
ภายนอกแนวราบ ภายในแนวราบ 1.00 ม. **(แบบ C2)**	4.88	6.59	6.05	5.74
ภายนอกแนวราบ ภายในแนวราบ 1.50 ม. **(แบบ C3)**	4.55	6.63	5.98	5.60



กราฟที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 1.00 และ 1.50 ม. กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

จากการเปรียบเทียบแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 C2 และ C3 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 มีคะแนนความส่องสว่างมีค่าลดลง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมีคะแนนที่ดีขึ้น โดยมีคะแนนรวมที่เพิ่มขึ้น 4.25%

โดยระยะยื่นภายในของหิ้งสะท้อนแสงแบบ C1 ภายในระยะยื่น 0.50 ม. ซึ่งเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 4 5 6 7 และ 8 ต่อไป

5.1.4.1 หิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 106 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6242	984	490	553	341	2.9	8.1	9.8	9.8	6.0
4 ม.	1583	860	381	477	307	6.8	8.6	7.0	9.4	5.2
6 ม.	982	467	229	278	172	8.1	9.2	3.6	4.6	2.4
8 ม.	591	288	153	184	120	9.6	4.8	2.1	2.7	1.4
10 ม.	363	171	79	110	71	6.6	2.4	0.8	1.2	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.8	6.6	4.6	5.5	3.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.7	99.7	99.9	99.5	99.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	98.7	98.7	99.6	98.1	99.0	9.9	9.9	10.0	9.8	9.9
-40	93.3	95.3	98.5	94.7	96.1	9.3	9.5	9.9	9.5	9.6
-30	81.1	88.1	94.7	88.8	91.8	8.1	8.8	9.5	8.9	9.2
-20	69.0	80.2	90.5	82.0	87.2	6.9	8.0	9.1	8.2	8.7
-10	57.2	68.9	83.3	71.8	79.1	5.7	6.9	8.3	7.2	7.9
0	46.3	57.2	76.7	61.2	70.1	4.6	5.7	7.7	6.1	7.0
10	35.1	46.7	68.2	51.5	61.4	3.5	4.7	6.8	5.2	6.1
20	26.8	38.4	60.3	43.7	54.0	2.7	3.8	6.0	4.4	5.4
30	21.1	32.7	54.3	38.4	49.1	2.1	3.3	5.4	3.8	4.9
40	17.8	29.6	50.8	35.7	46.6	1.8	3.0	5.1	3.6	4.7
50	16.1	28.3	48.8	34.7	46.5	1.6	2.8	4.9	3.5	4.7
60	16.2	29.5	49.5	36.1	48.7	1.6	3.0	5.0	3.6	4.9
					คะแนนเฉลี่ย	5.2	6.1	7.5	6.4	7.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.4	61	61.4	62.9	63.3	4.4	6.1	6.1	6.3	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 107 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1602	830	456	578	391	6.8	8.7	8.9	9.7	7.3
4 ม.	6414	705	337	468	351	2.8	9.2	5.9	9.2	6.3
6 ม.	963	395	204	276	194	8.1	7.4	3.1	4.5	2.9
8 ม.	572	241	128	180	137	9.7	3.8	1.6	2.6	1.7
10 ม.	349	139	74	111	83	6.2	1.8	0.7	1.2	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.7	6.2	4.0	5.4	3.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.2				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	100.0	100.0	99.8	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.6	99.9	100.0	99.3	99.6	10.0	10.0	10.0	9.9	10.0
-40	94.5	99.2	100.0	97.6	97.8	9.5	9.9	10.0	9.8	9.8
-30	87.7	95.3	98.8	93.3	94.6	8.8	9.5	9.9	9.3	9.5
-20	78.2	90.5	97.2	88.0	90.6	7.8	9.1	9.7	8.8	9.1
-10	66.6	82.5	93.5	79.5	83.5	6.7	8.3	9.4	8.0	8.4
0	54.1	75.0	89.5	71.8	75.1	5.4	7.5	9.0	7.2	7.5
10	42.9	65.3	82.9	62.5	66.5	4.3	6.5	8.3	6.3	6.7
20	34.0	56.4	75.6	54.1	58.7	3.4	5.6	7.6	5.4	5.9
30	27.7	49.3	68.6	48.0	53.0	2.8	4.9	6.9	4.8	5.3
40	23.8	44.8	63.1	44.3	49.8	2.4	4.5	6.3	4.4	5.0
50	21.8	42.0	59.0	42.4	49.0	2.2	4.2	5.9	4.2	4.9
60	22.0	42.2	57.9	43.1	50.6	2.2	4.2	5.8	4.3	5.1
					คะแนนเฉลี่ย	5.8	7.2	8.4	7.1	7.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.2				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09.00	11.00	13.00	15.00	17.00	09.00	11.00	13.00	15.00	17.00
	44	60.9	60.6	62.2	63.3	4.4	6.1	6.1	6.3	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 108 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4734	1166	772	567	199	3.6	7.7	8.9	9.7	3.0
4 ม.	1233	1083	681	508	186	7.5	7.8	9.3	10.0	2.7
6 ม.	727	598	385	286	102	9.1	9.6	7.1	4.7	1.0
8 ม.	472	386	258	199	69	9.3	7.2	4.2	3.0	0.7
10 ม.	288	232	150	119	42	4.8	3.6	2.0	1.4	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	7.2	6.3	5.8	1.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.5				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	98.8	98.0	98.3	98.8	99.9	9.9	9.8	9.8	9.9	10.0
-50	96.0	93.9	94.8	96.1	99.6	9.6	9.4	9.5	9.6	10.0
-40	88.3	83.3	86.7	90.9	98.1	8.8	8.3	8.7	9.1	9.8
-30	75.5	73.6	77.4	82.7	95.3	7.6	7.4	7.7	8.3	9.5
-20	64.8	62.0	70.6	74.4	91.9	6.5	6.2	7.1	7.4	9.2
-10	50.4	51.5	58.2	62.6	86.5	5.0	5.2	5.8	6.3	9.5
0	40.9	39.6	46.6	53.7	79.3	4.1	4.0	4.7	5.4	9.2
10	30.7	30.2	37.0	43.9	71.7	3.1	3.0	3.7	4.4	8.7
20	23.3	23.5	29.8	36.4	64.7	2.3	2.4	3.0	3.6	7.9
30	18.6	19.2	25.3	31.6	59.6	1.9	1.9	2.5	3.2	7.2
40	15.8	16.8	23.1	29.3	56.6	1.6	1.7	2.3	2.9	6.5
50	14.4	16.2	22.6	28.4	55.8	1.4	1.6	2.3	2.8	6.0
60	14.8	17.2	24.1	29.7	57.6	1.5	1.7	2.4	3.0	5.7
					คะแนนเฉลี่ย	4.9	4.8	5.3	5.8	8.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.7	62.5	62.6	63.3	63.1	4.5	6.3	6.3	6.3	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

5.1.4.2 หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 109 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6218	974	488	557	344	2.9	8.1	9.7	9.8	6.1
4 ม.	1563	847	376	473	305	6.9	8.6	6.9	9.3	5.1
6 ม.	982	470	225	269	169	8.1	9.3	3.5	4.4	2.4
8 ม.	595	295	149	184	116	9.6	4.9	2.0	2.7	1.3
10 ม.	364	180	80	112	71	6.6	2.6	0.8	1.2	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.8	6.7	4.6	5.5	3.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.7	99.9	99.9	99.6	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	98.6	99.4	99.7	98.6	99.5	9.9	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	94.2	97.2	98.8	96.1	98.4	9.4	9.7	9.9	9.6	9.8
-30	82.9	89.2	95.8	91.1	94.6	8.3	8.9	9.6	9.1	9.5
-20	72.4	81.8	92.0	84.8	90.2	7.2	8.2	9.2	8.5	9.0
-10	58.3	70.2	85.6	75.3	82.6	5.8	7.0	8.6	7.5	8.3
0	47.7	64.3	77.8	64.9	73.7	4.8	6.4	7.8	6.5	7.4
10	36.3	53.5	69.6	55.1	64.5	3.6	5.4	7.0	5.5	6.5
20	27.7	44.3	62.0	46.7	56.3	2.8	4.4	6.2	4.7	5.6
30	21.8	37.5	56.4	40.9	50.5	2.2	3.8	5.6	4.1	5.1
40	18.1	33.2	53.1	37.8	46.9	1.8	3.3	5.3	3.8	4.7
50	16.2	30.6	51.5	36.3	45.6	1.6	3.1	5.2	3.6	4.6
60	16.3	30.7	52.7	37.2	46.3	1.6	3.1	5.3	3.7	4.6
					คะแนนเฉลี่ย	5.3	6.4	7.7	6.6	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.7				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.4	61.6	61.2	62.7	62.9	4.4	6.2	6.1	6.3	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 110 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1557	845	500	567	389	6.9	8.6	10.0	9.7	7.2
4 ม.	6375	707	339	472	350	2.8	9.2	6.0	9.3	6.3
6 ม.	939	395	199	276	198	8.2	7.4	3.0	4.5	3.0
8 ม.	583	250	135	181	134	9.7	4.0	1.7	2.6	1.7
10 ม.	351	138	74	109	82	6.3	1.8	0.7	1.2	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.8	6.2	4.3	5.5	3.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	99.9	100.0	99.9	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.6	99.7	99.9	99.8	99.7	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	97.6	98.6	99.5	98.9	98.9	9.8	9.9	10.0	9.9	9.9
-30	88.6	94.5	97.5	96.7	96.1	8.9	9.5	9.8	9.7	9.6
-20	78.0	89.3	94.8	93.2	92.2	7.8	8.9	9.5	9.3	9.2
-10	67.5	82.8	91.0	88.5	85.8	6.8	8.3	9.1	8.9	8.6
0	61.0	73.8	86.0	82.7	79.3	6.1	7.4	8.6	8.3	7.9
10	49.3	64.5	79.5	75.4	71.0	4.9	6.5	8.0	7.5	7.1
20	39.4	56.2	73.0	68.5	63.2	3.9	5.6	7.3	6.9	6.3
30	32.0	49.9	67.6	63.2	57.2	3.2	5.0	6.8	6.3	5.7
40	27.0	46.1	64.1	59.9	53.4	2.7	4.6	6.4	6.0	5.3
50	23.9	44.1	61.9	58.5	51.2	2.4	4.4	6.2	5.9	5.1
60	23.1	44.8	62.2	59.7	51.7	2.3	4.5	6.2	6.0	5.2
					คะแนนเฉลี่ย	6.1	7.3	8.3	8.0	7.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.9	60.9	59.3	62.4	63.2	4.4	6.1	5.9	6.2	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 111 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4709	1158	761	556	198	3.6	7.7	9.0	9.8	3.0
4 ม.	1216	1070	674	507	185	7.6	7.9	9.3	10.0	2.7
6 ม.	754	598	386	287	102	9.0	9.6	7.2	4.7	1.0
8 ม.	475	389	260	202	71	9.4	7.2	4.2	3.0	0.7
10 ม.	289	233	155	121	43	4.8	3.7	2.1	1.4	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	7.2	6.3	5.8	1.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.3	97.5	98.6	98.6	100.0	9.9	9.8	9.9	9.9	10.0
-50	97.4	92.8	95.5	95.6	99.8	9.7	9.3	9.6	9.6	10.0
-40	90.0	82.4	87.1	88.7	99.0	9.0	8.2	8.7	8.9	9.9
-30	78.2	71.9	77.7	80.8	96.8	7.8	7.2	7.8	8.1	9.7
-20	67.0	62.9	70.6	73.5	93.6	6.7	6.3	7.1	7.4	9.4
-10	52.3	49.4	58.0	64.2	88.0	5.2	4.9	5.8	6.4	9.7
0	39.2	39.8	46.3	53.4	80.8	3.9	4.0	4.6	5.3	9.4
10	28.8	30.3	36.6	44.1	73.0	2.9	3.0	3.7	4.4	8.8
20	21.4	23.5	29.6	36.9	65.7	2.1	2.4	3.0	3.7	8.1
30	16.7	19.3	25.0	32.3	60.3	1.7	1.9	2.5	3.2	7.3
40	14.1	17.0	22.7	30.0	57.2	1.4	1.7	2.3	3.0	6.6
50	12.8	16.4	22.4	29.9	56.2	1.3	1.6	2.2	3.0	6.0
60	13.4	17.3	23.8	31.8	57.8	1.3	1.7	2.4	3.2	5.7
					คะแนนเฉลี่ย	4.9	4.8	5.3	5.8	8.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.8	62.7	63.1	63.8	63.5	4.5	6.3	6.3	6.4	6.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				

5.1.4.3 หิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 112 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6187	971	490	454	335	2.9	8.1	9.8	8.9	5.9
4 ม.	5847	840	376	471	303	3.1	8.6	6.9	9.3	5.1
6 ม.	982	484	223	280	170	8.1	9.6	3.5	4.6	2.4
8 ม.	597	293	142	184	117	9.6	4.9	1.8	2.7	1.3
10 ม.	368	179	80	110	71	6.7	2.6	0.8	1.2	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.1	6.8	4.6	5.3	3.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.2				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.8	99.8	99.9	99.4	99.8	10.0	10.0	10.0	9.9	10.0
-50	99.1	98.9	99.6	97.8	99.2	9.9	9.9	10.0	9.8	9.9
-40	93.9	94.0	98.6	94.1	96.6	9.4	9.4	9.9	9.4	9.7
-30	83.1	88.0	94.9	88.0	92.9	8.3	8.8	9.5	8.8	9.3
-20	70.3	81.6	90.6	81.0	88.4	7.0	8.2	9.1	8.1	8.8
-10	58.4	70.7	83.5	70.7	80.6	5.8	7.1	8.4	7.1	8.1
0	45.0	59.3	76.7	60.1	71.8	4.5	5.9	7.7	6.0	7.2
10	33.9	48.8	68.3	50.4	63.1	3.4	4.9	6.8	5.0	6.3
20	25.7	40.3	60.5	42.7	55.5	2.6	4.0	6.1	4.3	5.6
30	20.2	34.2	54.7	37.6	50.2	2.0	3.4	5.5	3.8	5.0
40	17.0	30.9	51.3	35.1	47.3	1.7	3.1	5.1	3.5	4.7
50	15.4	29.6	49.5	34.3	46.6	1.5	3.0	5.0	3.4	4.7
60	15.8	30.5	50.5	35.7	48.7	1.6	3.1	5.1	3.6	4.9
					คะแนนเฉลี่ย	5.2	6.2	7.5	6.4	7.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	48.7	61.8	60.8	65.1	63.3	4.9	6.2	6.1	6.5	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00น.

ตารางที่ 113 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1553	829	446	544	385	6.9	8.7	8.7	9.8	7.1
4 ม.	6371	698	336	469	349	2.8	9.2	5.9	9.2	6.2
6 ม.	944	390	204	276	194	8.2	7.3	3.1	4.5	2.9
8 ม.	579	236	137	182	134	9.7	3.7	1.7	2.6	1.7
10 ม.	349	141	73	113	82	6.2	1.8	0.7	1.3	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.8	6.1	4.0	5.5	3.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.2				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	100.0	100.0	99.8	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.6	99.9	100.0	99.2	99.7	10.0	10.0	10.0	9.9	10.0
-40	97.1	99.6	99.8	97.3	98.1	9.7	10.0	10.0	9.7	9.8
-30	88.1	94.1	98.4	92.6	95.1	8.8	9.4	9.8	9.3	9.5
-20	78.9	86.1	96.2	87.1	91.2	7.9	8.6	9.6	8.7	9.1
-10	66.2	74.6	92.1	78.6	84.3	6.6	7.5	9.2	7.9	8.4
0	57.6	68.4	86.3	69.2	76.0	5.8	6.8	8.6	6.9	7.6
10	45.9	56.5	79.5	60.0	67.5	4.6	5.7	8.0	6.0	6.8
20	36.3	46.1	72.5	52.1	59.9	3.6	4.6	7.3	5.2	6.0
30	29.5	38.0	66.7	46.6	54.3	3.0	3.8	6.7	4.7	5.4
40	25.0	32.4	63.0	43.7	51.3	2.5	3.2	6.3	4.4	5.1
50	22.3	29.2	60.8	42.5	50.7	2.2	2.9	6.1	4.3	5.1
60	21.8	29.4	61.5	43.7	52.7	2.2	2.9	6.2	4.4	5.3
					คะแนนเฉลี่ย	5.9	6.6	8.3	7.0	7.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.1				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.9	60.8	61.3	63.2	63.3	4.4	6.1	6.1	6.3	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 114 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 ในวันที่ 21 ธันวาคม

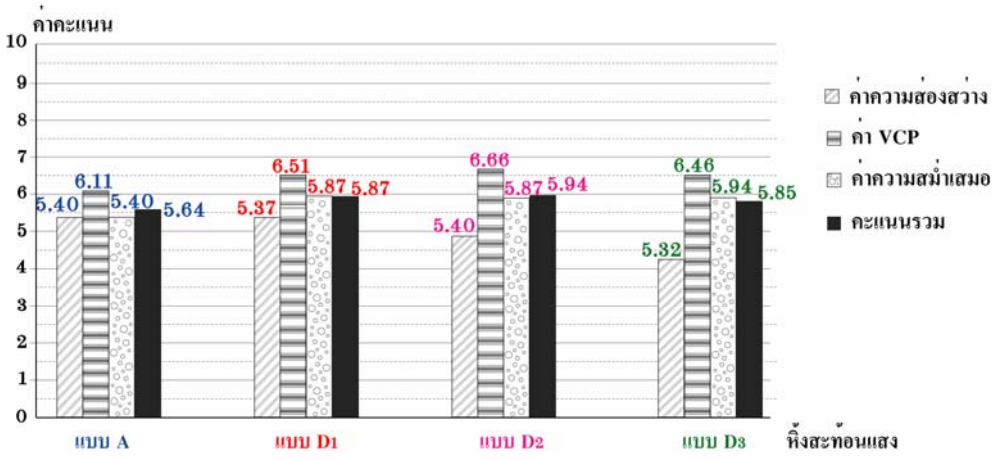
ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4694	1149	750	551	198	3.7	7.7	9.0	9.8	3.0
4 ม.	1207	1059	676	504	183	7.6	7.9	9.3	10.0	2.7
6 ม.	767	601	384	285	102	8.9	9.6	7.1	4.7	1.0
8 ม.	483	404	261	198	70	9.6	7.6	4.2	3.0	0.7
10 ม.	297	236	150	119	43	4.9	3.7	2.0	1.4	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	7.3	6.3	5.8	1.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	98.8	98.2	98.5	99.0	99.9	9.9	9.8	9.9	9.9	10.0
-50	96.0	94.1	95.0	96.4	99.8	9.6	9.4	9.5	9.6	10.0
-40	87.8	83.2	87.6	90.1	98.5	8.8	8.3	8.8	9.0	9.9
-30	76.2	69.9	76.6	80.5	96.3	7.6	7.0	7.7	8.1	9.6
-20	64.9	61.4	70.1	73.8	92.1	6.5	6.1	7.0	7.4	9.2
-10	50.3	50.8	57.1	61.5	87.0	5.0	5.1	5.7	6.2	9.6
0	37.4	38.5	48.0	55.0	79.5	3.7	3.9	4.8	5.5	9.2
10	27.4	28.8	38.0	45.0	71.4	2.7	2.9	3.8	4.5	8.7
20	20.4	21.9	30.4	37.0	64.0	2.0	2.2	3.0	3.7	8.0
30	15.9	17.6	25.6	31.7	58.4	1.6	1.8	2.6	3.2	7.1
40	13.5	15.2	23.1	28.8	55.3	1.4	1.5	2.3	2.9	6.4
50	12.4	14.5	22.3	28.0	54.4	1.2	1.5	2.2	2.8	5.8
60	13.0	15.4	23.5	29.1	56.1	1.3	1.5	2.4	2.9	5.5
					คะแนนเฉลี่ย	4.7	4.7	5.4	5.8	8.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	45	63.2	63.1	63.7	63.5	4.5	6.3	6.3	6.4	6.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				

5.1.4.4 เปรียบเทียบค่าคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 D2 และ D3

จากการเปรียบเทียบค่าคะแนนที่พิจารณาทั้งสามปัจจัย คือ ค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของหิ้งสะท้อนแสง ทั้ง 3 แบบ คือ D1 D2 และ D3 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ได้ค่าคะแนนที่สูงสุด คือ 5.94 รองลงมาคือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 5.87 คะแนน และหิ้งสะท้อนแสงแบบ D3 5.85 คะแนน ดังตารางที่ 115

ตารางที่ 115 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ D1 D2 และ D3

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ปัจจัยที่ทำการศึกษา			คะแนนรวมที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว
	ความส่องสว่าง	ค่า VCP	ความสม่ำเสมอ	
ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ A	5.40	6.11	5.40	5.64
ภายนอกแนวราบ ภายในเอียงลง 15° **(แบบ D1)**	5.37	6.51	5.87	5.87
ภายนอกแนวราบ ภายในเอียงลง 25° (แบบ D2)	**5.40**	**6.66**	**5.87**	**5.94**
ภายนอกแนวราบ ภายในเอียงลง 35° **(แบบ D3)**	5.32	6.46	5.94	5.85



กราฟที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของการจำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม. มุมเอียงลง 15° 25° และ 35° กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

จากการเปรียบเทียบแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับหิ้งสะท้อนแสงแบบ D1 D2 และ D3 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 มีปริมาณแสงสว่างที่เพิ่มขึ้น ลดปัญหาแสงบาดตา และทำให้ภายในมีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอดีขึ้น โดยรวมมีคะแนนที่เพิ่มขึ้น 5.32%

โดยค่ามุมเอียงลงของหิ้งสะท้อนแสงภายในแบบ D2 ซึ่งเป็นมุมเอียงลง 25 ° ซึ่งเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 7 และ 8 ต่อไป

5.1.5.1 หิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 116 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1220	692	367	439	260	7.6	9.2	6.7	8.5	4.2
4 ม.	1052	591	280	343	215	7.9	9.6	4.6	6.1	3.3
6 ม.	858	418	212	255	159	8.6	8.0	3.2	4.1	2.2
8 ม.	551	270	131	176	110	9.8	4.4	1.6	2.5	1.2
10 ม.	324	151	72	102	66	5.6	2.0	0.7	1.0	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	7.9	6.6	3.4	4.4	2.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.9				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.5	99.8	100.0	99.7	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	98.2	99.1	99.8	98.8	99.6	9.8	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	89.7	93.9	97.9	94.5	97.4	9.0	9.4	9.8	9.5	9.7
-30	79.8	87.3	95.1	87.9	94.1	8.0	8.7	9.5	8.8	9.4
-20	71.0	80.7	90.7	83.2	89.5	7.1	8.1	9.1	8.3	9.0
-10	57.3	69.5	83.6	73.1	82.7	5.7	7.0	8.4	7.3	8.3
0	49.2	57.7	75.2	62.2	73.8	4.9	5.8	7.5	6.2	7.4
10	38.2	46.9	66.4	52.0	64.8	3.8	4.7	6.6	5.2	6.5
20	29.6	38.3	58.5	43.7	56.7	3.0	3.8	5.9	4.4	5.7
30	23.7	32.1	52.6	37.7	50.6	2.4	3.2	5.3	3.8	5.1
40	20.0	28.5	49.0	34.4	47.1	2.0	2.9	4.9	3.4	4.7
50	18.2	27.1	48.0	33.3	45.9	1.8	2.7	4.8	3.3	4.6
60	18.1	27.7	49.2	34.6	47.2	1.8	2.8	4.9	3.5	4.7
					คะแนนเฉลี่ย	5.3	6.1	7.4	6.4	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	68.7	65.6	64.5	66.4	67.5	6.9	6.6	6.5	6.6	6.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.7				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 117 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1219	590	343	429	301	7.6	9.6	6.1	8.2	5.0
4 ม.	5874	490	256	346	248	3.1	9.8	4.1	6.2	4.0
6 ม.	835	348	184	258	183	8.7	6.2	2.7	4.2	2.7
8 ม.	545	224	121	171	128	9.8	3.5	1.4	2.4	1.6
10 ม.	317	124	67	103	77	5.4	1.5	0.7	1.1	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	6.1	3.0	4.4	2.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.6				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.8	100.0	100.0	99.9	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.3	99.8	99.9	99.6	99.7	9.9	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	94.2	97.9	99.3	97.1	97.9	9.4	9.8	9.9	9.7	9.8
-30	87.4	94.9	98.1	93.5	95.1	8.7	9.5	9.8	9.4	9.5
-20	77.6	89.3	95.2	88.1	91.3	7.8	8.9	9.5	8.8	9.1
-10	67.0	81.1	90.6	79.6	84.4	6.7	8.1	9.1	8.0	8.4
0	54.6	71.5	84.5	69.9	76.0	5.5	7.2	8.5	7.0	7.6
10	43.6	61.7	77.5	60.3	67.2	4.4	6.2	7.8	6.0	6.7
20	34.8	53.0	70.7	51.9	59.2	3.5	5.3	7.1	5.2	5.9
30	28.6	46.5	65.1	45.7	53.1	2.9	4.7	6.5	4.6	5.3
40	24.8	42.3	61.4	42.0	49.4	2.5	4.2	6.1	4.2	4.9
50	23.2	40.6	60.0	40.8	48.2	2.3	4.1	6.0	4.1	4.8
60	23.6	41.2	60.8	41.9	49.3	2.4	4.1	6.1	4.2	4.9
					คะแนนเฉลี่ย	5.8	7.1	8.2	7.0	7.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.1				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.1	65.2	64	66.6	67.6	4.3	6.5	6.4	6.7	6.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.1				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 118 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4569	855	573	434	152	3.7	8.6	9.7	8.4	2.0
4 ม.	815	719	471	359	128	8.7	9.1	9.3	6.5	1.6
6 ม.	639	533	349	267	94	9.4	9.9	6.2	4.3	0.9
8 ม.	442	359	234	187	65	8.6	6.5	3.7	2.7	0.7
10 ม.	258	209	139	108	38	4.2	3.2	1.8	1.2	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	7.4	6.1	4.6	1.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.2				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	98.8	97.5	98.5	99.3	100.0	9.9	9.8	9.9	9.9	10.0
-50	95.9	92.6	95.3	97.2	99.9	9.6	9.3	9.5	9.7	10.0
-40	84.8	81.5	87.4	90.7	98.7	8.5	8.2	8.7	9.1	9.9
-30	73.9	70.4	78.1	81.3	96.7	7.4	7.0	7.8	8.1	9.7
-20	62.3	61.5	72.7	76.7	93.5	6.2	6.2	7.3	7.7	9.4
-10	52.8	50.9	60.7	64.8	88.8	5.3	5.1	6.1	6.5	9.7
0	40.3	41.2	51.4	55.6	82.1	4.0	4.1	5.1	5.6	9.4
10	30.4	31.7	41.7	45.3	74.7	3.0	3.2	4.2	4.5	8.9
20	23.2	24.8	34.2	37.2	67.8	2.3	2.5	3.4	3.7	8.2
30	18.5	20.4	29.2	31.5	62.3	1.9	2.0	2.9	3.2	7.5
40	15.9	18.0	26.5	28.4	59.1	1.6	1.8	2.7	2.8	6.8
50	14.9	17.2	25.7	27.4	58.4	1.5	1.7	2.6	2.7	6.2
60	15.4	18.0	26.9	28.4	60.0	1.5	1.8	2.7	2.8	5.9
					คะแนนเฉลี่ย	4.8	4.8	5.6	5.9	8.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	42.6	67.2	66.9	67.5	67.4	4.3	6.7	6.7	6.8	6.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.2				

5.1.5.2 หิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 119 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1106	614	323	396	234	7.8	9.5	5.6	7.4	3.7
4 ม.	950	538	256	318	194	8.2	9.8	4.1	5.5	2.9
6 ม.	792	388	177	247	148	8.8	7.2	2.5	3.9	2.0
8 ม.	515	255	119	166	104	9.9	4.1	1.4	2.3	1.1
10 ม.	297	143	70	96	60	4.9	1.9	0.7	1.0	0.6
					คะแนนเฉลี่ย	7.9	6.5	2.9	4.0	2.0
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.7				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.5	99.8	99.9	99.7	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	98.0	99.0	99.7	98.7	99.6	9.8	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	90.0	94.2	97.9	94.2	97.3	9.0	9.4	9.8	9.4	9.7
-30	80.3	87.4	95.1	88.6	93.8	8.0	8.7	9.5	8.9	9.4
-20	71.6	81.3	90.6	82.4	88.9	7.2	8.1	9.1	8.2	8.9
-10	58.0	70.2	83.5	72.0	82.4	5.8	7.0	8.4	7.2	8.2
0	47.5	58.6	76.6	61.1	73.5	4.8	5.9	7.7	6.1	7.4
10	36.5	48.1	68.0	51.0	64.3	3.7	4.8	6.8	5.1	6.4
20	28.1	39.5	60.1	42.8	56.1	2.8	4.0	6.0	4.3	5.6
30	22.5	33.4	54.0	37.0	50.0	2.3	3.3	5.4	3.7	5.0
40	19.0	29.9	50.2	33.9	46.5	1.9	3.0	5.0	3.4	4.7
50	17.3	28.5	48.7	33.1	45.3	1.7	2.9	4.9	3.3	4.5
60	17.4	29.5	49.3	34.4	46.6	1.7	3.0	4.9	3.4	4.7
					คะแนนเฉลี่ย	5.3	6.1	7.5	6.4	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	69.1	66.6	64.9	67.3	68.1	6.9	6.7	6.5	6.7	6.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.7				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 120 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1088	510	301	398	267	7.8	10.0	5.0	7.5	4.3
4 ม.	5781	448	230	315	229	3.1	8.7	3.6	5.4	3.6
6 ม.	782	319	165	234	170	8.9	5.5	2.3	3.7	2.4
8 ม.	506	201	109	164	118	10.0	3.0	1.2	2.3	1.4
10 ม.	295	114	61	97	70	4.9	1.3	0.6	1.0	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	5.7	2.5	4.0	2.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	100.0	100.0	99.9	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.4	99.8	99.9	99.6	99.8	9.9	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	94.5	97.9	99.3	97.2	98.3	9.5	9.8	9.9	9.7	9.8
-30	87.6	94.9	97.9	93.7	95.7	8.8	9.5	9.8	9.4	9.6
-20	77.6	89.3	95.3	88.2	92.3	7.8	8.9	9.5	8.8	9.2
-10	67.0	81.1	90.9	81.4	86.0	6.7	8.1	9.1	8.1	8.6
0	54.6	71.5	84.9	72.1	79.4	5.5	7.2	8.5	7.2	7.9
10	43.5	61.7	78.1	62.8	71.2	4.4	6.2	7.8	6.3	7.1
20	34.7	53.0	71.4	54.4	63.6	3.5	5.3	7.1	5.4	6.4
30	28.4	46.5	65.8	48.1	57.5	2.8	4.7	6.6	4.8	5.8
40	24.7	42.3	62.2	44.3	53.8	2.5	4.2	6.2	4.4	5.4
50	23.1	40.6	60.8	42.9	52.3	2.3	4.1	6.1	4.3	5.2
60	23.4	41.2	61.7	43.8	53.1	2.3	4.1	6.2	4.4	5.3
					คะแนนเฉลี่ย	5.8	7.1	8.2	7.1	7.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.2				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	42.3	65.8	64.5	67	68.1	4.2	6.6	6.5	6.7	6.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.2				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 121 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	856	752	503	391	130	8.6	9.0	10.0	7.3	1.6
4 ม.	737	650	424	327	116	9.1	9.4	8.1	5.7	1.3
6 ม.	591	499	323	250	88	9.6	10.0	5.6	4.0	0.9
8 ม.	400	328	220	171	60	7.5	5.7	3.4	2.4	0.6
10 ม.	237	187	125	104	36	3.7	2.7	1.5	1.1	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	7.7	7.4	5.7	4.1	1.0
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.2				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	98.8	98.3	98.9	98.9	100.0	9.9	9.8	9.9	9.9	10.0
-50	96.0	94.5	96.3	96.4	99.8	9.6	9.5	9.6	9.6	10.0
-40	85.1	83.7	88.4	89.7	98.8	8.5	8.4	8.8	9.0	9.9
-30	74.1	72.9	80.3	82.7	96.8	7.4	7.3	8.0	8.3	9.7
-20	65.0	63.9	72.8	76.1	93.7	6.5	6.4	7.3	7.6	9.4
-10	51.0	53.1	60.6	65.0	89.3	5.1	5.3	6.1	6.5	9.7
0	38.6	40.9	49.0	56.3	82.7	3.9	4.1	4.9	5.6	9.4
10	28.8	31.1	39.2	46.9	75.4	2.9	3.1	3.9	4.7	8.9
20	21.8	24.0	31.7	39.5	68.4	2.2	2.4	3.2	4.0	8.3
30	17.5	19.5	26.7	34.6	63.0	1.8	2.0	2.7	3.5	7.5
40	15.1	17.1	24.1	32.0	59.9	1.5	1.7	2.4	3.2	6.8
50	14.4	16.4	23.6	31.6	59.1	1.4	1.6	2.4	3.2	6.3
60	15.0	17.2	24.9	33.3	60.7	1.5	1.7	2.5	3.3	6.0
					คะแนนเฉลี่ย	4.8	4.9	5.5	6.0	8.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	69.3	67.7	67.7	68.3	68.9	6.9	6.8	6.8	6.8	6.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.8				

5.1.5.3 หิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 122 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1002	555	284	356	210	8.0	9.8	4.7	6.4	3.2
4 ม.	828	464	228	291	175	8.7	9.1	3.6	4.8	2.5
6 ม.	734	349	162	221	140	9.1	6.2	2.2	3.4	1.8
8 ม.	474	231	114	154	97	9.4	3.6	1.3	2.1	1.0
10 ม.	269	127	64	90	56	4.4	1.5	0.6	0.9	0.6
					คะแนนเฉลี่ย	7.9	6.1	2.5	3.5	1.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.4				
ค่า PVC (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.5	99.8	99.9	99.7	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	97.9	99.3	99.7	98.8	99.5	9.8	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	90.0	94.8	98.0	94.6	97.3	9.0	9.5	9.8	9.5	9.7
-30	80.6	89.0	94.9	89.4	93.4	8.1	8.9	9.5	8.9	9.3
-20	70.8	81.7	91.3	83.3	89.8	7.1	8.2	9.1	8.3	9.0
-10	57.3	70.6	84.5	73.2	82.4	5.7	7.1	8.5	7.3	8.2
0	47.3	61.0	78.3	62.5	73.8	4.7	6.1	7.8	6.3	7.4
10	36.7	50.3	70.0	52.5	65.0	3.7	5.0	7.0	5.3	6.5
20	28.6	41.3	62.3	44.3	57.3	2.9	4.1	6.2	4.4	5.7
30	23.2	34.8	56.3	38.6	51.7	2.3	3.5	5.6	3.9	5.2
40	20.1	30.8	52.5	35.4	48.4	2.0	3.1	5.3	3.5	4.8
50	18.8	29.1	51.0	34.6	47.5	1.9	2.9	5.1	3.5	4.8
60	19.2	29.3	51.9	35.9	49.1	1.9	2.9	5.2	3.6	4.9
					คะแนนเฉลี่ย	5.3	6.2	7.6	6.5	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.6				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	69.5	66.7	66	67.8	68.9	7.0	6.7	6.6	6.8	6.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.8				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 123 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1004	467	264	350	243	8.0	9.2	4.3	6.3	3.9
4 ม.	5723	297	208	289	203	3.1	4.9	3.2	4.8	3.1
6 ม.	708	292	148	219	161	9.2	4.8	2.0	3.4	2.2
8 ม.	453	187	100	152	108	8.8	2.7	1.0	2.0	1.2
10 ม.	267	106	56	89	63	4.3	1.1	0.6	0.9	0.6
					คะแนนเฉลี่ย	6.7	4.6	2.2	3.5	2.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	3.8				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.8	100.0	100.0	99.9	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.1	99.8	99.9	99.4	99.7	9.9	10.0	10.0	9.9	10.0
-40	93.8	98.0	99.2	96.7	97.9	9.4	9.8	9.9	9.7	9.8
-30	86.7	95.1	97.8	93.0	95.1	8.7	9.5	9.8	9.3	9.5
-20	78.7	89.5	94.6	87.8	91.0	7.9	9.0	9.5	8.8	9.1
-10	66.6	82.9	90.8	79.7	84.2	6.7	8.3	9.1	8.0	8.4
0	58.4	75.4	85.7	70.4	77.7	5.8	7.5	8.6	7.0	7.8
10	47.4	66.1	79.1	61.3	69.6	4.7	6.6	7.9	6.1	7.0
20	38.3	57.6	72.3	53.5	62.3	3.8	5.8	7.2	5.4	6.2
30	31.6	50.8	66.7	47.8	56.7	3.2	5.1	6.7	4.8	5.7
40	27.4	46.3	62.7	44.5	53.4	2.7	4.6	6.3	4.5	5.3
50	25.1	44.2	60.8	43.6	52.4	2.5	4.4	6.1	4.4	5.2
60	25.0	44.3	61.0	44.9	53.6	2.5	4.4	6.1	4.5	5.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.0	7.3	8.2	7.1	7.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.3				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	41.4	66.5	65.2	67.8	68.4	4.1	6.7	6.5	6.8	6.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.2				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00ม 15:00 และ 17:00น.

ตารางที่ 124 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 ในวันที่ 21 ธันวาคม

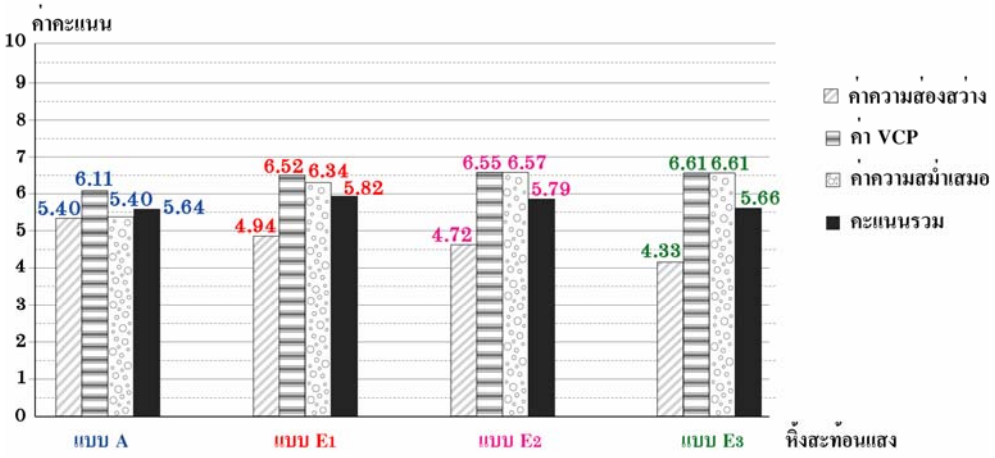
ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	792	680	453	360	117	8.8	9.3	8.8	6.5	1.3
4 ม.	650	581	385	299	102	9.4	9.7	7.1	5.0	1.0
6 ม.	558	454	299	236	81	9.8	8.9	5.0	3.7	0.8
8 ม.	360	307	198	159	56	6.5	5.2	3.0	2.2	0.6
10 ม.	214	173	113	92	32	3.3	2.5	1.3	0.9	0.3
					คะแนนเฉลี่ย	7.6	7.1	5.0	3.7	0.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.8				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	98.9	98.4	98.7	99.4	100.0	9.9	9.8	9.9	9.9	10.0
-50	96.3	94.6	95.6	97.6	99.8	9.6	9.5	9.6	9.8	10.0
-40	85.9	84.4	87.9	91.6	98.6	8.6	8.4	8.8	9.2	9.9
-30	74.1	74.8	77.4	84.5	96.6	7.4	7.5	7.7	8.5	9.7
-20	67.3	65.7	72.4	77.1	93.9	6.7	6.6	7.2	7.7	9.4
-10	53.5	54.8	60.1	67.9	88.8	5.4	5.5	6.0	6.8	9.7
0	40.9	42.6	48.5	56.4	82.3	4.1	4.3	4.9	5.6	9.4
10	30.9	32.7	38.7	46.1	75.2	3.1	3.3	3.9	4.6	8.9
20	23.6	25.4	31.4	38.0	68.5	2.4	2.5	3.1	3.8	8.2
30	18.9	20.7	26.7	32.4	63.5	1.9	2.1	2.7	3.2	7.5
40	16.3	18.1	24.2	29.3	60.8	1.6	1.8	2.4	2.9	6.9
50	15.3	17.3	23.7	28.5	60.2	1.5	1.7	2.4	2.9	6.4
60	16.1	18.1	25.2	29.7	61.8	1.6	1.8	2.5	3.0	6.1
					คะแนนเฉลี่ย	4.9	5.0	5.5	6.0	8.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	69.1	68.3	67.8	68.2	69.3	6.9	6.8	6.8	6.8	6.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.9				

5.1.5.4 เปรียบเทียบค่าคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 E2 และ E3

จากการเปรียบเทียบค่าคะแนนที่พิจารณาทั้งสามปัจจัย คือ ค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 3 แบบ คือ E1 E2 และ E3 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 ได้ค่าคะแนนที่สูงสุด คือ 5.82 รองลงมา คือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ E2 5.79 คะแนน และหิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 5.66 คะแนน ดังตารางที่ 125

ตารางที่ 125 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ E1 E2 และ E3

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ปัจจัยที่ทำการศึกษา			คะแนนรวมที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว
	ความส่องสว่าง	ค่า VCP	ความสม่ำเสมอ	
ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ A	5.40	6.11	5.40	5.64
ภายนอกเอียงลง 15° ภายในแนวราบ **(แบบ E1)**	**4.94**	**6.52**	**6.34**	**5.82**
ภายนอกเอียงลง 25° ภายในแนวราบ **(แบบ E2)**	4.72	6.55	6.57	5.79
ภายนอกเอียงลง 35° ภายในแนวราบ **(แบบ E3)**	4.33	6.61	6.61	5.66



กราฟที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนการจำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 1.50 ม. มุมเอียงลง 15° 25° และ 35°ภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 ม. กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

จากการเปรียบเทียบแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 E2 และ E3 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 ทำให้ลดปัญหาแสงบาดตา และทำให้ภายในมีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอดีขึ้น โดยรวมมีค่าคะแนนที่เพิ่มขึ้น 3.19%

โดยค่ามุมเอียงลงของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกเอียงลงแบบ E1 มุมเอียงลง 15° ซึ่งเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 7 ต่อไป

5.1.6.1 หิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 126 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6606	1058	516	629	384	2.7	7.9	9.9	9.5	7.1
4 ม.	1442	773	356	433	277	7.1	8.9	6.4	8.3	4.5
6 ม.	1042	508	248	292	181	7.9	10.0	4.0	4.8	2.6
8 ม.	633	315	159	195	123	9.5	5.4	2.2	2.9	1.5
10 ม.	385	178	90	118	75	7.1	2.6	0.9	1.4	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	6.9	4.7	5.4	3.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.4				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.8	99.9	100.0	99.8	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.0	99.4	99.8	99.0	99.6	9.9	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	89.9	97.8	98.1	94.3	97.3	9.0	9.8	9.8	9.4	9.7
-30	79.0	88.6	94.7	86.9	92.7	7.9	8.9	9.5	8.7	9.3
-20	67.8	76.7	91.3	84.7	87.2	6.8	7.7	9.1	8.5	8.7
-10	55.9	62.2	84.1	74.4	77.5	5.6	6.2	8.4	7.4	7.8
0	41.8	56.4	77.3	63.1	66.3	4.2	5.6	7.7	6.3	6.6
10	30.4	44.2	68.4	52.4	55.5	3.0	4.4	6.8	5.2	5.6
20	22.0	34.3	59.9	43.4	46.2	2.2	3.4	6.0	4.3	4.6
30	16.6	27.5	53.3	37.0	39.7	1.7	2.8	5.3	3.7	4.0
40	13.3	23.1	49.0	33.4	36.2	1.3	2.3	4.9	3.3	3.6
50	11.7	21.1	47.1	32.1	35.1	1.2	2.1	4.7	3.2	3.5
60	11.8	22.0	47.7	33.6	37.2	1.2	2.2	4.8	3.4	3.7
					คะแนนเฉลี่ย	4.9	5.8	7.5	6.4	6.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.3				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.8	61.5	62	62.2	62.7	4.4	6.2	6.2	6.2	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00น.

ตารางที่ 127 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1927	859	458	622	431	6.1	8.6	9.0	9.5	8.3
4 ม.	6095	637	310	434	317	3.0	9.5	5.3	8.4	5.4
6 ม.	1041	417	216	295	207	7.9	7.9	3.3	4.9	3.1
8 ม.	622	260	141	195	139	9.5	4.2	1.8	2.9	1.8
10 ม.	368	149	78	113	86	6.7	2.0	0.8	1.3	0.9
					คะแนนเฉลี่ย	6.6	6.4	4.0	5.4	3.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	100.0	100.0	99.9	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.5	100.0	100.0	99.7	99.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	93.4	99.7	99.6	97.1	97.9	9.3	10.0	10.0	9.7	9.8
-30	84.8	98.7	98.6	92.3	95.5	8.5	9.9	9.9	9.2	9.6
-20	75.3	95.3	96.7	89.0	91.8	7.5	9.5	9.7	8.9	9.2
-10	61.2	89.2	93.2	80.2	84.6	6.1	8.9	9.3	8.0	8.5
0	47.3	84.3	88.1	72.6	75.5	4.7	8.4	8.8	7.3	7.6
10	35.6	75.1	81.9	62.4	66.0	3.6	7.5	8.2	6.2	6.6
20	26.7	65.4	75.4	53.1	57.1	2.7	6.5	7.5	5.3	5.7
30	20.8	56.6	69.6	45.9	50.2	2.1	5.7	7.0	4.6	5.0
40	17.3	49.9	65.5	41.0	45.8	1.7	5.0	6.6	4.1	4.6
50	15.7	45.6	63.7	38.7	43.9	1.6	4.6	6.4	3.9	4.4
60	16.0	44.3	64.2	39.0	44.8	1.6	4.4	6.4	3.9	4.5
					คะแนนเฉลี่ย	5.3	7.7	8.4	7.0	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.2				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	46.0	61.8	61.7	62.2	62.9	4.6	6.2	6.2	6.2	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 128 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4957	1294	851	641	225	3.5	7.4	8.6	9.4	3.5
4 ม.	1149	961	620	461	166	7.7	8.2	9.5	9.0	2.3
6 ม.	763	642	413	305	109	8.9	9.4	7.8	5.1	1.2
8 ม.	491	421	269	210	74	9.8	8.0	4.4	3.2	0.7
10 ม.	301	251	161	126	45	5.0	4.0	2.2	1.5	0.5
					คะแนนเฉลี่ย	7.0	7.4	6.5	5.7	1.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.2	97.7	99.0	99.5	100.0	9.9	9.8	9.9	10.0	10.0
-50	96.7	92.9	96.2	97.7	99.9	9.7	9.3	9.6	9.8	10.0
-40	91.3	80.4	87.4	91.9	98.7	9.1	8.0	8.7	9.2	9.9
-30	73.5	66.0	75.2	84.2	96.1	7.4	6.6	7.5	8.4	9.6
-20	55.8	59.2	69.7	77.6	92.3	5.6	5.9	7.0	7.8	9.2
-10	39.0	49.0	62.9	65.6	85.1	3.9	4.9	6.3	6.6	9.6
0	25.8	36.7	50.4	53.6	76.0	2.6	3.7	5.0	5.4	9.2
10	16.6	27.1	39.6	43.0	66.3	1.7	2.7	4.0	4.3	8.5
20	10.9	20.3	31.2	34.7	57.4	1.1	2.0	3.1	3.5	7.6
30	7.7	16.2	25.6	29.0	50.9	0.8	1.6	2.6	2.9	6.6
40	5.9	14.0	22.5	26.0	47.2	0.6	1.4	2.3	2.6	5.7
50	5.3	13.2	21.3	25.1	46.0	0.5	1.3	2.1	2.5	5.1
60	5.8	14.1	22.5	26.6	48.3	0.6	1.4	2.3	2.7	4.7
					คะแนนเฉลี่ย	4.1	4.5	5.4	5.8	8.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.1	63	62.2	62.9	63.1	4.4	6.3	6.2	6.3	6.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

5.1.6.2 หิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 129 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6775	1176	551	678	423	2.6	7.6	9.8	9.3	8.1
4 ม.	1508	796	357	456	285	7.0	8.8	6.4	8.9	4.7
6 ม.	1037	522	256	300	183	7.9	9.9	4.1	5.0	2.7
8 ม.	619	312	168	200	125	9.5	5.3	2.4	3.0	1.5
10 ม.	378	186	94	121	74	7.0	2.7	0.9	1.4	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.8	6.9	4.7	5.5	3.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.5				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	99.9	100.0	99.9	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.3	99.2	99.8	99.3	99.7	9.9	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	90.7	94.2	98.0	95.3	97.8	9.1	9.4	9.8	9.5	9.8
-30	82.0	86.5	95.2	88.6	95.2	8.2	8.7	9.5	8.9	9.5
-20	70.4	82.0	90.4	83.5	91.4	7.0	8.2	9.0	8.4	9.1
-10	56.1	70.3	82.9	75.8	84.0	5.6	7.0	8.3	7.6	8.4
0	45.4	57.7	73.7	64.6	74.8	4.5	5.8	7.4	6.5	7.5
10	34.3	46.2	64.2	53.8	65.1	3.4	4.6	6.4	5.4	6.5
20	26.0	36.8	55.6	44.6	56.3	2.6	3.7	5.6	4.5	5.6
30	20.3	30.2	49.0	38.1	49.7	2.0	3.0	4.9	3.8	5.0
40	17.0	26.3	44.9	34.2	45.7	1.7	2.6	4.5	3.4	4.6
50	15.4	24.5	43.4	32.7	44.2	1.5	2.5	4.3	3.3	4.4
60	15.5	25.2	44.4	34.1	45.5	1.6	2.5	4.4	3.4	4.6
					คะแนนเฉลี่ย	5.2	6.0	7.2	6.5	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.4				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.6	60.1	61.6	61.3	61.1	4.4	6.0	6.2	6.1	6.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 130 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	2191	958	488	684	482	5.8	8.2	9.7	9.3	9.6
4 ม.	6029	641	322	449	327	3.0	9.4	5.6	8.7	5.7
6 ม.	1022	431	228	300	208	8.0	8.3	3.6	5.0	3.2
8 ม.	605	261	147	208	141	9.6	4.2	1.9	3.2	1.8
10 ม.	366	153	83	119	85	6.7	2.1	0.8	1.4	0.9
					คะแนนเฉลี่ย	6.6	6.4	4.3	5.5	4.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.4				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.8	100.0	100.0	99.8	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	95.4	98.8	99.7	97.6	99.4	9.5	9.9	10.0	9.8	9.9
-30	89.8	96.4	99.2	94.8	96.4	9.0	9.6	9.9	9.5	9.6
-20	79.8	92.2	96.9	90.3	91.0	8.0	9.2	9.7	9.0	9.1
-10	66.6	84.5	94.3	82.2	82.4	6.7	8.5	9.4	8.2	8.2
0	53.0	74.7	89.9	72.5	71.6	5.3	7.5	9.0	7.3	7.2
10	40.9	64.2	84.4	62.4	60.5	4.1	6.4	8.4	6.2	6.1
20	31.3	54.5	78.5	53.4	50.5	3.1	5.5	7.9	5.3	5.1
30	24.7	46.6	73.2	46.7	43.2	2.5	4.7	7.3	4.7	4.3
40	20.5	41.1	69.4	42.6	38.5	2.1	4.1	6.9	4.3	3.9
50	18.6	38.1	67.8	41.1	36.8	1.9	3.8	6.8	4.1	3.7
60	18.8	38.2	68.2	42.4	38.9	1.9	3.8	6.8	4.2	3.9
					คะแนนเฉลี่ย	5.7	7.1	8.6	7.1	7.0
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.1				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	46.6	60.4	61.5	61.3	61.1	4.7	6.0	6.2	6.1	6.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 131 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	5119	1480	931	709	256	3.4	7.0	8.3	9.2	4.1
4 ม.	1163	994	635	477	171	7.7	8.0	9.5	9.4	2.4
6 ม.	811	631	421	309	109	8.8	9.5	8.0	5.2	1.2
8 ม.	486	412	283	216	72	9.7	7.8	4.7	3.3	0.7
10 ม.	298	245	167	129	45	5.0	3.9	2.3	1.6	0.5
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	7.2	6.6	5.7	1.8
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.2	98.7	99.3	99.5	100.0	9.9	9.9	9.9	10.0	10.0
-50	96.8	95.0	97.2	97.7	99.8	9.7	9.5	9.7	9.8	10.0
-40	85.5	82.9	88.8	91.9	98.5	8.6	8.3	8.9	9.2	9.9
-30	74.1	68.5	77.4	82.8	95.9	7.4	6.9	7.7	8.3	9.6
-20	65.8	66.2	75.4	76.5	92.4	6.6	6.6	7.5	7.7	9.2
-10	51.3	51.5	62.4	67.3	87.4	5.1	5.2	6.2	6.7	9.6
0	41.1	38.3	53.4	55.2	79.9	4.1	3.8	5.3	5.5	9.2
10	30.6	28.0	42.3	44.4	72.0	3.1	2.8	4.2	4.4	8.7
20	23.0	20.6	33.6	35.8	64.5	2.3	2.1	3.4	3.6	8.0
30	18.0	16.0	27.7	29.9	58.8	1.8	1.6	2.8	3.0	7.2
40	15.2	13.5	24.3	26.7	55.7	1.5	1.4	2.4	2.7	6.5
50	14.0	12.5	22.9	25.7	54.7	1.4	1.3	2.3	2.6	5.9
60	14.3	13.2	23.7	26.9	56.5	1.4	1.3	2.4	2.7	5.6
					คะแนนเฉลี่ย	4.8	4.7	5.6	5.8	8.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44	60.4	61.7	61.5	60.7	4.4	6.0	6.2	6.2	6.1
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				

5.1.6.3 หิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 132 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6824	1322	587	756	472	2.6	7.4	9.7	9.0	9.3
4 ม.	1520	808	359	462	287	7.0	8.8	6.5	9.1	4.7
6 ม.	1007	513	259	305	176	8.0	9.9	4.2	5.1	2.5
8 ม.	594	300	172	209	118	9.6	5.0	2.4	3.2	1.4
10 ม.	345	85	100	124	72	6.1	0.9	1.0	1.5	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.7	6.4	4.7	5.6	3.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.4				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.8	99.8	100.0	99.7	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.0	99.2	99.8	98.0	99.7	9.9	9.9	10.0	9.8	10.0
-40	91.0	97.3	99.1	93.8	97.9	9.1	9.7	9.9	9.4	9.8
-30	81.9	88.5	93.8	88.0	94.9	8.2	8.9	9.4	8.8	9.5
-20	71.2	76.6	85.8	79.6	90.9	7.1	7.7	8.6	8.0	9.1
-10	57.6	62.1	74.4	70.7	83.3	5.8	6.2	7.4	7.1	8.3
0	50.9	61.1	61.4	59.6	74.2	5.1	6.1	6.1	6.0	7.4
10	39.9	49.1	49.1	49.4	64.8	4.0	4.9	4.9	4.9	6.5
20	31.2	39.0	38.9	41.0	56.3	3.1	3.9	3.9	4.1	5.6
30	25.1	31.7	31.7	35.3	49.9	2.5	3.2	3.2	3.5	5.0
40	21.1	26.9	27.1	32.1	46.2	2.1	2.7	2.7	3.2	4.6
50	19.2	24.5	25.0	31.2	45.0	1.9	2.5	2.5	3.1	4.5
60	18.7	25.0	26.2	32.4	46.5	1.9	2.5	2.6	3.2	4.7
					คะแนนเฉลี่ย	5.4	6.0	6.2	6.2	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.2				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.2	55.7	60.9	59.8	58.5	4.3	5.6	6.1	6.0	5.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 133 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	2498	1081	524	758	537	5.5	7.8	9.9	9.0	9.9
4 ม.	6344	650	318	464	333	2.8	9.4	5.5	9.1	5.8
6 ม.	971	438	234	309	204	8.1	8.5	3.7	5.2	3.1
8 ม.	562	266	159	209	136	9.8	4.3	2.2	3.2	1.7
10 ม.	336	148	90	123	81	5.9	2.0	0.9	1.5	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.4	6.4	4.4	5.6	4.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.4				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	99.2	99.2	98.9	98.9	98.4	9.9	9.9	9.9	9.9	9.8
-30	91.3	97.4	96.9	96.9	95.5	9.1	9.7	9.7	9.7	9.6
-20	83.1	93.2	93.0	93.0	92.0	8.3	9.3	9.3	9.3	9.2
-10	70.8	86.1	86.9	86.9	84.8	7.1	8.6	8.7	8.7	8.5
0	60.6	76.8	81.0	81.0	78.7	6.1	7.7	8.1	8.1	7.9
10	48.3	66.6	73.1	73.1	69.6	4.8	6.7	7.3	7.3	7.0
20	38.1	57.1	65.5	65.5	60.9	3.8	5.7	6.6	6.6	6.1
30	30.6	49.3	59.4	59.4	54.1	3.1	4.9	5.9	5.9	5.4
40	25.5	43.7	55.2	55.2	49.7	2.6	4.4	5.5	5.5	5.0
50	22.6	41.2	53.5	53.5	47.6	2.3	4.1	5.4	5.4	4.8
60	22.5	41.6	54.3	54.3	48.4	2.3	4.2	5.4	5.4	4.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.1	7.3	7.8	7.8	7.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.3				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	46.2	58.4	61.2	59.8	58.6	4.6	5.8	6.1	6.0	5.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.7				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 134 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 ในวันที่ 21 ธันวาคม

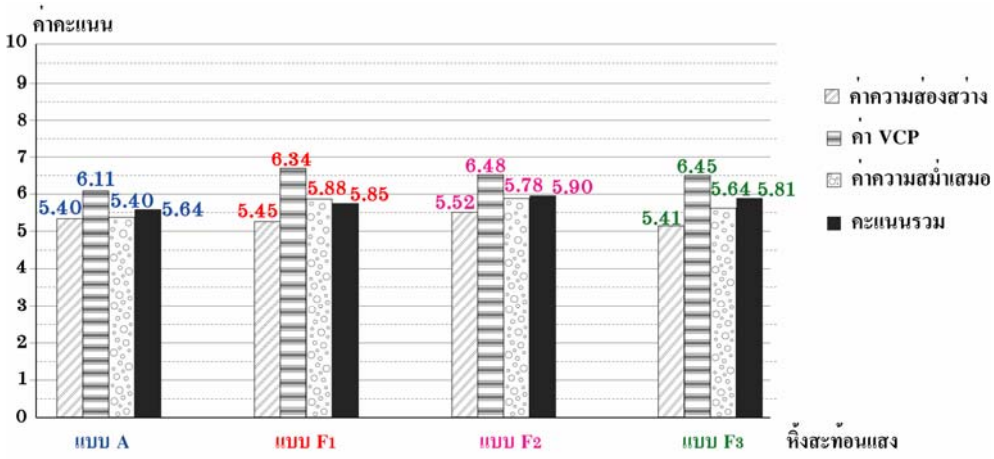
ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	5133	1669	1054	795	286	3.4	6.7	7.9	8.8	4.7
4 ม.	4414	1017	656	490	177	3.8	8.0	9.4	9.8	2.5
6 ม.	787	625	420	307	106	8.9	9.5	8.0	5.2	1.1
8 ม.	461	391	281	207	72	9.0	7.3	4.6	3.1	0.7
10 ม.	276	236	169	125	43	4.5	3.7	2.4	1.5	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	5.9	7.0	6.5	5.7	1.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.4				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.2	98.5	98.5	99.4	99.9	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0
-50	96.9	94.4	95.2	97.5	99.7	9.7	9.4	9.5	9.8	10.0
-40	87.1	82.4	88.6	91.3	98.5	8.7	8.2	8.9	9.1	9.9
-30	74.8	67.8	79.3	84.2	96.5	7.5	6.8	7.9	8.4	9.7
-20	65.4	62.6	65.2	77.8	92.6	6.5	6.3	6.5	7.8	9.3
-10	50.9	47.7	50.7	65.8	87.8	5.1	4.8	5.1	6.6	9.7
0	41.1	39.4	44.2	56.8	80.6	4.1	3.9	4.4	5.7	9.3
10	30.6	29.0	33.7	46.2	72.7	3.1	2.9	3.4	4.6	8.8
20	23.0	21.6	25.9	37.7	65.4	2.3	2.2	2.6	3.8	8.1
30	18.0	16.9	21.2	31.8	60.0	1.8	1.7	2.1	3.2	7.3
40	15.1	14.3	18.3	28.7	56.7	1.5	1.4	1.8	2.9	6.5
50	13.9	13.2	17.3	27.7	55.9	1.4	1.3	1.7	2.8	6.0
60	14.0	13.7	18.6	28.8	57.6	1.4	1.4	1.9	2.9	5.7
					คะแนนเฉลี่ย	4.8	4.6	5.1	6.0	8.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	48.4	57.8	59.5	59.1	58.5	4.8	5.8	6.0	5.9	5.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.7				

5.1.6.4 เปรียบเทียบค่าคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 F2 และ F3

จากการเปรียบเทียบค่าคะแนนที่พิจารณาทั้งสามปัจจัย คือ ค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 3 แบบ คือ F1 F2 และ F3 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 ได้ค่าคะแนนที่สูงสุด คือ 5.90 รองลงมาคือ หิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 5.85 คะแนน และหิ้งสะท้อนแสงแบบ F3 5.81 คะแนน ดังตารางที่ 135

ตารางที่ 135 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ F1 F2 และ F3

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ปัจจัยที่ทำการศึกษา			คะแนนรวมที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว
	ความส่องสว่าง	ค่า VCP	ความสม่ำเสมอ	
ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ A	5.40	6.11	5.40	5.64
ภายนอกเอียงขึ้น 15˚ ภายในแนวราบ **(แบบ F1)**	5.45	6.34	5.88	5.85
ภายนอกเอียงขึ้น 25˚ ภายในแนวราบ **(แบบ F2)**	**5.52**	**6.48**	**5.78**	**5.90**
ภายนอกเอียงขึ้น 35˚ ภายในแนวราบ **(แบบ F3)**	5.41	6.45	5.64	5.81



กราฟที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนการจำลองหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 1.50 ม. มุมเอียงขึ้น 15˚ 25˚ และ 35˚ ภายในแนวราบระยะยื่น 0.50 ม. กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

จากการเปรียบเทียบแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับหิ้งสะท้อนแสงแบบ F1 F2 และ F3 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ F2 มีปริมาณแสงสว่างที่เพิ่มขึ้น ลดปัญหาแสงบาดตา และทำให้ภายในมีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอดีขึ้น โดยรวมมีค่าคะแนนที่เพิ่มขึ้น 4.61%

โดยค่ามุมเอียงขึ้นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบ F2 มุมเอียงขึ้น 25˚ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 8 ต่อไป

5.1.7.1 หิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 136 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1306	805	428	480	288	7.4	8.8	8.2	9.5	4.8
4 ม.	1348	760	339	428	275	7.3	9.0	6.0	8.2	4.5
6 ม.	850	416	206	255	157	8.6	7.9	3.1	4.1	2.1
8 ม.	552	274	133	180	111	9.8	4.5	1.7	2.6	1.2
10 ม.	329	154	78	104	65	5.7	2.1	0.8	1.1	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	7.8	6.4	3.9	5.1	2.7
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.2				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.5	99.7	99.9	99.7	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	98.0	98.9	99.7	98.6	99.4	9.8	9.9	10.0	9.9	9.9
-40	89.6	93.8	97.8	94.0	97.0	9.0	9.4	9.8	9.4	9.7
-30	79.5	87.4	94.9	88.3	93.5	8.0	8.7	9.5	8.8	9.4
-20	70.3	80.2	90.2	82.0	88.7	7.0	8.0	9.0	8.2	8.9
-10	56.7	68.9	84.4	71.5	81.8	5.7	6.9	8.4	7.2	8.2
0	44.0	57.1	76.1	60.5	74.7	4.4	5.7	7.6	6.1	7.5
10	33.6	46.5	67.5	50.4	66.3	3.4	4.7	6.8	5.0	6.6
20	25.8	38.0	59.6	42.2	58.8	2.6	3.8	6.0	4.2	5.9
30	20.7	32.1	53.5	36.5	53.2	2.1	3.2	5.4	3.7	5.3
40	17.7	28.7	49.9	33.5	50.0	1.8	2.9	5.0	3.4	5.0
50	16.5	27.5	48.6	32.6	49.1	1.7	2.8	4.9	3.3	4.9
60	16.9	28.3	49.7	34.0	50.6	1.7	2.8	5.0	3.4	5.1
					คะแนนเฉลี่ย	5.1	6.1	7.5	6.3	7.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.5				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	66.1	62.4	62	64.3	64.4	6.6	6.2	6.2	6.4	6.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.4				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00น.

ตารางที่ 137 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	1312	710	393	486	342	7.4	9.2	7.3	9.7	6.1
4 ม.	6206	629	303	428	313	2.9	9.5	5.1	8.2	5.3
6 ม.	839	348	183	253	177	8.6	6.2	2.7	4.1	2.5
8 ม.	531	228	121	176	128	9.9	3.6	1.4	2.5	1.6
10 ม.	319	127	66	102	76	5.5	1.5	0.7	1.0	0.8
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	6.0	3.4	5.1	3.2
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	4.9				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.8	100.0	100.0	99.8	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.2	99.9	99.9	99.3	99.8	9.9	10.0	10.0	9.9	10.0
-40	93.8	98.2	99.2	96.3	98.0	9.4	9.8	9.9	9.6	9.8
-30	86.5	95.4	97.8	92.2	95.2	8.7	9.5	9.8	9.2	9.5
-20	77.3	89.6	94.7	86.6	90.9	7.7	9.0	9.5	8.7	9.1
-10	64.8	82.9	90.7	78.0	83.6	6.5	8.3	9.1	7.8	8.4
0	56.5	73.7	85.7	68.3	74.8	5.7	7.4	8.6	6.8	7.5
10	45.4	64.2	79.0	58.9	65.7	4.5	6.4	7.9	5.9	6.6
20	36.4	55.5	72.3	50.8	57.4	3.6	5.6	7.2	5.1	5.7
30	29.9	48.8	66.6	45.1	51.1	3.0	4.9	6.7	4.5	5.1
40	25.9	44.4	62.6	41.9	47.4	2.6	4.4	6.3	4.2	4.7
50	23.8	42.4	60.9	41.0	46.0	2.4	4.2	6.1	4.1	4.6
60	23.5	42.9	61.2	42.3	47.0	2.4	4.3	6.1	4.2	4.7
					คะแนนเฉลี่ย	5.9	7.2	8.2	6.9	7.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	7.1				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	42.7	61.8	61.5	63.8	64.1	4.3	6.2	6.2	6.4	6.4
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.9				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

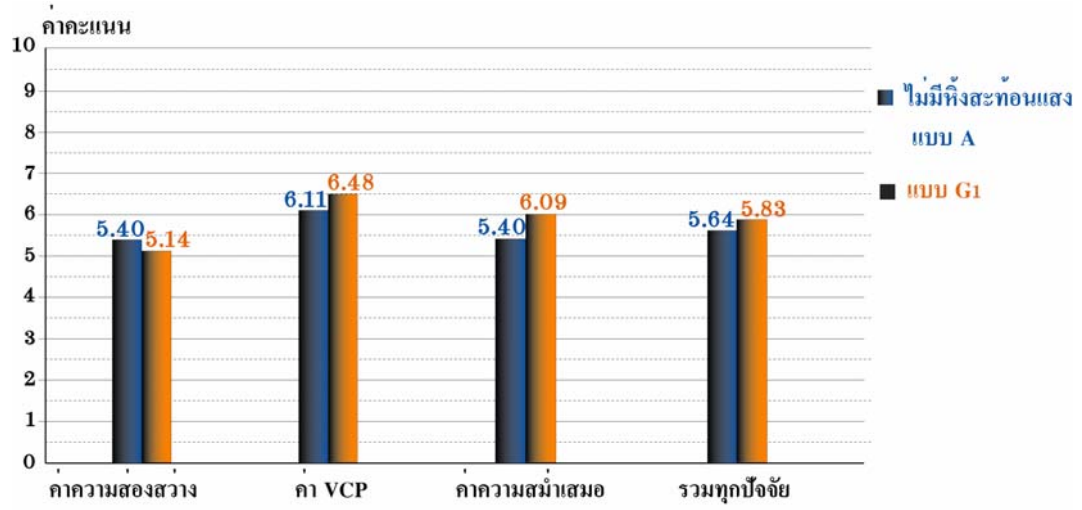
ตารางที่ 138 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	4527	959	653	485	167	3.7	8.2	9.4	9.6	2.3
4 ม.	1051	941	596	452	163	7.9	8.2	9.6	8.8	2.3
6 ม.	655	533	344	267	94	9.4	9.9	6.1	4.3	0.9
8 ม.	431	349	233	187	65	8.3	6.2	3.7	2.7	0.7
10 ม.	261	208	141	111	39	4.2	3.2	1.8	1.2	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.7	7.1	6.1	5.3	1.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.3				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	98.7	98.2	98.9	99.0	100.0	9.9	9.8	9.9	9.9	10.0
-50	95.8	94.1	96.2	96.4	99.8	9.6	9.4	9.6	9.6	10.0
-40	84.8	82.7	88.4	89.4	98.6	8.5	8.3	8.8	8.9	9.9
-30	73.4	71.6	79.3	81.4	96.5	7.3	7.2	7.9	8.1	9.7
-20	66.4	63.8	71.4	74.7	93.1	6.6	6.4	7.1	7.5	9.3
-10	52.5	49.8	61.0	62.9	88.4	5.3	5.0	6.1	6.3	9.7
0	40.0	37.7	49.2	51.6	81.4	4.0	3.8	4.9	5.2	9.3
10	30.0	28.2	39.2	42.0	73.8	3.0	2.8	3.9	4.2	8.8
20	22.7	21.5	31.5	34.7	66.5	2.3	2.2	3.2	3.5	8.1
30	18.0	17.3	26.5	29.9	61.0	1.8	1.7	2.7	3.0	7.4
40	15.3	15.2	23.9	27.6	57.8	1.5	1.5	2.4	2.8	6.7
50	14.2	14.6	23.1	27.4	56.9	1.4	1.5	2.3	2.7	6.1
60	14.7	15.5	24.4	29.2	58.4	1.5	1.6	2.4	2.9	5.8
					คะแนนเฉลี่ย	4.8	4.7	5.5	5.7	8.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	43.7	63.7	63.7	64.8	64.7	4.4	6.4	6.4	6.5	6.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.0				

5.1.7.2 เปรียบเทียบผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

ตารางที่ 139 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ G1

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ปัจจัยที่ทำการศึกษา			คะแนนรวมที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว
	ความส่องสว่าง	ค่า VCP	ความสม่ำเสมอ	
ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง **(แบบ A)**	5.40	6.11	5.40	5.64
ภายนอกเอียงลง 15° ภายในเอียงลง 15° **(แบบ G1)**	**5.14**	**6.48**	**6.09**	**5.83**



กราฟที่ 18 แสดงการวิเคราะห์คะแนนของผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ G1

จากการวิเคราะห์คะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 พบว่าค่าคะแนนความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.14 ค่าคะแนน VCP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.48 ค่าคะแนนความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.09 และคะแนนรวมทุกปัจจัยเท่ากับ 5.83 จากการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 กับไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ G1 มีปริมาณความสว่างที่ลดลง โดยรวมทุกปัจจัยมีค่าที่เพิ่มขึ้น 3.37%

5.1.8.1 หิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 วันที่ 21 มีนาคม เวลา 9:00 11:00, 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 140 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ในวันที่ 21 มีนาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	6748	1298	604	720	448	2.6	7.4	9.6	9.1	8.7
4 ม.	1810	960	411	529	343	6.4	8.2	7.8	9.9	6.1
6 ม.	1032	513	247	297	179	7.9	9.9	3.9	4.9	2.6
8 ม.	615	318	168	204	123	9.5	5.5	2.4	3.1	1.5
10 ม.	377	187	96	123	74	6.9	2.7	1.0	1.5	0.7
					คะแนนเฉลี่ย	6.7	6.7	4.9	5.7	3.9
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.6	99.9	99.9	99.7	99.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	98.3	99.3	99.7	98.6	99.7	9.8	9.9	10.0	9.9	10.0
-40	89.1	97.5	98.9	93.0	98.8	8.9	9.8	9.9	9.3	9.9
-30	78.3	87.4	93.8	87.9	94.5	7.8	8.7	9.4	8.8	9.5
-20	69.4	74.7	85.8	79.2	87.4	6.9	7.5	8.6	7.9	8.7
-10	55.0	59.4	74.6	70.8	77.2	5.5	5.9	7.5	7.1	7.7
0	41.7	44.6	62.0	58.9	65.3	4.2	4.5	6.2	5.9	6.5
10	31.0	32.3	49.9	47.8	53.8	3.1	3.2	5.0	4.8	5.4
20	23.1	23.4	39.8	38.7	44.0	2.3	2.3	4.0	3.9	4.4
30	17.9	17.7	32.8	32.3	37.2	1.8	1.8	3.3	3.2	3.7
40	14.9	14.3	28.4	28.5	33.1	1.5	1.4	2.8	2.9	3.3
50	13.7	12.9	26.4	27.1	31.8	1.4	1.3	2.6	2.7	3.2
60	14.1	13.8	27.8	28.0	33.8	1.4	1.4	2.8	2.8	3.4
					คะแนนเฉลี่ย	5.0	5.2	6.3	6.1	6.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
ค่าความสม่ำเสมอ						ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.4	58.6	59.9	60.4	59.8	4.4	5.9	6.0	6.0	6.0
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.7				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

ตารางที่ 141 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ในวันที่ 21 มิถุนายน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	2226	1090	547	716	505	5.8	7.8	9.8	9.1	10.0
4 ม.	6659	783	365	539	390	2.7	8.9	6.6	9.8	7.3
6 ม.	1005	427	223	294	205	8.0	8.2	3.5	4.9	3.1
8 ม.	599	252	155	202	142	9.6	4.0	2.1	3.0	1.8
10 ม.	362	150	86	120	86	6.6	2.0	0.9	1.4	0.9
					คะแนนเฉลี่ย	6.5	6.2	4.6	5.7	4.6
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.5				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.9	100.0	100.0	99.9	100.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-50	99.6	99.9	100.0	99.6	99.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
-40	94.6	99.7	99.7	98.6	98.2	9.5	10.0	10.0	9.9	9.8
-30	87.8	95.7	98.8	92.2	95.5	8.8	9.6	9.9	9.2	9.6
-20	78.1	89.2	96.2	83.1	91.2	7.8	8.9	9.6	8.3	9.1
-10	65.6	79.0	92.3	70.8	83.6	6.6	7.9	9.2	7.1	8.4
0	55.5	66.7	87.3	57.5	74.3	5.6	6.7	8.7	5.8	7.4
10	44.3	54.3	80.6	45.2	64.5	4.4	5.4	8.1	4.5	6.5
20	35.3	43.7	73.4	35.3	55.7	3.5	4.4	7.3	3.5	5.6
30	28.9	36.0	66.8	28.5	49.0	2.9	3.6	6.7	2.9	4.9
40	24.9	30.7	61.9	24.4	45.2	2.5	3.1	6.2	2.4	4.5
50	23.1	28.5	59.3	22.4	43.9	2.3	2.9	5.9	2.2	4.4
60	23.1	30.2	59.3	23.5	46.0	2.3	3.0	5.9	2.4	4.6
					คะแนนเฉลี่ย	5.9	6.6	8.3	6.0	7.3
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	6.8				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	45.4	58.1	60	60.2	60.1	4.5	5.8	6.0	6.0	6.0
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.7				

- หิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 9:00 11:00 13:00 15:00 และ 17:00 น.

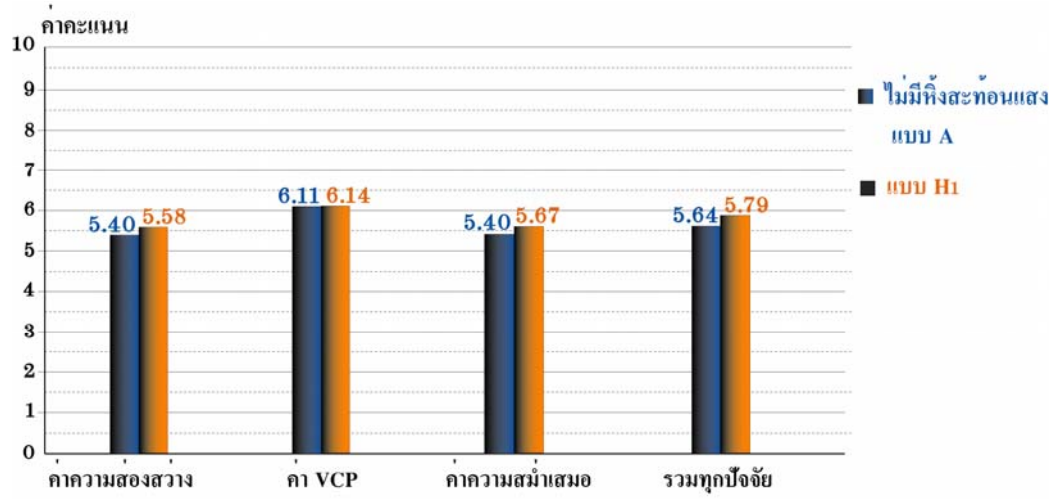
ตารางที่ 142 แสดงผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ในวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)										
ระยะห่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
2 ม.	5098	1585	1023	748	269	3.5	6.8	8.0	9.0	4.4
4 ม.	1386	1217	773	581	210	7.2	7.6	8.9	9.7	3.2
6 ม.	806	632	418	311	109	8.8	9.5	8.0	5.3	1.2
8 ม.	501	414	279	209	73	10.0	7.9	4.6	3.2	0.7
10 ม.	306	251	167	129	44	5.2	4.0	2.3	1.6	0.4
					คะแนนเฉลี่ย	6.9	7.1	6.3	5.7	2.0
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.6				
ค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability)										
มุมมอง	ค่า VCP					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
-60	99.0	98.8	99.0	99.4	100.0	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0
-50	96.3	95.3	96.1	97.3	99.9	9.6	9.5	9.6	9.7	10.0
-40	87.3	88.1	86.8	91.2	98.7	8.7	8.8	8.7	9.1	9.9
-30	75.8	75.2	80.9	83.8	96.0	7.6	7.5	8.1	8.4	9.6
-20	67.4	58.3	74.2	76.7	93.0	6.7	5.8	7.4	7.7	9.3
-10	53.1	41.9	61.1	67.1	88.4	5.3	4.2	6.1	6.7	9.6
0	42.8	28.5	48.5	55.1	82.8	4.3	2.9	4.9	5.5	9.3
10	32.2	19.0	37.8	44.4	74.8	3.2	1.9	3.8	4.4	8.8
20	24.4	12.8	29.5	35.8	67.0	2.4	1.3	3.0	3.6	8.3
30	19.3	9.3	24.0	30.0	60.6	1.9	0.9	2.4	3.0	7.5
40	16.3	7.4	21.0	26.9	56.5	1.6	0.7	2.1	2.7	6.7
50	15.1	6.7	20.0	25.8	54.6	1.5	0.7	2.0	2.6	6.1
60	15.4	7.5	21.1	26.9	55.4	1.5	0.8	2.1	2.7	5.7
					คะแนนเฉลี่ย	5.0	4.2	5.4	5.8	8.5
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.8				
ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity of Illumination)										
	ค่าความสม่ำเสมอ					ค่าคะแนนที่ได้จากการจำลอง				
ช่วงเวลา	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00
	44.9	59.3	59.9	60.3	59.7	4.5	5.9	6.0	6.0	6.0
					คะแนนเฉลี่ยของทุกช่วงเวลา	5.7				

5.1.8.2 เปรียบเทียบผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ทำการจำลองในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม

ตารางที่ 143 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนของแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ H1

รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ปัจจัยที่ทำการศึกษา			คะแนนรวมที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว
	ความส่องสว่าง	ค่า VCP	ความสม่ำเสมอ	
ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง **(แบบ A)**	5.40	6.11	5.40	5.64
ภายนอกเอียงลง 25° ภายในเอียงลง 25° **(แบบ H1)**	**5.58**	**6.14**	**5.67**	**5.79**



กราฟที่ 19 แสดงการวิเคราะห์คะแนนของผลการจำลองกรณีไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ H1

จากการวิเคราะห์คะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 พบว่าค่าคะแนนความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.58 ค่าคะแนน VCP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.14 ค่าคะแนนความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.67 และคะแนนรวมทุกปัจจัยเท่ากับ 5.79 จากการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 กับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 โดยรวมทุกปัจจัยมีคะแนนที่เพิ่มขึ้น 2.66%

5.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าคะแนนรวมทุกปัจจัยของผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ A – H ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

การเปรียบเทียบคะแนนรวมของค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่มีรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ A – H โดยใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน พบว่าในทุกๆรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงในการศึกษาทดลองครั้งนี้ หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 (ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม. มุมเอียงลง 25°) มีคะแนนรวมทุกปัจจัยดีที่สุด คือ 5.937 โดยมีคะแนนค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นจากไม่มีหิ้งสะท้อนแสงเท่ากับ 0% 9.0% และ 8.70% ตามลำดับ ดังตารางที่ 144 และกราฟที่ 20

ตารางที่ 144 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนรวมทุกปัจจัยของหิ้งสะท้อนแสงแบบ A – H

หิ้งสะท้อนแสงแบบ A – H ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน									
ลำดับ	รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	คะแนนจากการวิเคราะห์เกณฑ์การพิจารณา							ลำดับที่
		ค่าความส่องสว่าง		ค่า VCP		ค่าความสม่ำเสมอ		คะแนนรวม	
		คะแนนM1	F1xM1	คะแนน M2	F2xM2	คะแนน M3	F3xM3		
1.	แบบ A	5.40	27.0	6.11	24.4	5.40	16.2	5.637	14
2.	แบบ B1	5.35	26.7	6.55	26.2	5.74	17.2	5.846	6
3.	แบบ C1	5.23	26.2	6.57	26.3	6.05	18.2	5.883	3
	แบบ C2	4.88	24.4	6.59	26.4	6.05	18.2	5.742	12
	แบบ C3	4.55	22.7	6.63	26.5	5.98	17.9	5.598	15
4.	แบบ D1	5.37	26.9	6.51	26.0	5.87	17.6	5.874	4
	แบบ D2	5.40	27.0	**6.66**	**26.7**	5.87	17.6	**5.937**	**1**
	แบบ D3	5.32	26.6	6.46	25.8	5.94	17.8	5.854	5
5.	แบบ E1	4.94	24.7	6.52	26.1	6.34	19.0	5.816	8
	แบบ E2	4.72	23.6	6.55	26.2	6.57	19.7	5.794	10
	แบบ E3	4.33	21.7	6.61	26.5	**6.61**	**19.8**	5.662	13
6.	แบบ F1	5.45	27.2	6.34	25.4	5.88	17.6	5.854	4
	แบบ F2	5.52	27.6	6.48	25.9	5.78	17.3	5.902	2
	แบบ F3	5.41	27.0	6.45	25.8	5.64	16.9	5.814	9
7.	แบบ G1	5.14	25.7	6.48	25.9	6.09	18.3	5.827	7
8.	แบบ H1	**5.58**	**27.9**	6.14	24.6	5.67	17.0	5.787	11

กราฟที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงแบบ A – H วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

จากการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 16 รูปแบบ วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน พบว่าค่าความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 มีคะแนนดีที่สุด คือ 5.58 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงมีคะแนนเพิ่มขึ้น 0.18 คะแนน คิดเป็น 3.30%

จากการเปรียบเทียบค่า VCP ของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 16 รูปแบบ วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน พบว่าค่า VCP หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 มีคะแนนดีที่สุด คือ 6.66 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงมีคะแนนเพิ่มขึ้น 0.55 คะแนน คิดเป็น 9.0%

จากการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 16 รูปแบบ วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน พบว่าค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของหิ้งสะท้อนแสงแบบ E3 มีคะแนนดีที่สุด คือ 6.61 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงมีคะแนนเพิ่มขึ้น 1.21 คะแนน คิดเป็น 22.4%

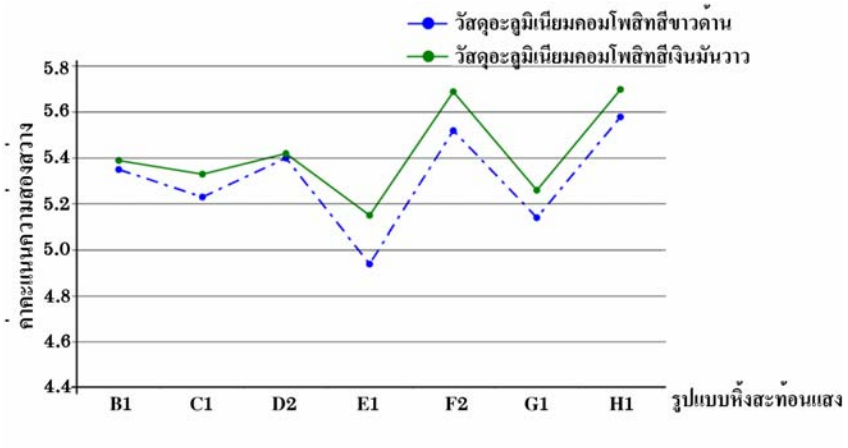
เมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนรวมของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 16 รูปแบบ วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน พบว่าคะแนนรวมทุกปัจจัยของหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 มีคะแนนดีที่สุดคือ 5.937 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงมีคะแนนเพิ่มขึ้น 0.30 คะแนน คิดเป็น 5.32%

จากการจำลองและวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 16 รูปแบบ ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน เป็นรูปแบบที่มีคะแนนรวมดีที่สุดในแต่ละกลุ่ม ได้แก่ รูปแบบ B1 C1 D2 E1 F2 G1 และ H1 ซึ่งรูปแบบดังกล่าวจะนำมาจำลองและวิเคราะห์ โดยเปลี่ยนวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว เพื่อหารูปแบบ และวัสดุของหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับอาคารหอสมุดแห่งชาติ

5.3 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 7 รูปแบบ ระหว่างการใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับสีเงินมันวาว

5.3.1 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ระหว่างหิ้งสะท้อนแสงที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน กับวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว

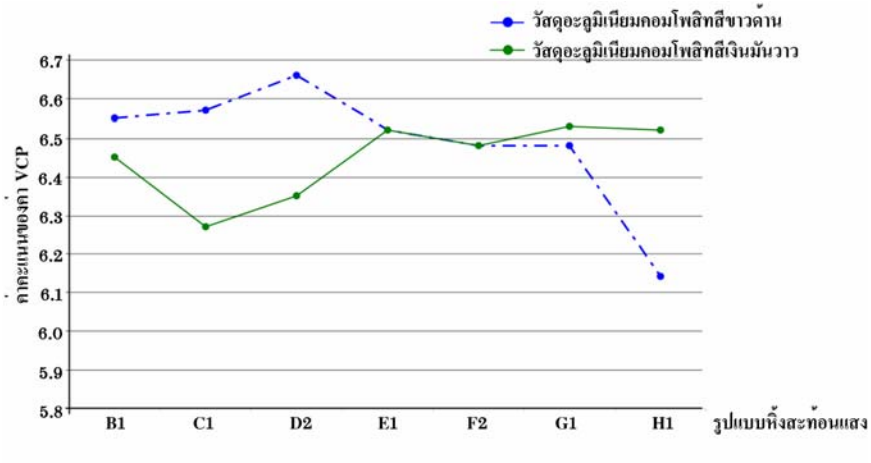
จากการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 7 รูปแบบ วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว พบว่าวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาวทุกรูปแบบมีคะแนนที่ดีกว่าวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน จากผลการวิเคราะห์ พบว่าวัสดุที่มีพื้นผิวมันวาว ช่วยเพิ่มค่าความส่องสว่างได้มากว่าวัสดุพื้นผิวด้าน และหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 มีคะแนนค่าความส่องสว่างดีที่สุด ดังกราฟที่ 21



กราฟที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับสีเงินมันวาว

5.3.2 การเปรียบเทียบค่า VCP ระหว่างหิ้งสะท้อนแสงที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน กับวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว

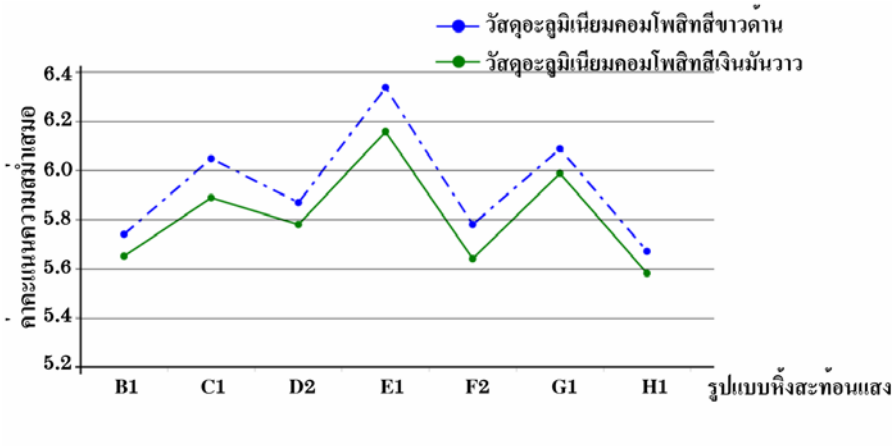
จากการเปรียบเทียบค่า VCP ของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 7 รูปแบบ วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว พบว่าวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านมีคะแนนดีกว่าวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว จากผลการวิเคราะห์ พบว่ารูปแบบหิ้งสะท้อนแสง วัสดุพื้นผิวด้านช่วยเพิ่มค่า VCP ได้มากกว่าและหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 มีคะแนนค่า VCP ดีที่สุด ดังกราฟที่ 22



กราฟที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP ระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับสีเงินมันวาว

5.3.3 การเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างระหว่างหิ้งสะท้อนแสงที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน กับวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว

จากการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 7 รูปแบบ วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว พบว่าวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านทุกรูปแบบมีคะแนนที่ดีกว่าวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว จากผลการวิเคราะห์ พบว่าวัสดุที่มีพื้นผิวด้าน ช่วยเพิ่มค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างดีกว่าวัสดุพื้นผิวมันวาว และหิ้งสะท้อนแสงแบบ E1 มีคะแนนค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างดีที่สุด ดังกราฟที่ 23



กราฟที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน กับสีเงินมันวาว

5.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าคะแนนรวมทุกปัจจัยของผลการจำลองหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 C1 D2 E1 F2 G1 และ H1 ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว

การเปรียบเทียบคะแนนรวมของค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่มีรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 C1 D2 E1 F2 G1 และ H1 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว พบว่าคะแนนรวมทุกปัจจัยของหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 (ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร เอียงขึ้น 25˚ ภายในระยะยื่น 0.50 เมตร เอียงลง 25˚) มีคะแนนรวมดีที่สุด คือ 5.943 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงมีคะแนนเพิ่มขึ้น 0.13 คะแนน คิดเป็น 2.19% ดังตารางที่ 145

ตารางที่ 145 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนรวมทุกปัจจัยของหิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 C1 D2 E1 F2 G1 และ H1 โดยใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว

หิ้งสะท้อนแสงแบบ B1 – H1 ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว									
ลำดับ	รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	คะแนนจากการวิเคราะห์เกณฑ์การพิจารณา							ลำดับที่
		ค่าความส่องสว่าง		ค่า VCP		ค่าความสม่ำเสมอ		คะแนนรวม	
		คะแนน M1	F1xM1	คะแนน M2	F2xM2	คะแนน M3	F3xM3		
1.	แบบ B1	5.39	27.0	6.45	26.8	5.65	16.9	5.811	6
2.	แบบ C1	5.33	26.6	6.27	25.1	5.89	17.7	5.782	7
3.	แบบ D2	5.42	27.1	6.35	25.4	5.78	17.3	5.820	5
4.	แบบ E1	5.15	25.8	6.52	26.1	**6.16**	**18.5**	5.858	4
5.	แบบ F2	5.69	28.4	6.48	25.9	5.64	16.9	5.940	2
6.	แบบ G1	5.26	26.3	**6.53**	**26.1**	5.99	18.0	5.865	3
7.	**แบบ H1**	**5.70**	**28.5**	6.52	26.1	5.58	16.7	**5.943**	**1**

จากการเปรียบเทียบการจำลองรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงประเภทต่างๆ พบว่าวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน รูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 มีคะแนนรวมทุกปัจจัยที่ดีที่สุดและวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 มีคะแนนรวมทุกปัจจัยดีที่สุด จึงนำรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุดทั้ง 2 วัสดุมาเปรียบเทียบ เพื่อนำรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมมาใช้ในหอสมุดแห่งชาติ

กราฟที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนรวมของทุกปัจจัยระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้านกับวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว

จากกราฟที่ 24 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 (วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว) มีคะแนนที่ดีกว่า แต่เนื่องจากภายนอกมีมุมเอียงขึ้นนั้น อาจจะมีปัญหาในแง่ของน้ำฝนไหลเข้าอาคาร ประกอบกับค่าคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 (วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน) กับค่าคะแนนของหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ควรนำไปใช้จึงเป็นหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2

การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างระหว่างสภาพปัจจุบันที่ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 (วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน) แสดงไว้ในหัวข้อที่ 6.

6. การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างไม่มีหิ้งสะท้อนแสง กับหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 (ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 ม. ภายในระยะยื่น 0.50 ม. มุมเอียงลง 25˚) วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

ในการคำนวณเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยเฉลี่ยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

กรณีหาค่าที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย

$$N_1 = \frac{(A - B) \times 100}{B}$$

A = ค่าความส่องสว่างของรูปแบบที่เปรียบเทียบเฉพาะจุดที่มีค่าเพิ่มขึ้น

B = ค่าความส่องสว่างของรูปแบบเดิม

$$N_{avg} = \frac{(N_1 + N_2 + N_3 + \ldots\ldots + N_n.)}{\text{จำนวนจุดที่มีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น}}$$

N_1 = ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%) ตำแหน่งที่ 1

N_2 = ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%) ตำแหน่งที่ 2

N_n = ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%) ตำแหน่งที่ n

N_{avg} = ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นของทุกตำแหน่งโดยเฉลี่ย (%)

กรณีหาค่าที่ลดลงโดยเฉลี่ย

$$N_1 = \frac{(A - B) \times 100}{B}$$

A = ค่าความส่องสว่างของรูปแบบที่เปรียบเทียบเฉพาะจุดที่มีค่าลดลง

B = ค่าความส่องสว่างของรูปแบบเดิม

$$N_{avg} = \frac{(N_1 + N_2 + N_3 + \ldots\ldots + N_n.)}{\text{จำนวนจุดที่มีค่าความส่องสว่างที่ลดลง}}$$

N_1 = ค่าความส่องสว่างที่ลดลง (%) ตำแหน่งที่ 1

N_2 = ค่าความส่องสว่างที่ลดลง (%) ตำแหน่งที่ 2

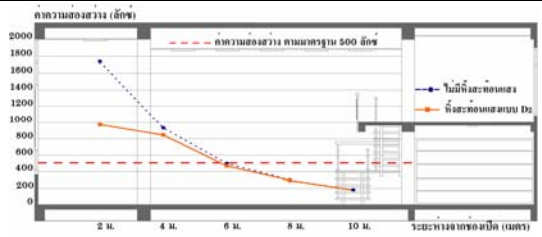
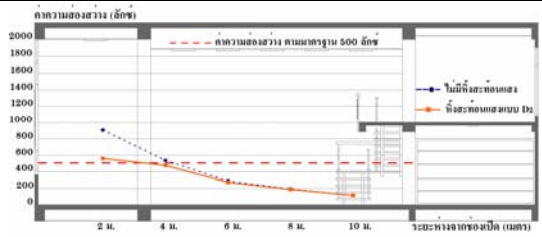
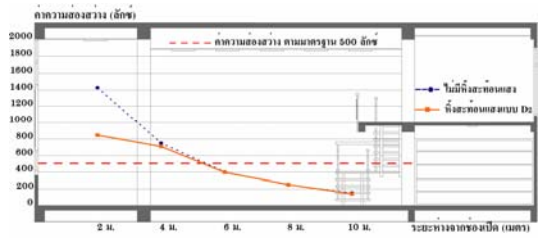
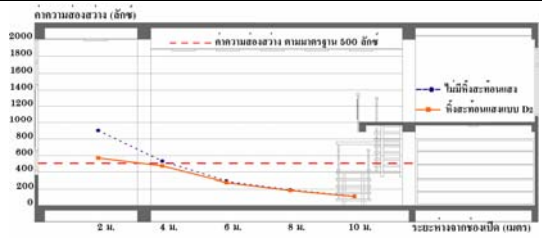
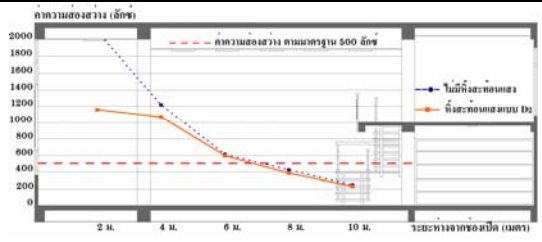
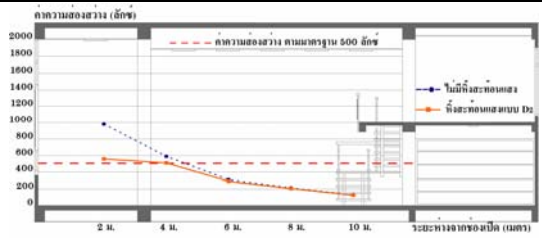
N_n = ค่าความส่องสว่างที่ลดลง (%) ตำแหน่งที่ n

N_{avg} = ค่าความส่องสว่างที่ลดลงของทุกตำแหน่งโดยเฉลี่ย (%)

หมายเหตุ : สูตรในการคำนวณค่าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยเฉลี่ยสำหรับ ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ใช้สูตรเดียวกับที่แสดงไว้ข้างต้น แต่เปลี่ยนเป็น ค่า VCP และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างแทน

6.1.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ตารางที่ 146 – 149 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างระหว่างแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง กับมีหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม พบว่าการมีหิ้งสะท้อนแสงทำให้ตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงมีจำนวน 11% ของตำแหน่งที่ทำการวัดค่าทั้งหมด โดยมีค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3% (9 ลักซ์) ส่วนตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างลดลงมีจำนวน 88% ของตำแหน่งที่ทำการวัดค่าทั้งหมด โดยมีค่าความส่องสว่างที่ลดลงจากเดิมโดยเฉลี่ย 16% (220 ลักซ์) ทั้งนี้บริเวณที่มีค่าความส่องสว่างลดลงมากจะเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้หน้าต่าง ซึ่งในสภาพปัจจุบันเป็นบริเวณที่มีค่าความส่องสว่างที่สูงเกินกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 146 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ผลการจำลองแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง กับแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

ค่าความส่องสว่าง (Illuminance)	
	
วันที่ 21 มีนาคม เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 มีนาคม เวลา 15:00 น.
	
วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 15:00 น.
	
วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 15:00 น.

ตารางที่ 147 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มีนาคม

เวลา	ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A							พิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน							ความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%)							A	B	C	D
9.00 น.	7146	7072	7082	7160	7085	7098	7159	6262	6243	6206	6218	6201	6198	6297	-12	-12	-12	-13	-12	-13	-12				
	6172	1547	1707	6201	1564	1709	6166	1543	1370	1461	1563	1376	1417	1563	-75	-11	-14	-75	-12	-17	-75				
	1013	1010	1055	1068	1022	1037	1019	944	908	947	982	926	939	924	-7	-10	-10	-8	-9	-9	-9	0	16	0	100
	604	683	687	647	707	676	615	566	627	630	595	622	619	554	-6	-8	-8	-8	-12	-8	-10				
	378	418	426	400	436	430	390	340	378	392	364	386	398	352	-10	-10	-8	-9	-11	-7	-10				
11.00 น.	1716	1658	1698	1737	1665	1695	1732	987	998	977	974	967	961	1010	-42	-40	-42	-44	-42	-43	-42				
	909	754	876	934	766	878	919	840	707	789	874	730	783	846	-8	-6	-19	-9	-5	-11	-8				
	463	476	490	498	489	494	473	452	450	468	470	471	478	453	-2	-5	-4	-6	-4	-3	-4	0	13	0	100
	272	310	316	300	327	315	284	259	301	300	295	309	297	276	-5	-3	-5	-2	-6	-6	-3				
	161	184	185	183	199	197	175	151	172	179	180	185	185	162	-6	-7	-3	-2	-7	-6	-7				
13.00 น.	667	658	663	677	662	666	677	489	501	483	488	495	497	494	-27	-24	-27	-28	-25	-25	-27				
	353	295	339	368	304	342	359	365	325	350	377	337	343	371	**3**	**10**	**3**	**2**	**11**	**0**	**3**				
	188	196	202	210	203	205	197	205	205	214	225	214	211	206	**9**	**5**	**6**	**7**	**5**	**3**	**5**	5	26	74	20
	119	134	138	133	138	138	125	128	137	147	149	144	144	136	**8**	**2**	**7**	**12**	**4**	**4**	**9**				
	68	79	81	79	87	84	77	70	81	81	80	88	89	78	**3**	**3**	**0**	**1**	**1**	**6**	**1**				
15.00 น.	885	875	882	903	886	881	885	556	563	552	557	566	555	566	-37	-36	-37	-38	-36	-37	-36				
	508	430	469	533	436	467	514	450	386	422	473	393	419	463	-11	-10	-10	-11	-10	-10	-10				
	259	292	301	285	304	301	267	252	272	285	269	286	283	255	-3	-7	-5	-6	-6	-6	-4	0	12	0	97
	166	193	196	191	208	197	175	164	184	190	184	201	188	166	-1	-5	-3	-4	-3	5	-5				
	99	111	119	113	127	121	115	97	106	115	112	117	121	107	-2	-5	-3	-1	-8	0	-7				
17.00 น.	581	576	577	590	580	579	584	345	345	340	344	345	345	349	-41	-40	-41	-42	-41	-40	-40				
	338	290	300	354	295	295	340	295	253	265	305	258	266	297	-13	-13	-12	-14	-13	-10	-13				
	163	191	197	183	201	197	169	156	176	183	169	185	182	156	-4	-8	-7	-8	-8	-8	-8	0	14	0	100
	108	124	128	125	132	129	112	104	116	122	116	123	121	107	-4	-6	-5	-7	-7	-6	-4				
	66	72	75	74	80	80	73	63	69	74	71	76	77	68	-5	-4	-1	-4	-5	-4	-7				
หมายเหตุ : A = ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย (%) B = ค่าความส่องสว่างที่ลดลงโดยเฉลี่ย (%) C = จำนวนตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%) D = จำนวนตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างที่ลดลง (%)																						5	16	15	83

ตารางที่ 148 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มิถุนายน

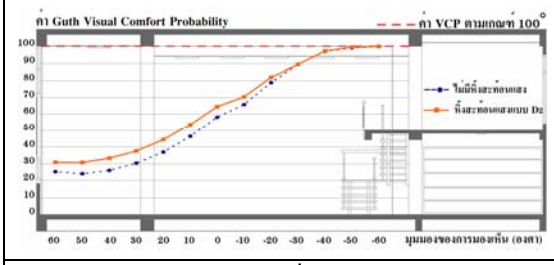
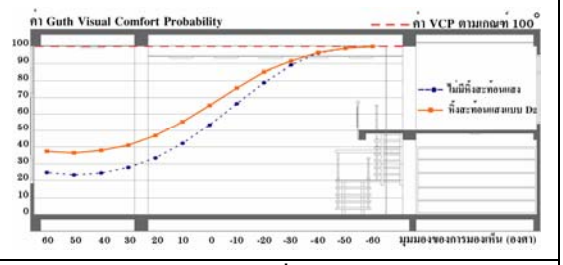
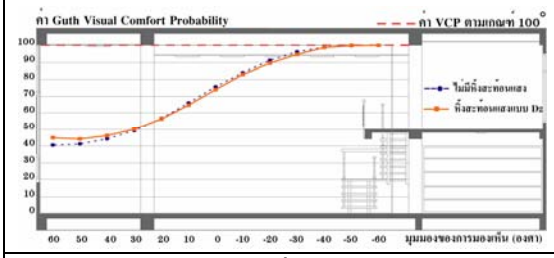
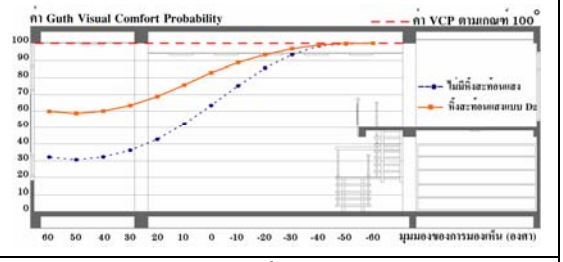
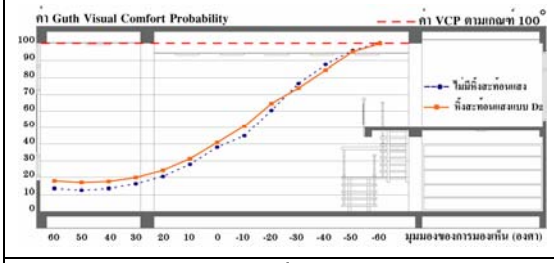
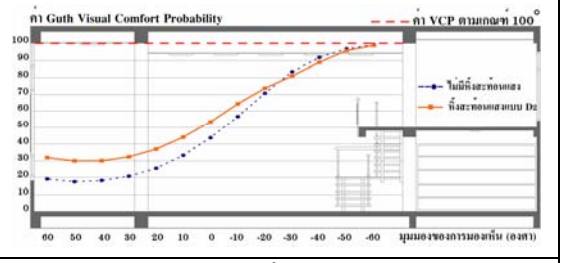
เวลา	ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A							พิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน							ความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%)							A	B	C	D
9.00 น.	2956	7626	2853	2977	7640	2842	2916	1646	1630	1573	1557	1604	1561	1683	-44	-79	-45	-48	-79	-45	-42				
	6677	6713	6682	6685	6703	6675	6603	6409	6373	6374	6375	6382	6323	6375	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-3				
	1001	1017	980	1028	1029	974	967	903	928	906	939	935	881	873	-10	-9	-8	-9	-9	-10	-10	0	17	0	100
	594	651	673	625	659	650	564	543	602	622	583	616	591	520	-9	-8	-8	-7	-7	-9	-8				
	368	400	404	378	413	420	356	338	372	368	351	384	373	322	-8	-7	-9	-7	-7	-11	-10				
11.00 น.	1411	1380	1362	1425	1390	1363	1403	849	845	830	845	823	834	861	-40	-39	-39	-41	-41	-39	-39				
	728	692	616	747	694	629	719	692	653	593	707	654	602	695	-5	-6	-4	-5	-6	-4	-3				
	379	388	381	399	391	376	364	373	373	374	395	389	376	364	-2	-4	-2	-1	-1	0	0	1.5	12	6	88
	223	246	262	246	255	253	219	226	235	254	250	247	248	215	1	-4	-3	2	-3	-3	-2				
	133	147	154	150	157	159	136	127	140	147	138	148	149	128	-5	-5	-5	-8	-6	-6	-6				
13.00 น.	587	582	578	598	586	586	588	447	450	462	450	448	445	455	-24	-23	-20	-25	-24	-24	-23				
	309	289	266	319	296	265	306	327	306	295	339	310	296	328	**6**	**6**	**11**	**6**	**5**	**12**	**7**				
	175	176	176	188	178	172	170	188	185	184	199	195	185	185	**7**	**5**	**5**	**6**	**10**	**8**	**9**	7	23	77	20
	108	118	122	122	124	119	103	115	126	132	135	130	127	111	**6**	**7**	**8**	**11**	**5**	**7**	**8**				
	63	69	73	70	74	75	64	63	71	76	74	76	80	67	**0**	**3**	**4**	**6**	**3**	**7**	**5**				
15.00 น.	883	877	876	899	879	878	886	554	562	557	567	568	549	570	-37	-36	-36	-37	-35	-37	-36				
	514	464	430	529	470	428	504	463	423	393	472	423	389	455	-10	-9	-9	-11	-10	-9	-10				
	265	292	295	290	303	293	258	258	277	279	276	286	275	246	-3	-5	-5	-5	-6	-6	-5	0	12	0	100
	173	195	205	190	202	200	166	164	182	197	181	191	192	162	-5	-7	-4	-5	-5	-4	-2				
	104	115	117	113	121	124	107	100	109	110	109	120	116	103	-4	-5	-6	-4	-1	-6	-4				
17.00 น.	661	655	659	672	664	664	658	393	392	387	389	392	386	394	-41	-40	-41	-42	-41	-42	-40				
	389	348	320	404	355	318	384	342	313	283	350	315	280	335	-12	-10	-12	-13	-11	-12	-13				
	195	226	226	211	231	220	192	182	207	209	198	214	203	177	-7	-8	-8	-6	-7	-8	-8	0	14	0	100
	129	145	151	144	150	146	123	121	135	142	134	144	138	120	-6	-7	-6	-7	-4	-5	-2				
	79	86	89	88	92	92	78	75	80	85	82	86	85	76	-5	-7	-4	-7	-7	-8	-3				
หมายเหตุ : A = ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย (%) B = ค่าความส่องสว่างที่ลดลงโดยเฉลี่ย (%) C = จำนวนตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%) D = จำนวนตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างที่ลดลง (%)																						4	16	17	82

ตารางที่ 149 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 ธันวาคม

เวลา	ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A							หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน							ความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%)							A	B	C	D
9.00 น.	5377	5355	2197	5405	5318	2212	5401	4749	4748	1315	4709	4710	1282	4771	-12	-11	-40	-13	-11	-42	-12				
	4603	1104	4795	4661	1111	4767	4660	1190	963	1184	1216	943	1159	1209	-74	-13	-75	-74	-15	-76	-74				
	752	4173	4192	785	4200	4191	806	718	4093	4110	754	4109	4096	727	-10	-2	-2	-4	-2	-2	-10	0	20	0	100
	458	530	530	523	567	545	506	417	483	483	475	505	493	457	-9	-9	-9	-9	-11	-10	-10				
	268	313	332	325	352	347	323	249	289	301	289	314	313	288	-7	-8	-9	-11	-11	-10	-11				
11.00 น.	2047	2012	2072	2098	2041	2077	2080	1178	1194	1160	1158	1150	1209	1217	-42	-41	-44	-45	-44	-42	-41				
	1146	877	1158	1216	879	1161	1194	1027	779	1013	1070	790	1009	1065	-10	-11	-13	-12	-10	-13	-11				
	556	621	665	614	648	670	593	543	589	620	598	614	622	573	-2	-5	-7	-3	-5	-7	-3	0	14	0	100
	346	411	412	426	439	418	393	344	394	396	389	419	409	366	-1	-4	-4	-9	-5	-2	-7				
	202	238	252	250	270	265	244	190	228	235	233	257	250	230	-6	-4	-7	-7	-5	-6	-6				
13.00 น.	1245	1241	1264	1281	1250	1275	1279	771	780	789	761	770	771	800	-38	-37	-38	-41	-38	-40	-37				
	703	539	708	748	551	713	732	647	504	635	674	513	633	663	-8	-6	-10	-10	-7	-11	-9				
	349	392	414	388	413	421	369	346	374	392	386	398	398	362	-1	-5	-5	-1	-4	-5	-2	0	12	0	97
	225	263	268	270	287	268	251	222	256	262	260	272	264	241	-1	-3	-2	-4	-5	-1	-4				
	131	151	161	159	171	170	157	124	146	153	155	171	168	155	-5	-3	-5	-3	0	-1	-1				
15.00 น.	950	942	960	979	956	964	964	571	565	567	556	563	574	579	-40	-40	-41	-43	-41	-40	-40				
	552	433	535	586	442	546	573	483	387	479	507	289	472	505	-13	-11	-10	-13	-12	-14	-12				
	277	315	330	306	331	333	288	258	592	309	287	306	306	271	-7	-7	-6	-6	-8	-8	-6	0	14	0	100
	176	210	212	210	227	212	196	170	198	201	202	214	205	186	-3	-6	-5	-4	-6	-3	-5				
	105	118	127	126	139	136	125	99	114	120	121	129	129	119	-6	-3	-6	-4	-7	-5	-5				
17.00 น.	357	352	356	364	357	356	361	203	203	203	198	200	198	208	-43	-42	-43	-46	-44	-44	-42				
	205	166	191	216	171	189	209	178	145	167	185	145	166	181	-13	-13	-13	-14	-15	-12	-13				
	100	114	120	109	120	120	103	94	106	111	102	110	110	97	-6	-7	-8	-7	-8	-8	-6	0	15	0	100
	64	75	76	75	80	77	68	62	71	72	71	75	73	64	-3	-5	-5	-5	-6	-5	-6				
	39	43	46	45	48	49	45	36	41	44	43	45	46	42	-8	-5	-4	-4	-6	-6	-7				
หมายเหตุ : A = ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย (%) B = ค่าความส่องสว่างที่ลดลงโดยเฉลี่ย (%) C = จำนวนตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%) D = จำนวนตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างที่ลดลง (%)																						0	15	0	99
ความส่องสว่างเฉลี่ยที่เพิ่มทั้ง 3 วัน																						3	16	11	88

6.1.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า VCP ตารางที่ 150 – 153 แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP ระหว่างแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง และมีหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม พบว่าการมีหิ้งสะท้อนแสงทำให้ตำแหน่งที่มีค่า VCP สูงขึ้นมีจำนวน 74.9% ของตำแหน่งที่ทำการวัดค่า VCP ทั้งหมด โดยมีค่า VCP ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 26.7% ส่วนตำแหน่งที่มีค่า VCP ลดลงมีจำนวน 19.5% ของตำแหน่งที่วัดค่า VCP ทั้งหมด โดยมีค่า VCP ที่ลดลงจากเดิมเฉลี่ย 0.7%

ตารางที่ 150 แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP ผลการจำลองแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

ค่า VCP	
	
วันที่ 21 มีนาคม เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 มีนาคม เวลา 15:00 น.
	
วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 15:00 น.
	
วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 15:00 น.

ตารางที่ 151 แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) จำนวนที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มีนาคม

ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A					หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน					ค่า VCP ที่เพิ่มขึ้น (%)					ค่าเฉลี่ยของทั้งวัน (%)
เวลาที่ทำการจำลอง					เวลาที่ทำการจำลอง					เวลาที่ทำการจำลอง					
9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.	9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.	9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.	
99.8	99.8	99.9	99.6	99.9	99.7	99.9	99.9	99.6	99.9	-0.1	-0.1	0	0	0	
99.0	99.0	99.6	98.5	99.5	98.6	99.4	99.7	98.6	99.5	-0.4	**0.4**	**00.1**	**00.1**	0	
96.9	96.9	98.8	95.7	98.2	94.2	97.2	98.8	96.1	98.4	-2.8	**0.3**	0	**0.4**	**0.2**	
78.8	89.3	94.7	88.7	94.4	82.9	89.2	95.8	91.1	94.6	**5.2**	-0.1	**1.2**	**2.7**	**0.2**	
62.2	78.7	88.3	78.4	87.9	72.4	81.8	92.0	84.8	90.2	**16.4**	**3.9**	**4.2**	**8.2**	**2.6**	
45.3	65.6	79.1	65.9	78.7	58.3	70.2	85.6	75.3	82.6	**28.7**	**7.0**	**8.2**	**14.3**	**4.9**	
31.0	58.0	68.4	53.1	68.2	47.7	64.3	77.8	64.9	73.7	**53.9**	**10.9**	**13.7**	**22.2**	**8.1**	
20.6	46.3	57.7	42.0	57.8	36.3	53.5	69.6	55.1	64.5	**76.2**	**15.6**	**20.6**	**31.2**	**11.6**	
13.9	36.8	48.4	33.2	49.0	27.7	44.3	62.0	46.7	56.3	**99.3**	**20.4**	**28.1**	**40.7**	**14.9**	
9.8	30.2	41.9	27.6	43.0	21.8	37.5	56.4	40.9	50.5	**122.4**	**24.2**	**34.6**	**48.2**	**17.0**	
7.6	25.9	37.7	24.3	39.5	18.1	33.2	53.1	37.8	46.9	**138.2**	**28.2**	**40.8**	**55.6**	**18.7**	
6.7	23.9	36.0	23.1	38.8	16.2	30.6	51.5	36.3	45.6	**141.8**	**28.0**	**43.1**	**57.1**	**17.5**	
7.3	25.1	37.9	24.6	41.3	16.3	30.7	52.7	37.2	46.3	**123.3**	**22.3**	**39.1**	**51.2**	**12.1**	
ค่า VCP ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย (%)										80.5	14.7	23.4	27.7	9.8	31.2
ค่า VCP ที่ลดลงโดยเฉลี่ย (%)										-1.1	-0.1	-0	-0	-0	0
จำนวนตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่เพิ่มขึ้น (%)										**77**	**92**	**85**	**92**	**85**	**86.2**
จำนวนตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่ลดลง (%)										23	8	0	0	0	6.2

ตารางที่ 152 แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) จำนวนที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มิถุนายน

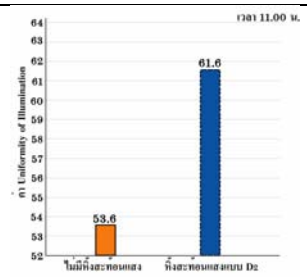
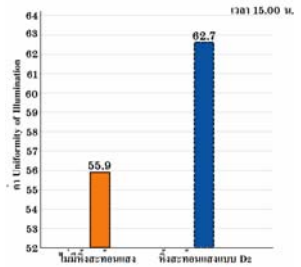
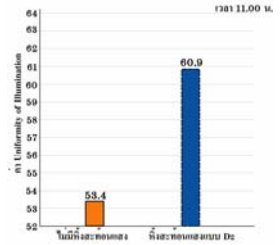
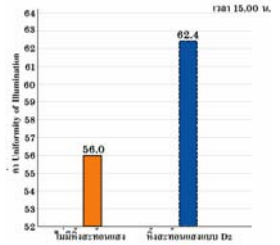
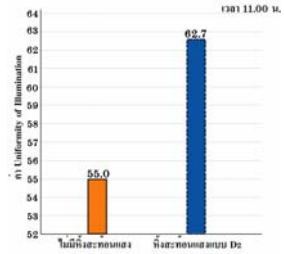
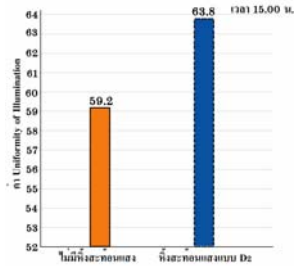
ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A					หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน					ค่า VCP ที่เพิ่มขึ้น (%)					ค่าเฉลี่ยของทั้งวัน (%)
เวลาที่ทำการจำลอง					เวลาที่ทำการจำลอง					เวลาที่ทำการจำลอง					
9.00 น.	**11.00 น.**	**13.00 น.**	**15.00 น.**	**17.00 น.**	**9.00 น.**	**11.00 น.**	**13.00 น.**	**15.00 น.**	**17.00 น.**	**9.00 น.**	**11.00 น.**	**13.00 น.**	**15.00 น.**	**17.00 น.**	
100.0	100.0	100.0	99.9	99.9	99.9	99.9	100.0	99.9	99.9	-0.1	-0.1	0	0	0	
99.9	99.9	100.0	99.5	99.7	99.6	99.7	99.9	99.8	99.7	-0.3	-0.2	-0.1	**0.3**	0	
99.5	98.8	99.9	98.4	99.0	97.6	98.6	99.5	98.9	98.9	-1.9	-0.2	-0.4	**0.5**	**-0.1**	
88.4	96.0	98.5	93.2	95.7	88.6	94.5	97.5	96.7	96.1	**0.2**	1.6	-1.0	**3.8**	**0.4**	
75.5	91.0	95.5	85.4	90.1	78.0	89.3	94.8	93.2	92.2	**3.3**	1.9	-0.7	**9.1**	**2.3**	
59.7	83.8	89.8	74.9	82.0	67.5	82.8	91.0	88.5	85.8	**13.1**	1.2	**1.3**	**18.2**	**4.6**	
52.8	75.5	81.5	63.2	72.2	61.0	73.8	86.0	82.7	79.3	**15.5**	2.3	**5.5**	**30.9**	**9.8**	
39.8	65.8	71.7	52.0	62.3	49.3	64.5	79.5	75.4	71.0	**23.9**	2	**10.9**	**45**	**14**	
29.7	56.6	61.9	42.6	53.5	39.4	56.2	73.0	68.5	63.2	**32.7**	0.7	**17.9**	**60.8**	**18.1**	
22.7	49.1	53.6	36.1	47.4	32.0	49.9	67.6	63.2	57.2	**41**	**1.6**	**26.1**	**75.1**	**20.7**	
18.1	44.1	47.9	32.1	43.5	27.0	46.1	64.1	59.9	53.4	**49.2**	**4.5**	**33.8**	**86.6**	**22.8**	
16.0	41.1	44.5	30.4	42.6	23.9	44.1	61.9	58.5	51.2	**49.4**	**7.3**	**39.1**	**92.4**	**20.2**	
16.5	40.4	45.7	32.0	45.0	23.1	44.8	62.2	59.7	51.7	**40.0**	**10.9**	**36.1**	**86.6**	**14.9**	
ค่า VCP ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย (%)										**26.8**	**6.0**	**21.3**	**42.4**	**12.8**	**21.9**
ค่า VCP ที่ลดลงโดยเฉลี่ย (%)										0.8	1.1	0.6	0	0.1	0.5
จำนวนตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่เพิ่มขึ้น (%)										**77**	**31**	**61**	**92**	**77**	**67.6**
จำนวนตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่ลดลง (%)										23	69	31	0	8	**26.2**

ตารางที่ 153 แสดงการเปรียบเทียบค่า VCP (Guth Visual Comfort Probability) จำนวนที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 ธันวาคม

ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A					หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน					ค่า VCP ที่เพิ่มขึ้น (%)					ค่าเฉลี่ยของทั้งวัน (%)
เวลาที่ทำการจำลอง					เวลาที่ทำการจำลอง					เวลาที่ทำการจำลอง					
9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.	9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.	9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.	
99.6	97.9	98.9	99.1	100.0	99.3	97.5	98.6	98.6	100.0	-0.3	-0.4	-0.3	-0.5	0	
98.3	93.5	96.2	96.6	99.8	97.4	92.8	95.5	95.6	99.8	-0.9	-0.7	-0.7	-1.0	0	
95.1	85.4	90.5	91.5	99.2	90.0	82.4	87.1	88.7	99.0	5.4	3.5	3.8	3.1	-0.2	
77.7	74.6	81.7	83.2	96.7	78.2	71.9	77.7	80.8	96.8	**0.6**	3.6	4.9	2.9	**0.1**	
60.6	58.9	68.2	70.5	92.1	67.0	62.9	70.6	73.5	93.6	**10.6**	**6.8**	**3.5**	**4.3**	**1.6**	
43.5	43.7	53.8	56.6	85.0	52.3	49.4	58.0	64.2	88.0	**20.2**	**13**	**7.8**	**13.4**	**3.5**	
29.4	37.0	47.1	43.7	80.0	39.2	39.8	46.3	53.4	80.8	**33.3**	**7.6**	**1.7**	**22.2**	**1.0**	
19.2	27.0	36.3	33.2	71.4	28.8	30.3	36.6	44.1	73.0	**50**	**12.2**	**0.8**	**32.8**	**2.2**	
12.7	19.9	28.2	25.5	63.3	21.4	23.5	29.6	36.9	65.7	**68.5**	**18.1**	**5.0**	**44.7**	**3.8**	
8.9	15.6	23.1	20.8	57.2	16.7	19.3	25.0	32.3	60.3	**87.6**	**23.7**	**8.2**	**55.3**	**5.4**	
6.7	13.1	20.0	18.3	53.2	14.1	17.0	22.7	30.0	57.2	**110.4**	**29.8**	**13.5**	**63.9**	**7.5**	
5.9	12.2	18.9	17.6	51.9	12.8	16.4	22.4	29.9	56.2	**116.9**	**34.4**	**18.5**	**69.9**	**8.3**	
6.4	13.1	20.3	19.2	53.8	13.4	17.3	23.8	31.8	57.8	**109.4**	**32.1**	**17.2**	**65.6**	**7.4**	
									ค่า VCP ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย (%)	**60.8**	**19.7**	**9.3**	**41.3**	**4.1**	**27.0**
									ค่า VCP ที่ลดลงโดยเฉลี่ย (%)	2.2	2.1	2.3	1.9	0.2	**1.7**
									จำนวนตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่เพิ่มขึ้น (%)	**77**	**69**	**62**	**69**	**77**	**70.8**
									จำนวนตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่ลดลง (%)	23	31	38	31	8	**26.2**
จำนวนค่า VCP ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 วัน = 26.7%, จำนวนค่า VCP ที่ลดลงเฉลี่ยทั้ง 3 วัน = 0.7%, จำนวนตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 วัน = 74.9%, จำนวนตำแหน่งที่มีค่า VCP ที่ลดลงทั้ง 3 วัน = 19.5%															

6.1.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ตารางที่ 154 – 155 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ระหว่างแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสง และมีหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม พบว่าการมีหิ้งสะท้อนแสงทำให้ช่วงเวลาที่มีค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างเพิ่มขึ้นมีจำนวน 80% ของช่วงเวลาทั้งหมดที่ทำการศึกษา โดยมีค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 12.2% ส่วนช่วงเวลาที่มีค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างลดลงมีจำนวน 20% ของช่วงเวลาที่ทำการศึกษาทั้งหมด โดยมีค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างลดลงโดยเฉลี่ย 7.6%

ตารางที่ 154 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ผลการจำลองแบบไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity of Illumination)	
	
วันที่ 21 มีนาคม เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 มีนาคม เวลา 15:00 น.
	
วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 มิถุนายน เวลา 15:00 น.
	
วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 11:00 น.	วันที่ 21 ธันวาคม เวลา 15:00 น.

ตารางที่ 155 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในวันที่ 21 มีนาคม มิถุนายน และธันวาคม

วันที่ทำการจำลอง	ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงแบบ A					หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมสีขาวด้าน					ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้น (%)					A	B	C	D
	เวลาที่ทำการจำลอง					เวลาที่ทำการจำลอง													
	9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.	9.00 น.	11.00 น.	13.00 น.	15.00 น.	17.00 น.									
21 มีค.	48.4	53.6	55	55.9	55.8	44.4	61.6	61.2	62.7	62.9	-8.3	14.9	11.3	12.2	12.7	12.8	-8.3	80	20
21 มิย.	47	53.4	55.1	56	56.1	43.9	60.9	59.3	62.4	63.2	-6.6	14	7.6	11.4	12.7	11.4	-6.6	80	20
21 ธค.	48.6	55	55.6	59.2	55.4	44.8	62.7	63.1	63.8	63.5	-7.8	14	13.5	7.8	14.6	12.5	-7.8	80	20
															ค่าเฉลี่ยทั้ง 3 วัน และ 5 เวลา	12.2	7.6	80	20

หมายเหตุ : A = ค่าความสม่ำเสมอที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (%) B = ค่าความสม่ำเสมอที่ลดลงเฉลี่ย (%) C = จำนวนช่วงเวลาที่มีค่าความสม่ำเสมอที่เพิ่มขึ้น (%) D = จำนวนช่วงเวลาที่มีค่าความสม่ำเสมอที่ลดลง (%)

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. บทสรุป

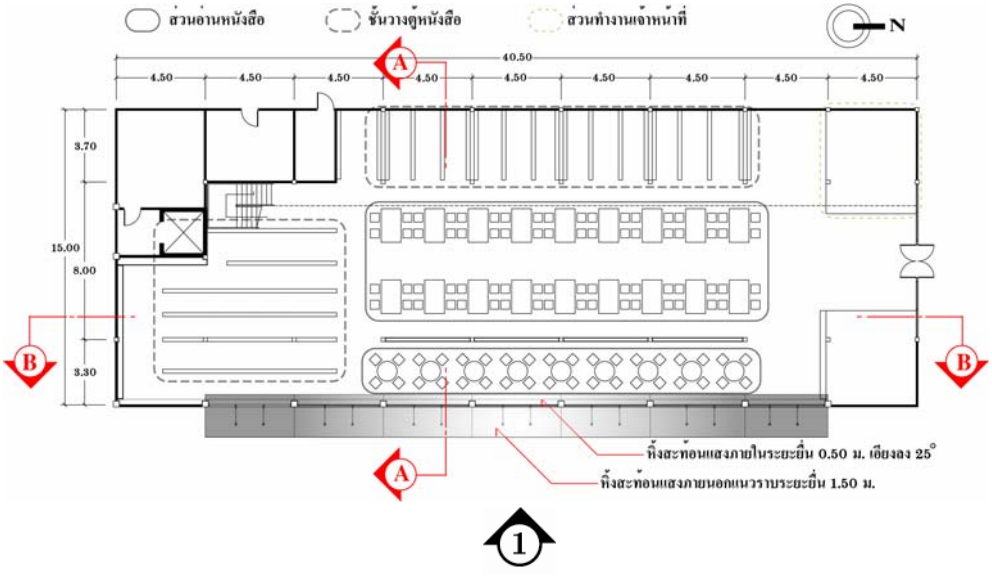
การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบและวัสดุของหิ้งสะท้อนแสงที่มีความเหมาะสมกับห้องอ่านหนังสือของอาคารหอสมุดแห่งชาติ ที่ทำให้ระดับค่าความส่องสว่างดีขึ้น ลดแสงบาดตา และการกระจายแสงของความส่องสว่างที่มีความสม่ำเสมอภายในพื้นที่อ่านหนังสือมากขึ้น โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Desktop Radiance จำลองสภาพแสงสว่างภายในอาคาร ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1.1 รูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสม

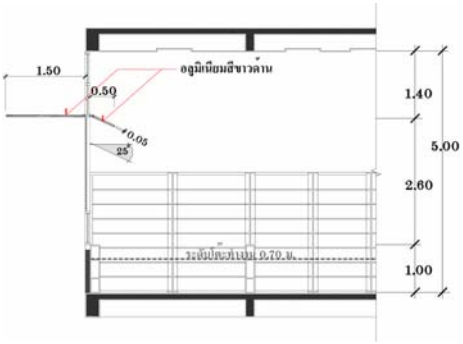
จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงทั้งหมด 16 รูปแบบ ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน หิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 (ภายนอกแนวราบระยะยื่น 1.50 เมตร ภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 25˚) มีค่าคะแนนรวมที่ดีที่สุด เมื่อเปลี่ยนวัสดุของหิ้งสะท้อนแสงเป็นวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีเงินมันวาว พบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 (ภายนอกระยะยื่น 1.50 เมตร มุมเอียงขึ้น 25˚ ภายในระยะยื่น 0.50 เมตร มุมเอียงลง 25˚) มีคะแนนรวมทุกปัจจัยที่สูงกว่าหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบอื่น แต่เนื่องจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ H1 ซึ่งภายนอกมีมุมเอียงขึ้นนั้น อาจจะมีปัญหาในแง่ของน้ำฝนไหลเข้าอาคาร ดังนั้นรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ควรนำไปใช้จึงเป็นหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสภาพปัจจุบันที่ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงกับมีหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน พบว่าการมีหิ้งสะท้อนแสงดังกล่าวทำให้ค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3.0% (9 ลักซ์) ค่า VCP ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 26.7% และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 12.2%

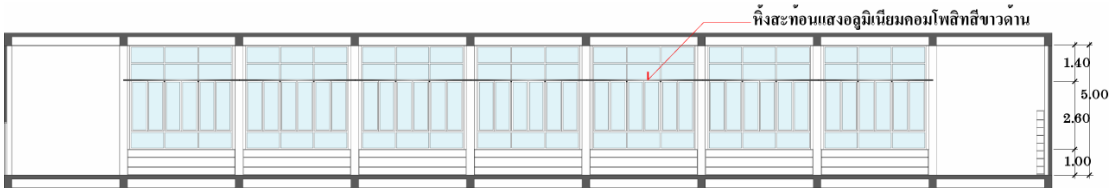
ลักษณะภายนอกและภายในอาคารของหอสมุดแห่งชาติ เปรียบเทียบระหว่างสภาพปัจจุบัน และเมื่อมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง แสดงไว้ในภาพที่ 83 - 91



ภาพที่ 83 แสดงแปลนของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน



ภาพที่ 84 แสดงรูปตัด A ของหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

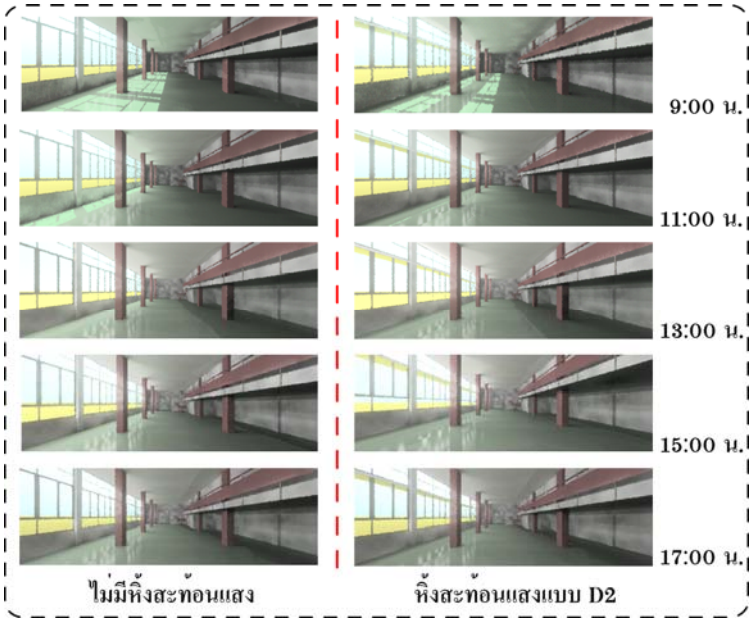


ภาพที่ 85 แสดงรูปตัด B ของหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน

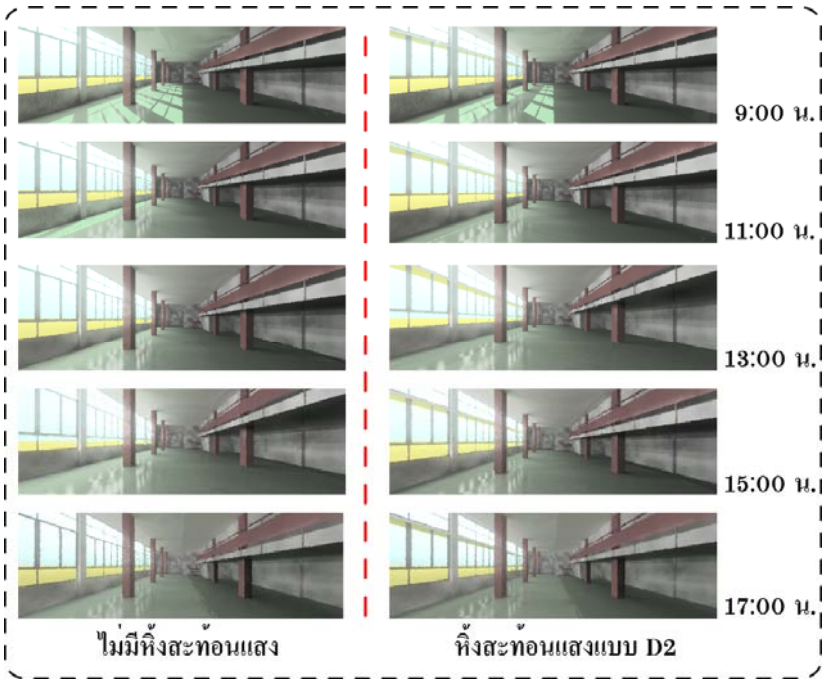
ภาพที่ 86 แสดงรูปด้าน 1 ทางด้านทิศตะวันออกของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2

ภาพที่ 87 แสดงการเปรียบเทียบทัศนียภาพภายนอกที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กับหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2

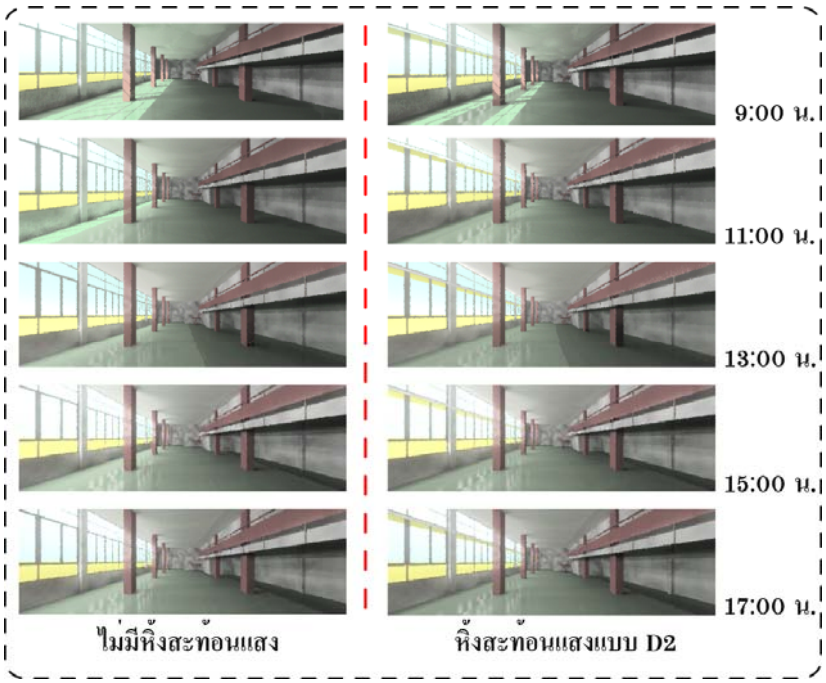
ภาพที่ 88 แสดงแบบขยายทัศนียภาพภายนอกที่ติดตั้งรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2



ภาพที่ 89 แสดงการเปรียบเทียบทัศนียภาพภายในที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงกับติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 มีนาคม



ภาพที่ 90 แสดงการเปรียบเทียบทัศนียภาพภายในที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงกับติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 มิถุนายน



ภาพที่ 91 แสดงการเปรียบเทียบทัศนียภาพภายในที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงกับติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบ D2 วัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวด้าน ในวันที่ 21 ธันวาคม

1.2 เปรียบเทียบผลการศึกษากับทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่าหิ้งสะท้อนแสงที่มีมุมเอียงขึ้น ช่วยการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับของ moore (1991 : 89) ที่ได้ระบุไว้ และงานวิจัยของ (เรณู ด่านกุล, 2545 : 135) นอกจากนี้พบว่าพื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) ช่วยในการกระจายแสงให้มีความสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้น และการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) พื้นผิวที่มีความมันเงา จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในให้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ชัยวัฒน์ มุตติสานต์ 2548 : 46)

2. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปมีดังนี้ คือ

2.1 ศึกษาหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบอื่นๆ เช่น หิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง ที่มีผลต่อการนำแสงสะท้อนเข้าสู่ภายในห้อง

2.2 ศึกษาหิ้งสะท้อนแสงที่มีความสำคัญ ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ

2.3 ศึกษารูปแบบของฝ้าเพดาน เช่น ฝ้าเพดานที่มีมุมเอียง หรือฝ้าเพดานแบบโค้ง ที่มีผลต่อการสะท้อนแสงจากหิ้งสะท้อนแสง

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2545.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

ชัยวัฒน์ มุตติศานต์. “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร.” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539.

ธวัชชัย ชยาวนิช. มารู้จักแสงธรรมชาติกันเถอะ [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 15 December 2007. เข้ามาได้จาก http://digial.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue4/articles/article4.html

ธนิต จินดาวณิค. สถาปัตยกรรมเทคโนโลยี ชุดสื่อสาระ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย, 2540.

พิบูลย์ ดิษฐอุดม. การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540.

ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2 คณะสถาปัตยกรรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา. “กฎอย่างง่ายและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาระดับแสงธรรมชาติจากหน้าต่าง.” 27 - 29 กรกฎาคม 2549.

เรณู ด่านกุล. “การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนระดับมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร. ” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

Andras Majoros. Daylighting. Brisbane : The University of Queenland Printery,1998.

Bohlin Cywinski Jackson. Seattle City Hall [online]. Accessed 8 May 2007. Available from http://www.daylightinglab.com/daylighting/study_2000_Seattle_City_Hall.pdf

Brown and Dekay. Sun, Wind & Light Architect Design Strategies, New York : John Wiley & Sons Co, 2001.

B. Stein and J. Reynolds. Mechanical and Electrical Equipment for Building. New York : John Wiley & Sons Co., 1988.

Claude L. Robbins. Daylighting Design & Analysis. New York : Van Nostrad Rein Hold Co, 1986.

Full Moore. Concepts and Practice of Architectural Daylighting. New York : Van Nostrand Reinhold,1984.

Gary R. Staffy and others. Architect Interior System. New York : Van Nostrand Reinhold, 1992.

Gregg D. Ander. Daylighting Performance And Design. New York Van Nostrand Reinhold : 1995.

G.Z. Brown and Mark Dekay. Sun, Wind & Light Architecture Design Strategies. New York : John Wiley & Sons Co., 2001.

IES. Illuminating Engineering Society of North America. IES Lighting handbook 1981 Reference Volume. New York, 1981.

Lombard Conrad. Idaho Central Credit Union Headquarters [online]. Accessed 8 May 2007. Available from http://www.ieasho.org/task21/A_survey_architectural_solutions/IBM-Building.pdf

Lombard Conrad. Idaho Central Credit Union Headquarters [online]. Accessed 8 May 2007. Available from http://www.uiweb.uidaho.edu/idl/PDF/ICCU/ICCU% 20 (01_21_05).pdf

M. David Egan and Victor W. Olgyay. Architectural Lighting. New York : McGraw – Hill, 2002.

Norbert Lechner. Heating, Cooling, Lighting, New York : John Wiley & Sons Co., 2001.

Scartezzini, J.L and Courret, G. Innovation and Daylightin BuildingsInnovation and Daylightin Buildings [online]. Accessed 18 August 2008. Available from http://www.

veluxstiftung.ch/downloads/Innovation_Daylight_Scartezzini.pdf

Stevensville, MacArthur. Missoula Federal Credit Union [online]. Accessed 8 May 2007. Available from http: //www.daylightlab.com/study_2005_Missoula_Fed_Credit_ Union.pdf

Surapong Jirattananon and Pipat Chaiwiwatworakul. Daylight Availality Models for Global and Diffuse Horizontal Illuminance and Irradiance and Models for Sky Luminance for Bangkok. Asian Institute of Technology : Bangkok, 2001.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวผการัตน์ โกสัลล์ประไพ
ที่อยู่	19/102 หมู่ 4 ตำบล สวนใหญ่ อำเภอ เมือง จังหวัด นนทบุรี 11000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2542	สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จาก มหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ. 2547	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิตมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2549 – 2551	บริษัทลีอาร์คีเทค จำกัด
พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน	สถาปนิกอิสระ