การออกแบบหน้าต่างเป็นหิ้งสะท้อนแสงในการเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

WINDOWS DESIGNED AS LIGHT SHELVES FOR EFFICIENT DAYLIGHTING IN SCHOOL BUILDING. CASE STUDY : PRIMARY SCHOOL IN BANGKOK

ทศพล แสงสุวรรณ

THOTSAPHON SAENGSUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1092-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบหน้าต่างเป็นหิ้งสะท้อนแสงในการเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

WINDOWS DESIGNED AS LIGHT SHELVES FOR EFFICIENT DAYLIGHTING IN SCHOOL BUILDING. CASE STUDY : PRIMARY SCHOOL IN BANGKOK

ทศพล แสงสุวรรณ
THOTSAPHON SAENGSUWAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 53822
วัน,เดือน,ปี 26 พ.ย. 2547

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2547

ISBN 974-15-1092-6

.b.....
.i.....

WINDOWS DESIGNED AS LIGHT SHELVES FOR EFFICIENT DAYLIGHTING IN SCHOOL BUILDING.
CASE STUDY : PRIMARY SCHOOL IN BANGKOK

THOTSAPHON SAENGSUWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

ISBN 974-15-1092-6

COPYRIGHT 2004
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบหน้าต่างเป็นหิ้งสะท้อนแสงในการเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

WINDOWS DESIGNED AS LIGHT SHELVES FOR EFFICIENT DAYLIGHTING IN SCHOOL BUILDING. CASE STUDY : PRIMARY SCHOOL IN BANGKOK

ชื่อนักศึกษา นายทศพล แสงสุวรรณ

รหัสประจำตัว 45062103

ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ธีรมน	ไวโรจนกิจ	
ผศ.ดร.สมชาย	ศรีสมพงษ์	
ผศ.ชัยยุทธ	ศรีเผด็จ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 3 มิถุนายน 2547 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 28 **เดือน** กรกฎาคม **พ.ศ.** 2547

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบหน้าต่างเป็นหิ้งสะท้อนแสงในการเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร
นักศึกษา	นายทศพล แสงสุวรรณ
รหัสประจำตัว	45062103
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ

บทคัดย่อ

จากการศึกษาแบบอาคารเรียนระดับประถมศึกษาตามมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ พบว่าสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ในการให้ความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน CIE และ IES ได้ที่ความลึกเพียง 2 เมตรจากริมหน้าต่าง ส่วนที่ลึกเกินกว่า 2 เมตรจะมีค่าความสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 500 ลักซ์ ซึ่งเป็นเหตุให้ต้องนำแสงประดิษฐ์เข้ามาใช้ในการเพิ่มค่าความสว่าง ทำให้อาคารประเภทสถานศึกษาสิ้นเปลืองพลังงานในด้านแสงสว่างสูง การวิจัยนี้จึงทำการศึกษาแนวทางในการออกแบบหน้าต่างเป็นหิ้งสะท้อนแสงในการเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษาให้มีค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐานและเกิดภาวะสบายทางสายตาโดยใช้แสงประดิษฐ์ให้น้อยที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

การวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์และทดสอบเพื่อหารูปแบบ ลักษณะพื้นผิว ขนาดสัดส่วนและรูปทรงของหน้าต่าง รวมถึงการป้องกันแสงบาดตา เพื่อออกแบบหน้าต่างเป็นหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้แก้ปัญหาค่าความสว่างไม่เพียงพอในส่วนลึกของห้องเรียน โดยการสร้างหุ่นจำลองเพื่อทำการทดสอบและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณแสงภายในห้องเรียน การทดสอบกระทำภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ทำการหาค่า Daylight Factor เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้สอยตลอดทั้งปีของหน้าต่างแต่ละแบบ จากนั้นนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ ประเมินผล ข้อดี – ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ เพื่อนำเสนอรูปแบบที่ดีที่สุดในการนำไปใช้ต่อไป

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าอาคารเรียนตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการควรแบ่งช่องเปิดออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือหน้าต่างบานเปิดรับลม สูงจากพื้น 0.75 – 1.45 เมตร ส่วนที่สองคือหน้าต่างสะท้อนแสงบานพับแบบเปิดลง บานลึก 0.6 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา ทำมุมเอียง 10 องศากับแนวราบ ติดตั้งสูงจากพื้น 1.45 – 2.05 เมตร ส่วนที่สามคือช่องแสงแบบ

กระจกติดตายหนา 6 มม. ติดตั้งสูงจากพื้น 2.05 – 2.90 เมตร โดยมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงได้ค่า Daylight Factor ที่ความลึก 8.00 เมตร = 2.00 % ซึ่งสามารถสรุปลักษณะการใช้สอยได้ 2 ลักษณะดังนี้ 1. ใช้แสงธรรมชาติในการให้แสงสว่างโดยไม่พึ่งแสงประดิษฐ์ โดยกำหนดค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ ทั่วทั้งห้อง สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งปีได้ 90.89 % แต่ค่าการกระจายตัวของแสงยังแตกต่างกันมากเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากแต่ส่งผลกระทบต่อภาวะสบายทางสายตาแก่ผู้ใช้สอย 2. ใช้แสงธรรมชาติในการให้แสงสว่างร่วมกับแสงประดิษฐ์ กำหนดให้ใช้ความลึก 4 เมตร เป็นเกณฑ์ ซึ่งมีค่า Daylight Factor เท่ากับ 2.74% โดยกำหนดค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ สามารถใช้แสงธรรมชาติโดยไม่พึ่งแสงประดิษฐ์ที่ความลึก 1 – 4 เมตร ตลอดทั้งปีได้ 94.40% ส่วนที่ความลึก 5 – 8 เมตร ให้ใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มค่าความสว่างให้ถึงตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจะทำให้ทั่วทั้งห้องมีค่าความสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ และมีค่าการกระจายแสงที่ดี เกิดภาวะสบายทางสายตาแก่ผู้ใช้สอยและประหยัดพลังงานลงได้อีกด้วย

Thesis Title	WINDOWS DESIGNED AS LIGHT SHELVES FOR EFFICIENT DAYLIGHTING IN SCHOOL BUILDING. CASE STUDY : PRIMARY SCHOOL IN BANGKOK
Student	Mr. Thotsaphon Saengsuwan
Student ID	45062103
Degree	Master of Architecture
Program	Tropical Architecture
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Teeramon Wairojanakich

ABSTRACT

From the preliminary study of primary school building plans by the Ministry of Education, it appears that daylighting can be employed, according to CIE and IES Standards, only in the area of two meters from windows. However, beyond two meters, the illumination would not reach the required standard of 500 lux. As a result, the combination of artificial and daylighting helps reach the standard, but leads to a waste of lighting energy. The present study examines an approach to the design of window as a light shelves to improve the daylighting efficiency in the educational buildings. The results of the study would help increase the illumination value to meet the standard and foster the visual comfort with the least artificial lighting.

For this study, the analysis and experiment were conducted to determine the practical form, texture, size and shape, including the glare protection for the window designs. The experimental models were tested under the sky to analyze the daylight factors resulting in an amount of light in a classroom all year round.

The results suggest that the school buildings by the Ministry of Education should have three-parted windows. The first part is a casement window, equipped at 0.75-1.45 meters from the floor. Next is a 0.6-meter-wide-bottom hung window, in white color titled, placed 10° to the horizontal line, and built in at 1.45-2.05 meters from the floor. The third part is a 6-mm. clear glass-thick- fixed window, installed at 2.05-2.90 meters from the floor. Still, these three-parted windows bring about the reflectance efficiency with daylight Factor of 2.00% at the innermost area, eight meters from the window. There are

two functions of the windows in question: 1) when employing daylighting, the illuminance value reaches the standard of 500 lux. The room can be functioned in 90.87% of the operated time. Notwithstanding the energy saving, the average lighting is not up to the required standard. Thus this approach does not provide the visual comfort to users; and 2) when employing the daylighting combined with the artificial one in the area of 5-8 meters from the window, the illuminance value would meet the requirement of 500 lux. However, the daylighting can normally function in 94.40% of the operated time in the area of 1-4 meters from the window.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาในการทำวิจัยทุกขั้นตอนจาก รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และ ผศ.ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ ตลอดจนให้ความปรึกษาเรื่องทั่วๆ ไป เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจเทียบและแก้ไขทฤษฎีและอื่นๆ ที่ผิดพลาด จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และยังให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ทศพล แสงสุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... III

กิตติกรรมประกาศ..... IV

สารบัญ..... VI

สารบัญตาราง..... IX

สารบัญรูป..... XIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมา..... 1

1.2 ความสำคัญของปัญหา..... 2

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.5 สมมติฐานการวิจัย..... 4

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย..... 4

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

บทที่ 2 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 พฤติกรรมของแสง..... 7

2.2 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)..... 7

2.3 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ..... 10

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาพแสงสว่างภายใน..... 11

2.5 แนวทางการควบคุมแสงจ้าบาดตา (Glare)..... 11

2.6 กลยุทธในการออกแบบหน้าต่างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์..... 12

2.7 การใช้หิ้งสะท้อนแสงช่วยเพิ่มปริมาณแสงสว่าง..... 13

2.8 ชนิดของกระจก..... 16

2.9 มาตรฐานการส่องสว่าง..... 17

2.10 ประเภทของหน้าต่าง..... 18

2.11 อิทธิพลของตำแหน่งและรูปทรงของหน้าต่างที่มีผลต่อการกระจายแสง..... 19

2.12 รูปแบบของหน้าต่าง..... 20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ค่าความส่องสว่างในเขตกรุงเทพมหานคร..... 21

3.1 สภาพภูมิอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร..... 21

3.2 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อกรุงเทพมหานคร..... 22

3.3 ปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ของกรุงเทพฯ (Radiation and Illuminance)... 23

3.4 สภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร..... 24

บทที่ 4 แนวทางการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสมและการทดลอง..... 25

4.1 การวิเคราะห์สัดส่วนของห้องเรียน..... 25

4.2 การวิเคราะห์ขนาดสัดส่วนของช่องแสง..... 25

4.3 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน..... 27

4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 27

บทที่ 5 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหน้าต่างสะท้อนแสง..... 31

5.1 การวิเคราะห์ปัจจัยกายภาพของหน้าต่างสะท้อนแสง..... 31

5.2 การวิเคราะห์การกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่..... 32

5.3 การวิเคราะห์การออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม..... 32

5.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสง..... 33

5.5 การวิเคราะห์เพื่อเลือกประเภทหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม..... 36

5.6 การวิเคราะห์พื้นผิวที่เหมาะสม..... 55

5.7 การวิเคราะห์รูปแบบของหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม..... 57

5.8 การวิเคราะห์อิทธิพลด้านความลึกต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง..... 71

5.9 ชุดการทดสอบประสิทธิภาพหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสม..... 85

5.10 ชุดการทดสอบประสิทธิภาพหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสม 2..... 97

5.11 ชุดการทดสอบหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์..... 114

5.12 ชุดการทดสอบหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ 2..... 123

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 138
6.1 การกำหนดตัวแปรควบคุม..... 138
6.2 แนวทางการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสง..... 139
6.3 ประโยชน์และการนำไปใช้ในการออกแบบ..... 145
6.4 ข้อเสนอแนะ..... 146

บรรณานุกรม..... 147

ประวัติผู้เขียน..... 149

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงค่าเฉลี่ยของท้องฟ้าในลักษณะต่างๆ..... 8

2.2 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES..... 17
ตามประเภทการใช้งาน

2.3 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES..... 18
และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน

3.1 แสดงค่าความถี่ของความส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของกรุงเทพฯ..... 23
(1999 - 2000)

5.1 แสดงการวิเคราะห์การออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสง..... 33

5.2 แสดงจำนวนวันและชั่วโมงการใช้สอยห้องเรียนตลอดทั้งปี..... 34

5.3 แสดงจำนวนข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์จากการวัดค่าความสว่างภายนอก..... 35
ของกรุงเทพมหานคร ปี 2543

5.4 แสดงจำนวนวันและชั่วโมงการใช้สอยห้องเรียนตลอดทั้งปี..... 35

5.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างที่วัดได้วันที่ 16 ธันวาคม 2546..... 39

5.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] การทดลองวันที่ 16 ธันวาคม 2546..... 39

5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างที่วัดได้วันที่ 17 ธันวาคม 2546..... 40

5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] การทดลองวันที่ 17 ธันวาคม 2546..... 40

5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างที่วัดได้วันที่ 18 ธันวาคม 2546..... 41

5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] การทดลองวันที่ 18 ธันวาคม 2546..... 41

5.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] หุ่นจำลองโดยไม่มีหิ้งสะท้อนแสง..... 42

5.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] หุ่นจำลองแบบ Exterior Light Shelve..... 43

5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] หุ่นจำลองแบบ Interior Light Shelve..... 44

5.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] หุ่นจำลองแบบ Combined Light Shelve..... 45

5.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] หุ่นจำลองแบบ Blind Light Shelve..... 46

5.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] ของหิ้งสะท้อนแสงทุกประเภท..... 48

5.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] หิ้งสะท้อนแสงแบบ หุ่นจำลองแบบ..... 49
hBlind Light Shelve กับแบบ Combined Light Shelve

5.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] ตามความลึกของห้องเรียน..... 49

5.19 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 1..... 51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.20 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 1..... 52

5.21 แสดงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวแต่ละประเภท..... 55

5.22 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิดขึ้นทั้ง 2 บาน..... 60

5.23 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิดขึ้นทั้ง 2 บาน..... 61

5.24 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิดลงทั้ง 2 บาน..... 62

5.25 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิดลงทั้ง 2 บาน..... 63

5.26 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิดขึ้น-ลง..... 64

5.27 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิดขึ้น-ลง..... 65

5.28 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] เฉลี่ยจากชุดการทดลองที่ 3..... 66

5.29 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 3..... 67

5.30 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 3..... 68

5.31 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]..... 70

5.32 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิด 4 บาน..... 74

5.33 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิด 4 บาน..... 75

5.34 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิด 8 บาน..... 76

5.35 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิด 8 บาน..... 77

5.36 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิด 12 บาน..... 78

5.37 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิด 12 บาน..... 79

5.38 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] เฉลี่ยจากชุดการทดลองที่ 4..... 80

5.39 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 4..... 81

5.40 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 4..... 82

5.41 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเกล็ดอยู่ด้านบน-บานเปิด..... 88
อยู่ด้านล่าง

5.42 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเกล็ดอยู่ด้านบน-บานเปิด... 89
อยู่ด้านล่าง

5.43 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเกล็ดอยู่ด้านล่าง-บานเปิด..... 90
อยู่ด้านบน

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.44 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเกล็ดอยู่ด้านล่าง-บานเปิด.. 91
อยู่ด้านบน

5.45 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] เฉลี่ยจากชุดการทดลองที่ 5..... 92

5.46 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 5..... 93

5.47 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 5..... 94

5.48 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบเกล็ด 4 บานอยู่ด้านบน-บานเปิด..... 100
อยู่ด้านล่าง

5.49 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบเกล็ด 4 บานอยู่ด้านบน..... 101
บานเปิดอยู่ด้านล่าง

5.50 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิดอยู่ด้านล่าง..... 102

5.51 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] แบบบานเปิดอยู่ด้านล่าง..... 103

5.52 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. [%] เฉลี่ยจากชุดการทดลองที่ 6..... 104

5.53 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 6.1..... 105

5.54 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 6.1..... 106

5.55 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 6.2..... 109

5.56 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 6.2..... 110

5.57 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์..... 117

5.58 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์... 118

5.59 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 7..... 119

5.60 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 7..... 120

5.61 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%] หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ 2..... 126

5.62 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%] หน้าต่างสะท้อนแสง..... 127
แบบประยุกต์ 2

5.63 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 8.1..... 128

5.64 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 8.1..... 129

5.65 แสดงค่า Daylight Factor [%] เฉลี่ยของหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ 2..... 132

5.66 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 8.2..... 133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.67 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 8.2..... 135

6.1 แสดงผลสรุปการทดลองสีและผิวสัมผัส..... 140

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงพฤติกรรมการสะท้อนของแสง..... 7

2.2 แสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky..... 9

2.3 แสดงมุม Bearing..... 9

2.4 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve..... 14

2.5 แสดงการนำแสงธรรมชาติโดย Light Shelve..... 15

2.6 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve ที่มีการใช้งานจริง..... 15

2.7 แสดงค่า DF ที่วัดได้ในผังพื้นที่ทำการทดลอง..... 20

3.1 แสดงตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร..... 22

4.1 แสดงลักษณะช่องเปิดของห้องเรียน..... 26

4.2 แสดงลักษณะช่องเปิดของห้องเรียนด้านประตูทางเข้า..... 26

4.3 แสดงเครื่องมือลักซ์มิเตอร์..... 27

4.4 แสดงลักษณะกายภาพหุ่นจำลอง..... 28

4.5 แสดงลักษณะหุ่นจำลองห้องเรียนที่ใช้ในการทดสอบ..... 28

4.6 แสดงตำแหน่งในการวัดจากภาพตัด..... 29

4.7 แสดงตำแหน่งการวัดในแนวราบตามระบบตารางขนาด 1x1 เมตร..... 30

5.1 แสดงลักษณะหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลอง..... 37

5.2 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลอง..... 38

5.3 แสดงหุ่นจำลองโดยไม่มีหิ้งสะท้อนแสง..... 42

5.4 แสดงหุ่นจำลองแบบ Exterior Light Shelve..... 43

5.5 แสดงหุ่นจำลองแบบ Interior Light Shelve..... 44

5.6 แสดงหุ่นจำลองแบบ Combined Light Shelve..... 45

5.7 แสดงหุ่นจำลองแบบ Blind Light Shelve..... 46

5.8 แสดงหุ่นจำลองชุดการทดสอบที่ 4..... 71

5.9 แสดงหุ่นจำลองชุดการทดสอบที่ 5..... 85

5.10 แสดงหุ่นจำลองชุดการทดสอบที่ 6..... 97

6.1 แสดงแนวทางการออกแบบผังห้องเรียน..... 143

6.2 แสดงรูปตัดของห้องเรียน..... 143

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.3 แสดงหุ่นจำลองแนวทางการออกแบบห้องเรียน..... 141

6.4 แสดงรายละเอียดแนวทางการออกแบบห้องเรียน..... 142

6.5 แสดงรายละเอียดรูปหุ่นจำลองและแนวทางการออกแบบห้องเรียน..... 143

6.6 แสดงรายละเอียดและแนวทางการออกแบบห้องเรียน..... 144

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในสภาวการณ์ปัจจุบันวิกฤตการณ์ด้านพลังงานกำลังเป็นที่ตระหนักโดยทั่วไป แนวคิดในการประหยัดพลังงานโดยการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ หรือการนำพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) มาใช้เป็นแนวทางสำคัญที่จะช่วยลดภาวะวิกฤตด้านพลังงานลงได้ แนวทางหนึ่งที่สามารถกระทำได้ คือ การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ให้ความสว่างแก่อาคาร นอกจากเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าแล้ว แสงธรรมชาติถือว่าเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) แตกต่างจากแสงประดิษฐ์อันเกิดจากการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด (Non-Renewable Energy)

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ให้ความสว่างแก่อาคารจัดได้ว่าเป็นการนำแสงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาใช้งาน นอกจากจะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแล้ว ยังพบว่าแสงธรรมชาติมีความร้อนปะปนเข้ามาน้อยกว่าแสงประดิษฐ์ในคุณภาพแสงที่ใกล้เคียงกัน จึงเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของแสงประดิษฐ์ลงโดยตรงในช่วงเวลาที่ยังมีแสงธรรมชาติพอเพียง และหากพิจารณาถึงพลังงานที่ใช้กับระบบปรับอากาศภายในอาคาร การให้แสงสว่างภายในอาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติก็จะช่วยลดภาระในการทำความเย็นแก่ระบบปรับอากาศอีกทางหนึ่งด้วย

นอกจากที่กล่าวในข้างต้นแสงธรรมชาติยังมีผลให้เกิดความร้อน ดังนั้นจึงต้องหลีกเลี่ยงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากจะมีผลให้เกิดความร้อนเมื่อตกกระทบวัตถุใดๆ อันจะเป็นปัญหาในด้านความร้อนตามมา จึงควรมีการป้องกันแสงตรงหรือใช้แสงสว่างที่เกิดจากการสะท้อนเป็นหลัก ซึ่งแสงสว่างที่ได้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าในเชิงความร้อนที่ลดลง และเกิดความสม่ำเสมอนุ่มนวลในการมองเห็น (Visual Comfort)

อย่างไรก็ตามแสงธรรมชาตินั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ตลอดเวลา อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้า องค์ประกอบของอนุภาคในชั้นบรรยากาศ ทิศทางของอาคาร สภาพแวดล้อมที่ตั้งของอาคาร ตลอดจนภูมิอากาศของแต่ละท้องถิ่น มีผลให้ปริมาณความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ดังนั้นการให้แสงสว่างแก่ภายในอาคารจึงเป็นการยากที่จะควบคุมปริมาณแสงให้คงที่สม่ำเสมอดังเช่นแสงประดิษฐ์ สิ่งที่สามารถควบคุมได้คือ สัดส่วนของช่องเปิด รูปแบบของช่องเปิดและเทคนิคที่จะนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ที่จะเป็นตัวกำหนดปริมาณแสงที่ยอมให้เข้ามาภายในอาคารในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการในการมองเห็นโดยสอดคล้องกับกิจกรรมภายในอาคารนั้นๆ โดยไม่ก่อให้เกิดความร้อนในอาคาร

1.2 ความสำคัญของปัญหา

1.2.1 ปัญหาด้านพลังงาน

จากรายงานการศึกษาของ USAIDเรื่อง Energy Conservation in Commercial Building ได้ทำการสำรวจปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภท โดยจำแนกปริมาณการใช้ไฟฟ้าออกตามกิจกรรม ซึ่งสามารถสรุปผลได้ว่า อาคารประเภทสถานศึกษาเป็นประเภทอาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนระบบแสงสว่างสูงสุดคือ 56 % เมื่อพิจารณาช่วงเวลาการใช้สอยของอาคารแล้วพบว่า อาคารประเภทสถานศึกษามีช่วงเวลาการใช้สอยปกติเวลา 8.00 – 15.00 น.โดยประมาณ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีปริมาณแสงธรรมชาติสูง ดังนั้นหากสามารถศึกษาค้นคว้าวิธีการในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทสถานศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศได้อีกทางหนึ่ง

1.2.2 ปัญหาด้านการเพิ่มจำนวนสถานศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งหวังที่จะศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสถานศึกษาให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้ใช้สอยหลักของอาคารประเภทสถานศึกษาคือเด็กนักเรียน จากการศึกษาสถิติการเพิ่มของกลุ่มประชากรพบว่า จากสถิติและการประมาณการจำนวนประชากรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยในปีพ.ศ. 2563 หรืออีก 17 ปีข้างหน้า ประเทศไทยจะมีประชากรสูงถึง 70,503,000 คน หรือมากกว่าปัจจุบันถึงประมาณ 6 ล้านคน (เครื่องชี้วัดสำคัญทางสังคม.2546) จากการศึกษาปริมาณสถานศึกษาที่สังกัดกระทรวงศึกษาธิการพบว่ามีสถานศึกษาสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติจำนวนทั้งสิ้น 30,228 โรงเรียน (สถิติสำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ.2546) และสังกัดกรมสามัญศึกษา 2,669 โรงเรียน (สถิติกรมสามัญศึกษา.2546) ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกศึกษาในส่วนอาคารเรียนระดับประถมศึกษา ซึ่งมีจำนวน 30,228 โรงเรียน 304,975 ห้องเรียน และมีจำนวนนักเรียน 6,633,809 คน เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารเรียนทั้งที่มีอยู่เดิม และที่กำลังจะก่อสร้างเพิ่มเติม โดยเลือกส่วนห้องเรียนซึ่งเป็นส่วนการใช้สอยหลักของกิจกรรมการเรียนการสอนมาศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียน

1.2.3 ปัญหาด้านภาวะสบายทางสายตา

จากการศึกษาแบบอาคารเรียนตามมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการพบว่ามีลักษณะการจัดห้องเรียนแบบ Single Loaded Corridor ซึ่งมีความเหมาะสมกับประเทศไทยคือ ห้องเรียนไม่ซ้อนกัน ทำให้ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (Cross Ventilation) เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นได้ อีกทั้งสามารถเจาะช่องเปิดเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าจากทางผนังด้านข้างได้ทั้ง 2 ด้าน จากรายงานการทดสอบวัดค่าความสว่างภายในห้องเรียนโรงเรียนนวมินทราชูทิศ หอวัง นนทบุรี ซึ่งเป็น

อาคารเรียนที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งมีรูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้าจากทางด้านข้างเท่านั้น พบว่าระดับค่าความส่องสว่างภายในที่วัดได้โดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 200-300 ลักซ์ ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่ควรเป็นคือ 500 ลักซ์ และมีข้อจำกัดของความส่องสว่างในระยะความลึกไม่เกิน 2.00 เมตร จากแนวขอบหน้าต่าง (เรณู ด่านกุล : 2545, หน้า 1) เป็นผลให้ต้องใช้แสงประดิษฐ์ช่วยในการส่องสว่าง ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็น อันจะส่งผลกระทบต่อปริมาณการบริโภคพลังงานโดยรวมของชาติ

ดังนั้นหากมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยอย่างจริงจังถึงวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารประเภทสถานศึกษา โดยวิธีการประยุกต์ใช้หน้าต่างเพื่อเป็นหิ้งสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนให้เข้าใจอย่างถ่องแท้แล้ว ก็จะสามารถนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงใช้กับอาคารประเภทสถานศึกษา อีกทั้งประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่นๆ เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนแสงประดิษฐ์ลง และลดภาระในการทำความเย็นแก่ระบบปรับอากาศ อันจะส่งผลต่อการลดปริมาณการบริโภคพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ขนาด สัดส่วนและรูปแบบของหน้าต่างที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงมาใช้ภายในห้องเรียน ให้มีความสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ ทั่วทั้งห้องในสภาพท้องฟ้าปกติ

1.3.2 เพื่อศึกษาชนิดของวัสดุที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นพื้นผิวหิ้งสะท้อนแสง

1.3.3 เพื่อเป็นแนวทางในการการศึกษาและวิเคราะห์โดยปรับใช้ให้เหมาะสมกับการปรับปรุงอาคารประเภทอื่นๆ และพัฒนารูปแบบต่อไปในอนาคต

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียน

- รูปแบบอาคาร : กำหนดตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ
- ช่วงเวลาใช้งาน : ระหว่าง 8.00 – 15.00 น.
- ข้อมูลแสงสว่าง : ข้อมูลที่รวบรวมโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
- รูปแบบการให้แสง : นำแสงสว่างเข้าจากทางด้านข้าง (Side Lighting)
- สภาพแวดล้อม : กำหนดให้สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารเป็นที่โล่ง
- การจัดวางอาคาร : กำหนดให้อาคารจัดวางตามยาวในแนวทิศเหนือ – ใต้ โดยช่องเปิดอยู่ทางทิศใต้
- สภาพท้องฟ้า : ทดสอบกับสภาพท้องฟ้าจริง

1.4.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

- ศึกษารูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสม เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบหน้าต่างเพื่อเป็นหิ้งสะท้อนแสง
- ศึกษาชนิดของวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงและคุณลักษณะที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นพื้นผิวหิ้งสะท้อนแสง
- ศึกษาและทดสอบเพื่อหาลักษณะของหน้าต่างเพื่อใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมทั้งในด้านขนาด สัดส่วน รูปทรง เพื่อคุณภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในสูงสุด

1.5 สมมติฐานการวิจัย

การใช้หน้าต่างที่ออกแบบเพื่อเป็นหิ้งสะท้อนแสง สามารถนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในห้องเรียนได้เพียงพอกับความต้องการมาตรฐาน ในสภาพท้องฟ้าปกติ

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

- ศึกษาถึงปัจจัยพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นเรื่องต่างๆ คือ
  1) ทฤษฎีของการมองเห็นและรับรู้
  2) พฤติกรรมของแสง
  3) เกณฑ์การวัดค่าความสว่าง
  4) คุณสมบัติของแสง
  5) ทฤษฎีแสงธรรมชาติ
  6) สภาพท้องฟ้า
- ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าจากด้านข้าง (Side Lighting)
- ศึกษารูปแบบและลักษณะต่างๆ ของหิ้งสะท้อนแสงที่มีอยู่ เพื่อศึกษาลักษณะที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงที่ดี
- ศึกษาลักษณะพื้นผิวที่มีค่าสะท้อนแสงที่ดี และมีความเหมาะสมในการใช้เป็นพื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง

1.6.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความสว่าง : ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)
- หุ่นจำลอง : ทำการออกแบบและสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน 1 หน่วย เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของหน้าต่างที่ใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงแบบต่างๆ โดยพิจารณาขนาดและสัดส่วนที่เหมาะสมกับเครื่องมือที่ใช้วัด การปรับเปลี่ยนรูปแบบ ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

1.6.3 ชุดการทดสอบ

- ชุดการทดสอบเพื่อหารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพ
- ชุดการทดสอบเพื่อหาพื้นผิวที่มีค่าการสะท้อนแสงที่เหมาะสม
- ชุดการทดสอบเพื่อหาขนาด สัดส่วนของหน้าต่างเพื่อใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพ
- ชุดการทดสอบเพื่อหารูปทรงของหน้าต่างเพื่อใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพ

1.6.4 การทดสอบและการเก็บข้อมูล

- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบตามระบบตาราง ขนาดตาราง 1 x 1 เมตร ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane)
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางตารางภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง

1.6.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

- นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดสอบทุกรูปแบบ มาวิเคราะห์ประเมินผลข้อดี ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้สอยตลอดทั้งปี เพื่อนำเสนอรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้และความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคที่เหมาะสม

- สรุปผลว่าหน้าต่างรูปแบบใดมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงสำหรับห้องเรียนระดับประถมศึกษา ในเขตกรุงเทพมหานคร
- เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงและประยุกต์ใช้ รวมทั้งสิ่งที่ควรปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมในการศึกษา

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

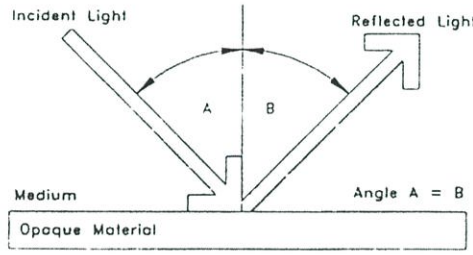
1.7.1 สามารถนำผลจากการวิจัยไปใช้ในการออกแบบ ปรับปรุงและประยุกต์ใช้กับอาคารสถานศึกษาระดับประถมศึกษาและระดับอื่นๆ ทั้งในและนอกเขตกรุงเทพมหานคร ให้สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.7.2 สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่นๆ ที่ต้องการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2
เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พฤติกรรมของแสง

พลังงานแสงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยพลังงานรังสีตรงและรังสีกระจาย เมื่อแสงส่องผ่านอนุภาคชั้นบรรยากาศของโลก แสงจะเกิดการหักเหและการสะท้อนแสงก่อนที่จะส่องลงมายังผิวโลก และเมื่อกระทบกับพื้นผิวหรือวัตถุใดๆ จะเกิดลักษณะ 3 ประการคือ การดูดซึม (Absorbtion), การสะท้อน (Reflection) และการส่องผ่าน (Transmission) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุและพื้นผิวแต่ละชนิด ซึ่งการวิจัยนี้อาศัยพฤติกรรมการสะท้อนของแสงมาใช้คือ การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางและสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นนั้นไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อแสงตกกระทบบนตังกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque Material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (Polish Surface) การสะท้อนจะมีลักษณะของมุมของแสงที่ตกกระทบ (Angle of Reflection)



รูปที่ 2.1 แสดงพฤติกรรมการสะท้อนของแสง
ที่มา : ไพศาล จันเตรยูร (2539 : 172)

2.2 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

ค่าความสว่างและความจ้าของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลาเป็นผลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆและอนุภาคในอากาศของฝุ่น ควัน หรือไอน้ำ ปริมาณของแสงสว่างที่เข้าสู่หน้าต่างของอาคารขึ้นอยู่กับแสงสว่างที่ได้รับจากสภาพท้องฟ้าแต่ละประเภทสามารถแบ่งได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเฉลี่ยของท้องฟ้าในลักษณะต่าง ๆ

Cloudiness Index (CI)	ความถี่ (ทั้งหมด 4,320 ซม.)	เปอร์เซ็นต์
(0) Clear Sky	3	0.07
(1-5) Scattered Cloud	88	2.00
(6-9) Broken Cloud	1,619	37.50
(10) Overcast Sky	456	10.40

ที่มา : Daylight Asean-us Project on Energy Conservation in Building (2531)

2.2.1 **สภาพท้องฟ้าแจ่มใส** (Clear Sky)

ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบคือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse Illumination) และแสงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun) ซึ่งปริมาณความสว่างทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) ซึ่งปริมาณความสว่างทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เป็นหลัก โดยมีความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบมีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งประมาณ 3 เท่า หากไม่พิจารณาถึงมุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

ความส่องสว่างของพื้นผิวแนวระนาบเนื่องจากแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนของท้องฟ้า (Haft Sky) จะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล และมีค่าเฉลี่ย 1,000 ฟุตแคนเดิล

จากการวิจัย (Moon, R.C. Hopkinson, 1968) พบว่าค่าความสว่างของสภาพท้องฟ้าแบบโปร่งสามารถเขียนสมการแยกออกได้ 2 กรณีคือ

A กรณีเกิดจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว เขียนสมการได้ดังนี้

$$E_H = 1345 + 14{,}795 \sin A \text{ (Lux)}$$

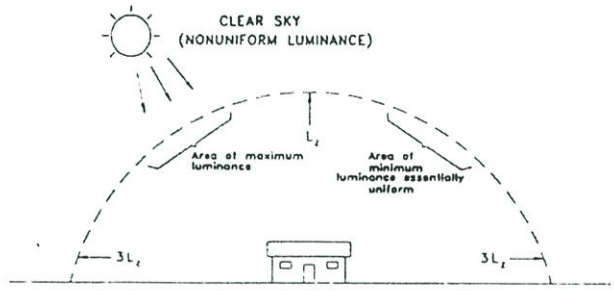
B กรณีเกิดจากรังสีตรงเพียงอย่างเดียว เขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{Log } E_H = 4.66 + 0.31 \log A \text{ (Lux)}$$

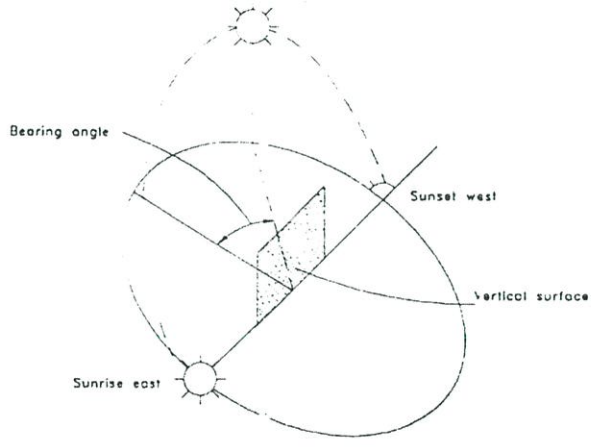
เมื่อ E_H คือความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้า Clear Sky (Lux)

A คือ Solar Altitude

ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับมุม Azimuth และ Atitude หรือมุม Bearing ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้จะมีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์และลดต่ำลงเมื่ออยู่ห่างหรือด้านตรงข้ามดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุม Bearing มีค่ามากกว่า 90 องศา (ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของดวงอาทิตย์) จะต้องพิจารณาถึงวัตถุ หรือพื้นผิวใด ๆ ที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย



รูปที่ 2.2 แสดงท้องฟ้าแบบ Clear Skly
ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 974)



รูปที่ 2.3 แสดงมุม Bearing
ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 977)

2.3 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

วิธีการออกแบบเพื่อนำเอาแสงสว่างจากธรรมชาติ (Daylighting Design) มาใช้ในอาคาร โดยทั่วไปมีอยู่ 3 วิธี ได้แก่ Daylight Factor Method, CIE Method, และ IES Method

วิธีการออกแบบของ CIE Method นั้น มีข้อจำกัดคือท้องฟ้าที่ใช้ในการออกแบบจะต้องเป็นท้องฟ้าแบบมืดมน (Overcast Sky) ไม่มีแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Beam Sunlight) ส่วนวิธีการออกแบบ IES Method มีข้อจำกัดคือในการคำนวณจะใช้แสงจากด้านบน (Top Light) และแสงจากการสะท้อนของพื้นเป็นหลัก โดยให้ความสำคัญกับแสงกระจายที่ได้รับจากท้องฟ้าโดยตรง (Sky Component) น้อยมาก และจากตารางที่ 2.1 จะพบว่าสภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่เป็นท้องฟ้าแบบ Broken Cloud ทำให้การออกแบบด้วย CIE Method และ IES Method นั้นผลที่ได้จะเกิดความคลาดเคลื่อนมาก ดังนั้นจึงพิจารณาใช้การออกแบบโดย Daylight Factor Method จะทำให้ค่าการออกแบบแสงสว่างจากธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในอาคารใกล้เคียงตามจริงมากกว่า

Daylight Factor Method เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่แต่ละที่ (Altitude, Azimuth) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกันองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงธรรมชาติ โดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบ คือ

- องค์ประกอบจากท้องฟ้า Sky Componant (SC)
  แสงกระจายที่ได้รับจากท้องฟ้าโดยตรง
  SC = Incident Sky Light – Window Losses
- องค์ประกอบภายนอก Externally Reflected Componant (ERC)
  แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอกหรือบริเวณใกล้เคียง
  ERC = Sky Component x RF (of Obstruction)
- องค์ประกอบภายใน Internally Reflected Componant (IRC)

แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายในอาคารได้รับแสงจาก SC และ ERC การกำหนดค่า Daylight Factor (D.F.) ก็คือค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใด ๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร ภายใต้สภาพ Clear Sky ที่ไม่มีสิ่งกีดขวางไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Excluded Direct Sun) ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซนต์

$$D.F.\ (\%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน}}{\text{ความสว่างภายนอก (ไม่รวมแสงแดดตรง)}} \times 100\%$$

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาพแสงสว่างภายใน

2.4.1 ความสัมพันธ์ของช่องเปิดที่มีผลสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมภายใน

ลักษณะของช่องเปิดมีผลกับสภาพแวดล้อมด้านแสงสว่างภายในโดยตรง ทั้งในด้านปริมาณและระยะความลึกของแสงที่ส่องเข้าถึงภายใน รวมทั้งมีอิทธิพลต่อการกระจายแสงเข้าสู่ภายในอีกด้วย โดยทั่วไปความลึกของแสงที่ส่องเข้าสู่ภายในอาคารจะมีความลึกประมาณ 2.5 เท่าของความสูงจากพื้นถึงขอบบนของช่องเปิด (Egan : 1983, p.169)

2.4.2 ความสูงและความกว้างของหน้าต่าง (Windows Height and Windows Wide)

ขนาดและความสูงของหน้าต่างเป็นตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบเพื่อการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร โดยปกติหน้าต่างขนาดใหญ่จะให้ปริมาณแสงสว่างภายในที่มากกว่า แต่หน้าต่างที่มีความสูงมากกว่าจะมีผลให้แสงสว่างส่องเข้าสู่ภายในได้ลึกกว่า (Fuller Moor : 1993, p.305)

2.4.3 ทิศทางในการจัดวางอาคาร

ทิศทางในการจัดวางอาคารมีผลสำคัญต่อปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านเข้าสู่ภายในอาคารอย่างยิ่ง เนื่องจากปริมาณแสงสว่างจะขึ้นกับทิศทางในการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ตามวัน เวลา และฤดูกาล รวมทั้งที่ตั้งของอาคารนั้นๆ อีกด้วย

โดยสามารถสรุปได้ว่าอาคารแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสใช้พลังงานด้านแสงสว่างมากที่สุด ในขณะที่อาคารที่มีความกว้างเท่ากัน หากจัดวางด้านแคบในแนวเหนือ-ใต้ จะใช้พลังงานด้านแสงสว่างน้อยกว่าอาคารที่จัดวางด้านแคบในแนวตะวันออก-ตะวันตก และสำหรับอาคารที่จัดวางในทิศทางเดียวกัน อาคารที่มีความกว้างน้อยกว่าจะใช้พลังงานด้านแสงสว่างน้อยกว่า (G.Z.Brown & Mark Dekay : 2001, p.305)

2.5 แนวทางการควบคุมแสงจ้าบาดตา (Glare)

การที่แสงจ้าบาดตาเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากนอกจากจะทำให้เกิดภาวะไม่สบายทางสายตาแล้ว ยังเป็นอุปสรรคในการทำกิจกรรมนั้นๆ อีกด้วย ซึ่งแสงจ้าบาดตาเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความแตกต่างของแสงจ้าระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับสภาพแวดล้อม
- ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง
- ตำแหน่งของวัตถุในขอบเขตมุมมอง
- ความสามารถในการปรับสายตาของผู้มอง

โดยลักษณะแสงจ้าบาดตาแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังต่อไป

1. Disability Glare เป็นแสงจ้าที่ทำลายความสามารถในการมองเห็นของผู้มองทำให้ตาพร่าและมองไม่เห็นไปชั่วขณะ
2. Discomfort Glare เป็นแสงจ้าที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตาในการมองเห็น โดยมีแหล่งกำเนิดแสงอยู่บริเวณรอบของการมอง
3. Velling glare เป็นแสงจ้าที่เกิดจากการสะท้อนแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องลงบนวัตถุที่มอง ซึ่งมีค่าการส่องสว่างที่น้อยกว่า เช่น เงาสะท้อนของดวงอาทิตย์ที่เกิดบนจอคอมพิวเตอร์
4. reflected Glare เป็นแสงจ้าที่เกิดจากการที่แสงสะท้อนจากวัตถุแล้วสะท้อนเข้าตา (Egan : 1983, p.31,31,43)

2.6 กลยุทธในการออกแบบหน้าต่างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์

การออกแบบหน้าต่างมีผลโดยตรงต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร เนื่องจากหน้าต่างเป็นช่องทางนำแสงเข้าสู่อาคาร จึงมีข้อพึงพิจารณาหลายประการดังสามารถสรุปเป็นกลยุทธในการออกแบบดังนี้

1. หน้าต่างควรมีความสูงและความกว้างที่เหมาะสม เมื่อตำแหน่งในการติดตั้งหน้าต่างปรับสูงขึ้น จะมีผลทำให้ได้ปริมาณแสงเข้าสู่อาคารมากยิ่งขึ้น ดังนั้นฝ้าเพดานควรอยู่สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ และหน้าต่างควรสูงจนถึงฝ้าเพดาน เพื่อปริมาณแสงที่มาก

2. การใช้พื้นผิวภายนอกช่วยในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคารเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มปริมาณแสงได้ โดยหิ้งสะท้อนแสงเป็นตัวอย่างที่นิยมนำมาใช้กับอาคารได้ดี มักติดที่ระดับเหนือระดับสายตาให้แสงสะท้อนขึ้นสู่ฝ้าเพดาน และสะท้อนกลับลงสู่ระนาบใช้งานต่อไป แต่มีข้อพึงระวังคือต้องมีการป้องกันแสงจ้าบาดตา โดยอาจติดเกล็ดช่วยบังแดดได้

3. ควรออกแบบให้เกิดการกระจายแสงเข้าสู่ภายในให้ลึกที่สุด

4. ในการให้แสงจากด้านข้างควรให้แสงจากอย่างน้อย 2 ด้าน เพื่อความสมดุลและลดแสงจ้าบาดตา

5. การจัดวางตำแหน่งช่องเปิดต้องคำนึงถึงความสว่างของบริเวณโดยรอบ รวมทั้งอาจใช้ผนังช่วยในการสะท้อนแสงได้

6. ป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร เนื่องจากจะนำความร้อนและแสงที่จ้าเกินไปเข้าสู่อาคาร

2.7 การใช้หิ้งสะท้อนแสงช่วยเพิ่มปริมาณแสงสว่าง

การใช้หิ้งสะท้อนแสงเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการเพิ่มปริมาณแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคาร หิ้งสะท้อนแสงควรติดที่เหนือระดับสายตาของผู้ใช้สอย โดยนอกจากจะช่วยสะท้อนแสงขึ้นสู่ฝ้าเพดานและสะท้อนสู่ภายในพื้นที่ใช้สอยภายในแล้ว ยังสามารถช่วยป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์และช่วยลดแสงจ้าบาดตาอีกด้วย โดยจากการทดลองหิ้งสะท้อนแสงที่มีระยะยื่นแตกต่างกัน ติดตั้งที่ระดับความสูงเท่ากัน ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) และมีเมฆปกคลุมมาก (Overcast Sky) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในสภาพท้องฟ้าโปร่ง หิ้งสะท้อนแสงแบบยื่นออกสู่ภายนอก 1 ใน 3 ส่วนของความยาวตัวหิ้งสะท้อน ให้ปริมาณแสงสว่างได้ดีที่สุด ในขณะที่ในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมมาก หิ้งสะท้อนแสงทั้ง 3 แบบให้ปริมาณแสงที่ไม่แตกต่างกันนัก
(Fuller Moor : 1993, p.305)

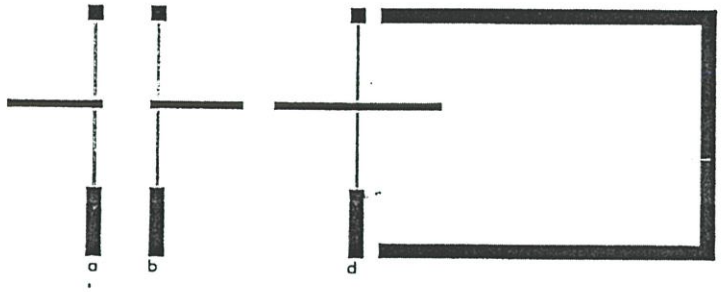
จากการทดลองหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะกับห้องเรียนขนาด 9.00 x 8.00 x 2.90 เมตร ขนาดช่องแสงขอบล่างสูงจากระดับพื้น 0.75 เมตร ความสูงช่องเปิดตลอดแนวสูง 1.15 เมตร สรุปได้ว่าหิ้งสะท้อนแสงควรเป็นแบบติดตั้งภายนอก มีความยาว 0.98 เมตร เอียงทำมุม 35 องศากับแนวราบ ทาสีขาวเคลือบเงา โดยออกแบบร่วมกับแผงบังแสงจ้า ซึ่งให้ค่า Daylight Factor แถวในสุด 2.20% (เรณู ด่านกุล : 2545, หน้า 152)

จากแนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างบทบาทของช่องเปิดกับปัจจัยภายนอกนั้น พบว่าปัญหาในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางด้านข้างนั้นอยู่ที่ความลึกของห้องเป็นสำคัญทำให้ต้องหาแนวทางการแก้ปัญหา เช่น การใช้ Clerestories Window เป็นต้น แต่การแก้ปัญหาด้วยวิธีดังกล่าวก็ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านความไม่สบายในการมองจากแสงจ้า (Glare) และความไม่สม่ำเสมอของแสง (Non-Uniformity) ซึ่งเป็นผลให้เกิดความเมื่อยล้าทางสายตา (Eye Fatigue) เพราะเมื่อเพิ่มพื้นที่ของช่องเปิดขึ้นมาก็จะทำให้ระดับความสว่างบริเวณใกล้ช่องเปิดมีค่าสูงขึ้นมากกว่าบริเวณที่ลึกเข้าไปอีกทั้งแสงสว่างตรงจากดวงอาทิตย์ก็ทำให้เกิดภาวะไม่สบายทางด้านสายตาอีกด้วย ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นรูปแบบในการปรับปรุงสภาพคุณภาพของแสงสว่าง เช่น การใช้ม่านสะท้อนแสง (Refleced Blinds)

2.7.1 รูปแบบทั่วไปของ Light Shelve

การใช้ Light Shelve เป็นการเพิ่มการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้ลึกขึ้น และในขณะเดียวกันก็ช่วยลดแสงบาดตาลงได้ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง จากการศึกษาต่อมาพบว่าประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติจาก Light Shelve จากสภาพท้องฟ้าทั่วไปนั้นมีปริมาณและคุณภาพดีกว่าแสงสว่างที่ส่องผ่านเข้ามาโดยรอบกรอบอาคาร (Perimeter Lighting) หรือดีกว่าแสงสว่างที่ส่องผ่านช่องเปิด (Selkowitz, Navaab, and Matthews, 1983) รูปแบบทั่วไปของ Light Shelve แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. Light Shelve ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf)
2. Light Shelve ภายในอาคาร (Interior Light Shelf)
3. Light Shelve แบบผสม (Combined Light Shelf)



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve (a)Exterior Light Shelf (b) Interior Light Shelf (c) Combined Light Shelf

ที่มา : Claude (1986 : 121)

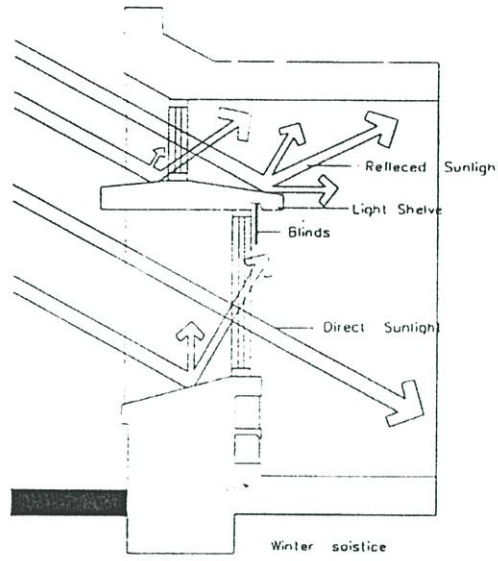
โดยที่รูปแบบทั้งหมดนั้นแต่ละแบบจะมีความเหมาะสมในแต่ละภูมิประเทศแตกต่างกันไป โดยที่ Light Shelve ภายในอาคารและ Light Shelve แบบผสมจะเหมาะสมในภูมิอากาศเขตหนาวเนื่องจากเมื่อแสงตรงส่องมากระบบ หรือส่องผ่านกระจกแล้วกระทบตัว Light Shelve จะเกิดการนำความร้อน การสะสมและแผ่รังสีความร้อนและปรากฏการณ์รังสีความร้อนคลื่นยาวที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greehouse Effect) ในอาคารได้

2.7.2 **แนวทางการออกแบบ** Light Shelves

Light Shelve เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะการยื่นออกจากตัวอาคาร เพื่อประโยชน์ในการบังแดดและการสะท้อนแสง แนวทางการเลือกรูปแบบจึงมักคำนึงถึงความสูง ความลึก ตำแหน่งของช่องเปิด ตลอดจนพื้นผิวที่นำมาทำเป็นตัวสะท้อนแสงและมุมลาดเอียงของ Light Shelve

A ความสูง ระดับความสูงของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสม จะต้องคำนึงถึงการสะท้อนของแสงแดดที่มีต่อฝ้าเพดาน ในการให้แสงส่องผ่านเข้ามาเป็นสำคัญ การติดตั้ง Light Shelve ที่ระดับเหนือสายตา (1.65-2.00 ม.) ซึ่งเป็นระดับเหนือสายตาและเป็นระดับความสูงโดยทั่วไปของประตูหน้าต่าง จะเป็นช่วงระดับความสูงที่ดีที่สุด ในขณะที่ตัวแปรอื่น ๆ เป็นแนวทางในการพิจารณา

B ความลึก ความลึกของ Light Shelve ขึ้นอยู่กับพื้นที่ใช้สอยของหน้าต่างหรือช่องเปิดตลอดจนความสูงของช่องเปิด ทิศทางและตำแหน่งของช่องเปิด ที่ต้องการให้ร่มเงาในการออกแบบ Light Shelve ที่มีความลึกมาก ๆ นอกจากจะช่วยป้องกันความร้อนและให้ร่มเงากับอาคารแล้ว ยังช่วยลดปริมาณแสงที่มีความจ้ามากเกินไปบริเวณใกล้หน้าต่าง



รูปที่ 2.5 แสดงการนำแสงธรรมชาติโดยวิธี Light Shelve

ที่มา : Egan (1983 : 116)

2.7.3 **ประโยชน์ของ** Light Shelve

A การเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติให้สามารถเข้าไปได้ลึกมากขึ้น

B การเพิ่มความสม่ำเสมอของความสว่างของแสงธรรมชาติภายในและการลดแสงบาดตา

C การป้องกันแสงแดดตรงเข้าสู่อาคาร

D การลดภาระการทำความเย็น และภาระแสงสว่างในอาคาร

E การลดการใช้พลังงานในอาคาร

รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve ที่มีการใช้งานจริง

ที่มา : Claude (1986 : 123)

ดังนั้นการออกแบบ Light Shelve สิ่งที่ควรพิจารณาคือสภาพภูมิอากาศของที่ตั้งอาคารนั้น ๆ เนื่องจากทิศทางและตำแหน่งของดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ดังนั้นรูปแบบที่เหมาะสมของ Light Shelve จึงแตกต่างกันออกไป

2.8 ชนิดของกระจก

การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารนั้น องค์ประกอบที่สำคัญอีกองค์ประกอบหนึ่งคือการเลือกใช้ชนิดของกระจก ซึ่งการเพิ่มค่าความสว่างให้แก่อาคารได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระจก ดังนั้น การเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องรู้ถึงคุณสมบัติและชนิดของกระจกดังนี้

A ค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmission) %

B ค่าการสะท้อนแสงของกระจกด้านนอกและด้านใน
(Visible Light Reflection : Out, In) %

C ค่าการส่งผ่านรังสีอุลตร้าไวโอเลตที่ผ่านกระจก (Ultra-violet Transmission) %

D ค่าการส่งผ่านของแสงอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก
(Solar Energy Transmission or Direct Energy Trasmission) %

E ค่าการสะท้อนแสงของแสงอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar Energy Reflection) %

F ค่าของแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยกระจก (Solar Energy Absorption) %

G ค่าของแสงอาทิตย์รวมผ่านกระจก (Solar Factor or Total Energy Transmission) %

H ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coeffcient : SC) คำนวณได้จากสูตร

SC = Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัด / Solar Factor
ของกระจกใสหนา 3 มม. (0.87)

I ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) $W/m^2.K$

J ค่าถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจก (Relative Heat Gain) $W/m^2.K$ คำนวณได้จากสูตร

RHG = (630 W/m^2 x SC) + (8 องศา U-Value)

ASHRAE ได้ใช้กระจกหนา 3 มม. เป็นกระจกมาตรฐาน โดยตั้งสมมติฐานว่าน่าจะเป็นกระจกใช้งานในอาคารที่ยอมให้แสงและรังสีความร้อนผ่านเข้ามามากที่สุดเพราะบางและโปร่งแสง ดังนั้นค่าที่ได้จึงเป็นมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกประเภทต่าง ๆ ว่ามีสัดส่วนมากน้อยเพียงใดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความร้รอนที่ผ่านกระจกมาตรฐานโดยแสดงเป็นสมการ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.9 มาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES

ในการกำหนดระดับความส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่าง ๆ นั้นมีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA), IES (BS) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกันส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) กำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่า ใช้ในกรณีอื่น ๆ คืออาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพต่าง ๆ

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน

พื้นที่ใช้งาน (ก)	CIE (Lux)	IES (Lux)	**พื้นที่ใช้งาน (ข)**
ทางเดิน, พื้นที่ทำงานภายนอก	20-30-50	20-30-50	Publice space with dark Surrounding
ทางเดินภายในและการแวะผ่านระยะสั้น	50-75-100	50-75-100	Simple orientatin for shot tempory
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100-150-200	100-150-200	Working space where visual tasks are only occasionally performed
งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น โรงงาน, งานชิ้นใหญ่	200-300-500	200-300-500	Performance of visual tasks of hight contrast or Large size
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300-500-750	500-750-1000	Performance of visual tasks of medium contrast or Small size
งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียน	500-750-1000	1000-1500-2000	Performance of visual tasks of low contras or Very small size
งานที่ใช้สายตามาก ๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน	750-1000-1500	2000-3000-5000	Performance of visual tasks of low contras and very small size, Prolonged period
งานที่ใช้สายตาเป็นพิเศษ	1000-1500-2000	5000-75000-10000	Performance of very prolonged and exacting
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด	มากกว่า 2000	10000 up	Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

ที่มา : (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ (1-6)

(ข) IES Illuminating Engineering Society (1983 : A3)

53822

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็นลักซ์หรือฟุตแคนเดิลแล้วการกำหนดระดับการส่องสว่ายังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็นค่า Dalyling Factor โดยกำหนดเป็นเปอร์เซนต์ (%)

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่างตามมาตรฐาน IES (ข)	ค่าการส่องสว่าง (Lux) ตามมาตรฐาน IES (ข)	ค่า Daylight Factor (%), (ค)		
		อาคารทั่วไป	เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
ทางเดิน	50-100-150	50-75-100	2	0.6	พื้น
บันได-บันไดเลื่อน	100-150-200	100-150-200	5	0.6	ลูกนอน
ที่เก็บของ, ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	Work plane
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	Work Plane
		สำนักงาน			
พื้นที่ทั่วไป, พิมพ์ดีด	300-500-750	500-750-1000	5	2.5	Work Plane
		คอมพิวเตอร์			
เขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	5	2.5	Work Plane
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500			
โถงทางเข้า		100-150-200	2	0.6	Work Plane
		ห้องสมุด			
หิ้งหนังสือ	150-200-300	200-300-500	5	1.5	Vertical
โต๊ะอ่านหนังสือ	300-500-750	200-300-500	5	1.5	Work Plane
เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	5	2	Work Plane
		ห้องประชุม			
เอนกประสงค์	150-200-300	200-300-500	5	2.5	Work plane

ที่มา : (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ (1-6)

(ข) IES Illuminating Engineering Society (1983 : A3)

(ค) BSI Draft for Development (73)

2.10 ประเภทของหน้าต่าง

1. หน้าต่างติดตาย (Fixed Windows) หน้าต่างติดตายมักมีราคาถูกกว่าหน้าต่างแบบอื่นๆ เนื่องจากสามารถทำได้ง่ายกว่าแบบอื่นๆ มักพบเห็นใช้กับอาคารที่ปรับอากาศ โดยเฉพาะในส่วนที่หน้าต่างแบบเปิด-ปิดใช้ไม่ได้ เช่น ในพื้นที่สูงๆ แต่ต้องมีการติดตั้งที่ดีเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ

2. หน้าต่างบานเปิด (Casement Windows) หน้าต่างบานเปิดมีลักษณะที่เปิด-ปิดได้ไม่ว่าจะเป็นในแนวตั้งหรือแนวนอน โดยมากมักเป็นแบบเปิดออกภายนอกเพื่อความสะดวกและไม่กีดขวางภายใน

3. หน้าต่างบานหมุน (Pivoted Windows) คือหน้าต่างที่เปิดโดยใช้วิธีหมุนบาน โดยมากมีจุดหมุนอยู่ตรงกลางในแนวตั้งของบาน หรือแนวนอน โดยอาจมีจุดหมุนอยู่ตำแหน่ง 1/3 ของบาน ให้หมุนภายเข้าในน้อยกว่า ออกภายนอกมากกว่าเพื่อไม่กีดขวาง หน้าต่างแบบนี้ถูกออกแบบให้ทำความสะอาดจากภายใน และควรหมุนในแนวราบมากกว่าในแนวตั้ง และไม่ควรอยู่ในตำแหน่งที่สูงเกินไป เนื่องจากไม่สามารถเปิดได้

4. หน้าต่างแบบบานเกล็ด (Louvre Windows) มีลักษณะแบบบานเกล็ด คือ มีบานเปิด-ปิดในแนวนอน ซึ่งใน 1 ช่องเปิดอาจแบ่งได้ตั้งแต่ 2 บานจนถึงหลายๆ บานก็ได้ เวลาเปิดจะเปิด-ปิดพร้อมกันทุกบานในเวลาเดียวกัน มักใช้กับห้องครัวและห้องน้ำ

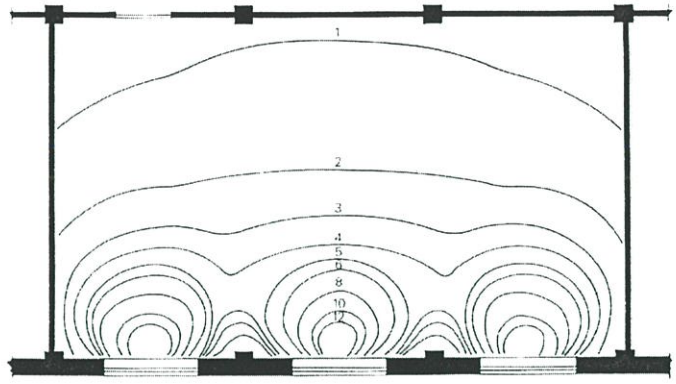
5. หน้าต่างบานเลื่อน (Sliding Windows) หน้าต่างบานเลื่อนเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน มีทั้งเลื่อนในแนวนอนและในแนวตั้ง โดยหน้าต่างจะถูกแบ่งออกเป็น 2 บาน ซึ่งสามารถเลื่อนเปิด-ปิดได้ทั้ง 2 บาน แต่ข้อเสียคือเวลาเปิดจะเปิดโล่งได้เพียง 50% ของพื้นที่ล่องเปิดเท่านั้น

6. หน้าต่างแบบผสม (Compond – Action Windows) คือหน้าต่างแบบผสมผสานหลายรูปแบบเข้าด้วยกัน เช่นแบบ Top-Hung จะมีตัวยึดบานตรงกึ่งกลางกับกรอบวงกบ เวลาเปิดขอบด้านบนของกรอบจะเลื่อนลงมาตามแนววงกบจนตั้งฉากกับแนวราบ มีลักษณะการเปิดคล้ายแบบบานเปิดและมีรูปแบบเหมือนบานเกล็ดขนาดใหญ่ 3 ผืน แต่แตกต่างจากแบบบานเปิดที่เวลาเปิดมีการเปิดพร้อมๆ กัน หน้าต่างแบบ Linked Hopper เป็นอีกแบบหนึ่งที่สามารถปรับให้สอดคล้องกับความต้องการการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติได้ กรอบของหน้าต่างจะถูกยึดที่มุมกับวงกบและมีตัวยึดกรอบทั้ง 2 ให้หมุนได้ และแบบบานพับบนรางเลื่อน (Sliding/Folding Type) สามารถเปิดเพื่อรับมุมมองได้เต็มที่ โดยพับกรอบเข้าหากันและยึดกรอบด้วยรางเลื่อน พับบานหน้าต่างไว้ที่มุมทั้ง 2 ด้านของช่องเปิด เพื่อป้องกันไม่ให้บังมุมมอง

2.11 อิทธิพลของตำแหน่งและรูปทรงของหน้าต่างที่มีผลต่อการกระจายแสง

โดยธรรมชาติการให้แสงธรรมชาติจากด้านข้าง (Side Lighting) โดยการนำแสงเข้าผ่านทางช่องเปิดหรือหน้าต่างทางด้านข้างนั้น ลักษณะการกระจายของแสงแสดงตามรูปที่ 2.7 จากการทดลองวัดค่าความสว่างและคำนวณหาค่า DF ที่ระนาบทำงานและนำมาพล็อตลงในผังพื้นของห้อง แสดงให้เห็นค่า DF ที่แตกต่างโดยแต่ละเส้นแสดงค่า DF โดยบริเวณที่ใกล้ช่องเปิดจะมีค่า DF สูง และค่อยๆ ลดลงตามระยะห่างจากช่องเปิดตามลำดับ นอกจากระยะความห่างจากช่อง

เปิดจะมีผลต่อความสว่างแล้ว ชนิดและรูปแบบของหน้าต่างก็มีผลโดยตรงเช่นกัน ดังจะยกตัวอย่างรูปแบบของหน้าต่างแบบต่างๆ ที่นิยมใช้ทั่วไป ดังนี้



รูปที่ 2.7 แสดงค่า DF ที่วัดได้ในผังพื้นที่ทำการทดลอง
ที่มา : Egan (1983 : 123)

2.12 รูปแบบของหน้าต่าง

1. รูปแบบแคบและสูง (Tall Narrow Windows) หากเทียบกับหน้าต่างแบบที่มีพื้นที่เท่าๆ กัน หน้าต่างแบบแคบและสูงจะให้แสงส่องผ่านได้ลึกกว่าแบบเตี้ยและยาว
2. รูปแบบยาวในแนวราบ หากเปรียบเทียบกับหน้าต่างแบบที่มีพื้นที่เท่าๆ กัน หน้าต่างแบบแบนยาวให้แสงได้น้อยกว่าหน้าต่างแบบที่มีลักษณะเตี้ยและติดกันเป็นแนว มักพบเห็นใช้กับอาคารสำนักงานที่มีความลึกมากร่วมกับแสงประดิษฐ์ ซึ่งต้องการการควบคุมแสงตรงเข้าสู่ภายใน และให้แสงมีความสม่ำเสมอ หากช่องเปิดอยู่ในตำแหน่งที่สูงขึ้นจะทำให้แสงส่องผ่านได้ลึกขึ้น แต่บริเวณใกล้ผนังจะมีปริมาณแสงน้อยกว่า
3. รูปแบบประชิดมุม (Windows on Adjacent Walls) หน้าต่างแบบประชิดมุมที่ใช้กับห้องรูปสี่เหลี่ยมให้แสงที่ดีแก่ภายใน มักจัดตำแหน่งช่องเปิดที่ไว้มุมของห้อง หน้าต่างแบบนี้ช่วยลดแสงจ้าบาดตา โดยการให้แสงที่ผนังและบริเวณโดยรอบ
4. รูปแบบมุขยื่น (Bay Windows) หน้าต่างแบบมุขให้กลุ่มแสงที่ดีแก่บริเวณนั้นๆ แต่ให้แสงน้อยกว่าหน้าต่างแบบสูง เนื่องจากถูกบังคับด้วยตัวมุขเองที่มีลักษณะคล้ายอุปกรณ์บังแดดแบบยื่น ทำให้แสงส่องผ่านได้ไม่ลึกเท่าที่ควร
5. รูปแบบตำแหน่งตรงกันข้าม (Windows on Opposite Walls) หน้าต่างแบบนี้ให้แสงจากผนังทั้งสองด้าน ช่วยลดความแตกต่างและสร้างความสมดุลของแสง อีกทั้งให้แสงปริมาณมาก แต่สำหรับการใช้กับห้องเรียนอาจทำให้ขาดสมาธิในการเรียนการสอน

บทที่ 3
ค่าความส่องสว่างในเขตกรุงเทพมหานคร

3.1 สภาพภูมิอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร

3.1.1 สภาพภูมิอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร

ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้ง (Latitude) 5.5 องศา – 20.5 องศาเหนือ และเส้นแวง (Longitude) 97 องศา-105.5 องศาตะวันออก ส่วนกรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงตั้งอยู่ ณ เส้นรุ้ง (Latitude) 13 องศา 44 ลิปดาเหนือ เส้นแวง (Longitude) 100 องศา 34 ลิปดา สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปจะมีลมมรสุมอยู่ 2 ช่วง คือลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

3.1.2 ภูมิอากาศ (Climate)

A ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ประเทศไทยจะได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยประมาณ 1,500 มม. ความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยประมาณ 78% อุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 25 องศาเซลเซียส ความร้อนจะไม่มากนักในช่วงฤดูนี้

B ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม โดยจะได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งในช่วงระยะนี้ปริมาณของน้ำฝนจะน้อยและจะเป็นช่วงที่จะได้รับอิทธิพลลมหนาวจากประเทศจีนแผ่ปกคลุมลงมา ทำให้มีอุณหภูมิลดต่ำลงโดยเฉลี่ยประมาณ 18 องศาเซลเซียส อากาศโดยทั่วไปจะเป็นอากาศแห้งแล้งและเย็น

C ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน จะทำให้ช่วงนี้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นกว่าช่วงอื่น ๆ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 38 องศาเซลเซียส อากาศโดยทั่วไปจะมีลักษณะอากาศที่แห้งแล้งในช่วงตอนปลายของฤดูจะเริ่มมีฝนตก

3.1.3 อุณหภูมิ (Temperature)

เนื่องจากตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับแสงตั้งฉากของดวงอาทิตย์เกือบตลอดปี โดยเฉพาะช่วงเดือนเมษายนประเทศไทยหันเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด โดยมีอุณหภูมิประมาณ 26.1-34.9 องศาเซลเซียส ทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงอื่น ๆ ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนมีน้อย

3.1.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)

ช่วงเดือนธันวาคมและมกราคมเป็นช่วงที่อากาศแห้งที่สุดโดยอยู่ระหว่าง 70-72% เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ลมจะเริ่มเปลี่ยนทิศเป็นมรสุมตะวันออกเฉียงใต้และทิศใต้ ทำให้ความชื้นในอากาศเริ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากอุณหภูมิอากาศยังอยู่ในระดับสูง และความชื้นสัมพัทธ์จึงยังไม่สูงมากในช่วงระยะนี้ระหว่างเดือนมีนาคมและต้นเดือนสิงหาคมซึ่งเป็น

ระยะอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงประมาณ 74-78% ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ในช่วงสูงสุดตั้งแต่ 80% ขึ้นไป

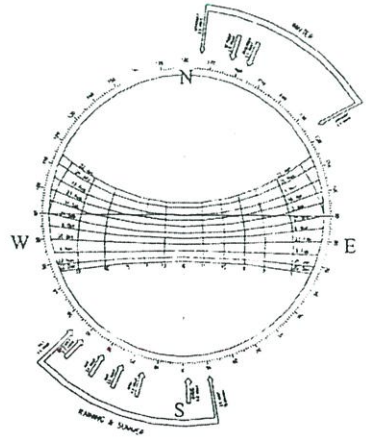
3.2 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อกรุงเทพมหานคร

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี ในขณะที่โคจรไปก็จะหมุนรอบตัวเองไปพร้อมกัน แกนของโลกที่เอียง 23.5 องศา กับแนวโคจรรอบดวงอาทิตย์ ในวันที่ 21 มิถุนายนบริเวณเส้นรุ้งที่ 23.5 องศาเหนือ จะเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด เมื่อเทียบจุดอื่น ๆ บนโลกในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อนเข้าสู่ฤดูฝน จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์ไม่ได้อยู่ตรงศีรษะแต่เอียงไปทางทิศเหนือเป็นมุม 23.5 องศา สำหรับกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่ที่เส้นรุ้ง 13 องศา 44' เหนือ นั้นเอียงทำมุมกับทิศเหนือ (23.5-13.4 องศา) = 10.1 องศา

ในวันที่ 21 ธันวาคม บริเวณเส้นรุ้งที่ 23.5 องศาใต้ จะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดเมื่อเทียบกับจุดอื่น ๆ บนโลก ในเขตกรุงเทพมหานครจะเป็นช่วงฤดูหนาวซึ่งจะเห็นดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เอียงไปทางทิศใต้เป็นมุม 23.5 องศา สำหรับในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่เส้นรุ้งที่ 13 องศา 44' เหนือ นั้นเอียงทำมุมกับทิศใต้ (13.4 – (-23.5) = 36.9 องศา ดวงอาทิตย์จะอ้อมทิศใต้

ในวันที่ 21 มีนาคมและวันที่ 21 กันยายน บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดเทียบกับจุดอื่น ๆ บนโลกของทุกปีจะสังเกตเห็นว่าเวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดี

ตำแหน่งทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ ณ เขตกรุงเทพมหานคร ในวันและเวลาต่าง ๆ ของปี ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าช่วงกลางเดือนเมษายนถึงกลางเดือนสิงหาคม ดวงอาทิตย์จะเยื้องไปทางเหนือโดยจะอ้อมทางเหนือสุดในวันที่ 22 มิถุนายน นอกนั้นเวลาส่วนใหญ่ 8 เดือน ดวงอาทิตย์จะเยื้องไปทางทิศใต้โดยจะอ้อมสุดวันที่ 22 ธันวาคม



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร (14 องศาเหนือ)
ที่มา : กรมอุตินิยมวิทยา ณ สถานีตรวจอากาศ กรุงเทพมหานคร

3.3 ปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ของกรุงเทพฯ(Radiation and Illuminance)

จากการที่กรุงเทพฯ ตั้งอยู่ที่ละติจูดที่ 13 องศา 44' เหนือ และลองติจูดที่ 100 องศา 33' ตะวันออก ซึ่งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical Zone) ทำให้มีปริมาณรังสีและปริมาณแสงสว่างที่จ้าเกือบตลอดทั้งปีโดยปกติแล้วปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแสงสว่างถ้าประมาณของรังสีมากปริมาณแสงสว่างก็จะมีค่าของความส่องสว่างมากด้วยในช่วงของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของรังสีจากดวงอาทิตย์และปริมาณของแสงสว่างจะมีการแปรเปลี่ยนตลอดเวลาในแต่ละและช่วงวัน เดือน ปี โดยในการวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลจากการศึกษาสถิติการวัดค่าปริมาณแสงสว่างและรังสีของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี (มกราคมถึงเดือนธันวาคม (2542-2543) ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเอเชีย AIT โดยเก็บข้อมูลสถิติของค่าความส่องสว่างและค่าปริมาณรังสีแบบแนวโคจรของดวงอาทิตย์ (Solar time) และแบบตามช่วงเวลาปกติ (Local time)

3.3.1 ค่าความถี่ของความส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของ กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความถี่ของความส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของกรุงเทพฯ (1999-2000)

ความส่องสว่างภายนอก (Lux)	จำนวนชั่วโมง/ปี	เปอร์เซ็นต์ (%)	Daylight Factor (%)
0	460	12.60	0.00
1-5000	46	1.26	10.00
5000-10000	97	2.66	5.00
10000-15000	139	3.81	3.33
15000-20000	144	3.95	2.50
20000-25000	142	3.89	2.00
25000-30000	150	4.11	1.67
30000-35000	168	4.60	1.43
35000-40000	165	4.52	1.25
40000-45000	139	3.81	1.11
45000-50000	172	4.71	1.00
50000-55000	176	4.82	0.91
55000-60000	157	4.30	0.83
60000-65000	140	3.84	0.77
65000-70000	142	3.89	0.71
70000-75000	173	4.74	0.67
75000-80000	143	3.92	0.63
80000-85000	137	3.75	0.59
85000-90000	152	4.16	0.56

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ความส่องสว่างภายนอก (Lux)	จำนวนชั่วโมง/ปี	เปอร์เซ็นต์ (%)	Daylight Factor (%)
90000-95000	126	3.45	5.26
95000-100000	106	2.90	0.50
100000-105000	111	3.04	0.48
10500-110000	101	2.77	0.45
110000-115000	62	1.70	0.43
115000-120000	46	1.26	0.42
120000-125000	31	0.85	0.40
125000-130000	21	0.58	0.38
130000-135000	4	0.11	0.37
รวม	3650 ชั่วโมง	100%	

จากตารางแสดงค่าความถี่ของความสว่างภายนอกพบว่าค่าความถี่ของปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นส่วนมากอยู่ในช่วง 45,000-55,000 Lux โดยที่สภาพของท้องฟ้าจะมีลักษณะแบบมีเมฆมาก (Partly Cloudy Sky) ดังนั้นการออกแบบ Light Shelve จึงต้องคำนึงถึงปริมาณแสงที่เกิดขึ้นโดยส่วนมากเป็นสำคัญ

3.4 สภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร

สภาพท้องฟ้ามีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องโดยตรง ทั้งค่าความส่องสว่างและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยาสามารถตรวจสอบสภาพท้องฟ้าที่เกิดขึ้น ในช่วงระยะ 10 ปี (2533-2542) จะพบว่าสภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 5.5-8.7 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมมาก (Partly Cloudy Sky) ซึ่งท้องฟ้าในลักษณะนี้มีความแปรปรวนของแสงสว่างตลอดเวลา

บทที่ 4
แนวทางการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสมและการทดลอง

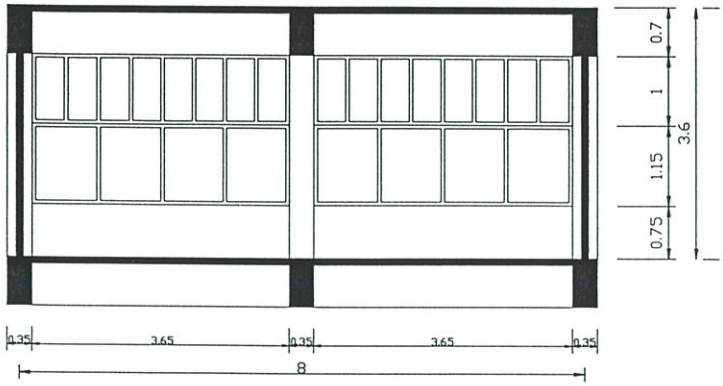
4.1 การวิเคราะห์สัดส่วนของห้องเรียน

จากการศึกษาสัดส่วนของห้องเรียนตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการพบว่ามีสองรูปแบบคือ ขนาด 7.0 x 9.0 เมตร และ 8.0 x 8.0 เมตร สำหรับการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษารูปแบบของหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานครมีค่าความสว่าง 500 ลักซ์ ทั่วทั้งห้องที่ระดับความสูง 0.75 เมตรในแนวราบ เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงสถานศึกษาที่มีอยู่เดิมและเพื่อประยุกต์ในการออกแบบอาคารเรียนใหม่

ดังนั้นจึงเลือกห้องเรียนขนาด 8.0 x 8.0 เมตร ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีความกว้างมากที่สุด เพื่อมาทำการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ เนื่องจากหากสามารถออกแบบหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับห้องเรียนทุกรูปแบบต่อไป

4.2 การวิเคราะห์ขนาดสัดส่วนของช่องแสง

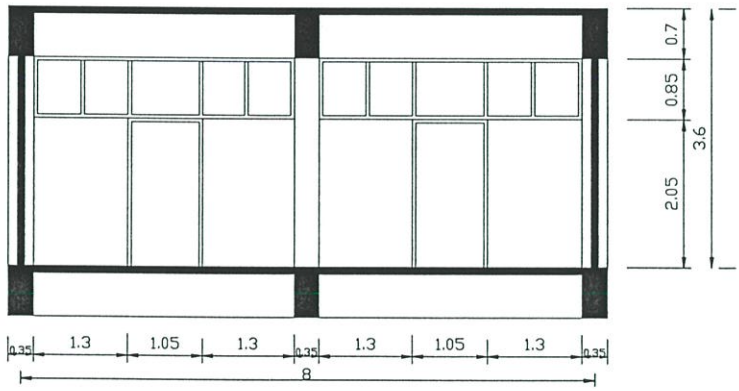
จากการพิจารณาลักษณะช่องแสงตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ พบว่ามีการใช้หน้าต่างแบบบานเปิดแนวตั้ง (Casement Windows) โดยมีหน้าต่างติดตั้งตลอดแนวผนัง ซึ่งทำให้มีปริมาณแสงธรรมชาติไม่พอเพียง วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาให้สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ให้ความสว่างภายในห้องเรียนได้ตามเกณฑ์มาตรฐานทั่วทั้งห้อง จึงเสนอแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงโดยเริ่มจากการเพิ่มความสูงของช่องแสงเหนือบานเปิดให้สูงจนถึงฝ้าเพดานที่ระดับ 2.90 เมตร จากเดิมสูง 2.50 เมตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียน และมีรายละเอียดต่างๆ ของช่องแสงดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะช่องเปิดของห้องเรียน

<u>การวิเคราะห์สัดส่วนช่องเปิด</u>

- พื้นที่ผนังทั้งหมด 28.80 ตารางเมตร (100.00%)
- พื้นที่ผนัง 14.43 ตารางเมตร (50.10%)
- พื้นที่วงกบ 1.47 ตารางเมตร (5.10%)
- พื้นที่ช่องแสง 5.76 ตารางเมตร (20.00%)
- พื้นที่ช่องเปิด 7.14 ตารางเมตร (24.80%)



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะช่องเปิดของห้องเรียนด้านประตูทางเข้า

<u>การวิเคราะห์สัดส่วนช่องเปิด</u>

- พื้นที่ผนังทั้งหมด 28.80 ตารางเมตร (100.00%)
- พื้นที่ผนัง 18.29 ตารางเมตร (63.51%)
- พื้นที่วงกบ 1.68 ตารางเมตร (5.83%)
- พื้นที่ช่องแสง 5.03 ตารางเมตร (17.47%)
- พื้นที่ประตู 3.80 ตารางเมตร (13.19%)

4.3 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน

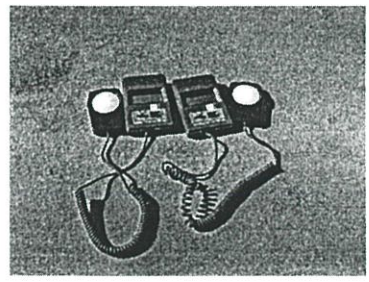
สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนมีผลโดยตรงต่อสภาพแสงสว่างภายในห้องนั้นๆ การจัดสภาพแวดล้อมภายในที่เหมาะสมจะมีส่วนช่วยส่งเสริมให้สภาพแสงสว่างภายในห้องเรียนดีขึ้น และส่งผลดีต่อผู้ใช้สอยในด้านภาวะสบายทางสายตาอีกด้วย สำหรับวิทยานิพนธ์นี้กำหนดค่าการสะท้อนแสงของส่วนต่างๆ ภายในห้องเรียนดังนี้

ฝ้าเพดาน	มีค่าการสะท้อนแสง 70 – 90 %
ผนัง	มีค่าการสะท้อนแสง 40 – 60 %
พื้น	มีค่าการสะท้อนแสง 30 %

4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.4.1 ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)

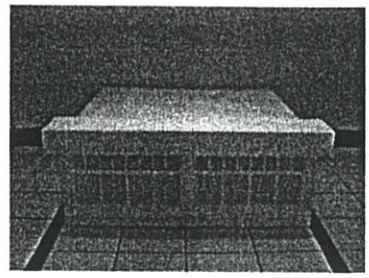
ในการทดลองนี้ใช้ลักซ์มิเตอร์วัดค่าความสว่างในหน่วยลักซ์ (Lux) ทั้งสิ้น โดยนำมาวัดค่าความสว่างทั้งภายนอกอาคารและภายในอาคารเพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทดลองต่างๆ ต่อไป



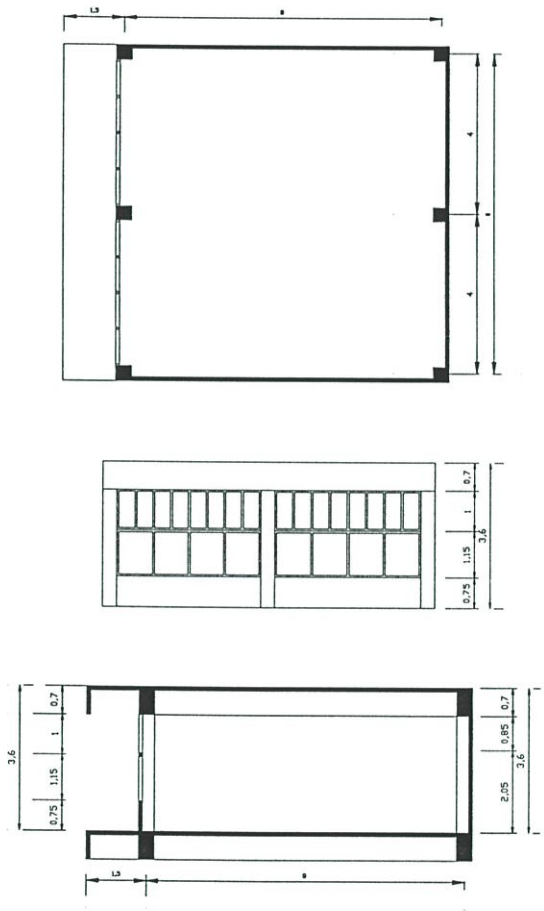
รูปที่ 4.3 แสดงเครื่องมือลักซ์มิเตอร์

4.4.2 หุ่นจำลอง

ทำการสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน ขนาดกว้าง 8.0 เมตร ลึก 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูงจากพื้น 2.9 เมตร ขนาดหน้าต่างและระดับความสูงในการติดตั้งยึดตามแบบกระทรวงศึกษาธิการ โดยกำหนดให้ขยายขนาดช่องแสงให้สูงขึ้นอีก 0.40 เมตรเพื่อประสิทธิภาพในการรับแสงมากยิ่งขึ้น โดยใช้มาตราส่วน 1 : 10 เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของหิ้งสะท้อนแสงที่มีพื้นผิวชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะกายภาพหุ่นจำลอง



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะหุ่นจำลองห้องเรียนที่ใช้ในการทดสอบ

- วัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลองคือ อะคริลิกทึบสีขาวหนา 6 มม. ใช้กระดาษชานอ้อยทำบานหน้าต่าง ส่วนผิวผนัง เพดาน พื้น ใช้กระดาษโปสเตอร์ที่ได้ทดสอบค่าการสะท้อนแสงตามความเหมาะสมดังนี้

ค่าการสะท้อนแสงของผนัง	=	50%
ค่าการสะท้อนแสงของเพดาน	=	80%
ค่าการสะท้อนแสงของพื้น	=	30%

- ส่วนช่องแสงกำหนดให้ใช้กระจกใสหนา 6 มม. แบบติดตายเป็นวัสดุทั้งหมด และนำค่าจากวัสดุมาใช้ในการคำนวณดังนี้

ค่า Daylight Transmission	=	0.88
ค่า U-value	=	5.83 watt/sqm*c
SC	=	0.96

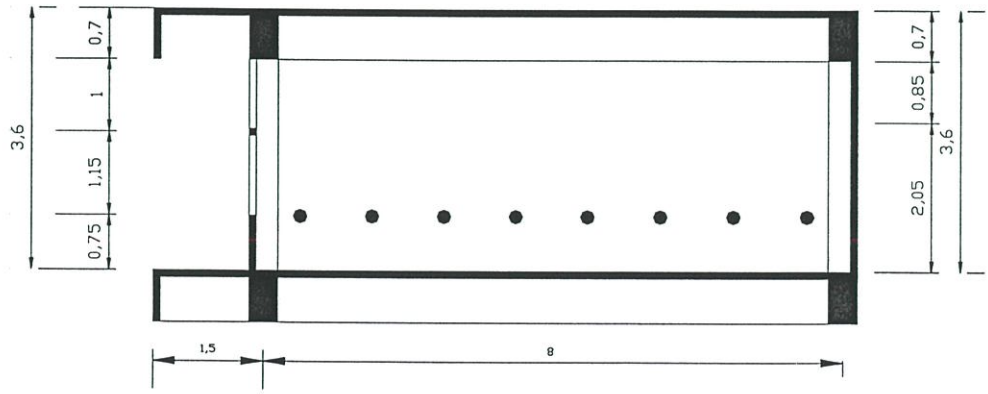
4.4.3 ขั้นตอนการวัดการกระจายแสงและหาค่า Daylight Factor

<u>การทดสอบและการเก็บข้อมูล</u>

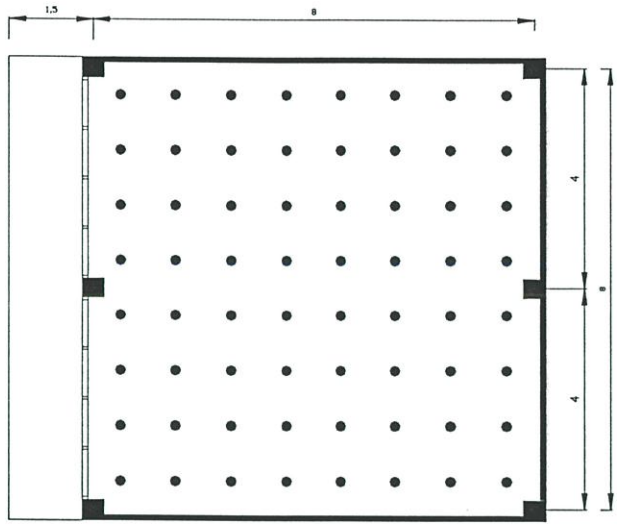
- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวข้างต้น โดยทดสอบวัดค่าความสว่างภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบตามระบบตาราง ขนาดตาราง 1 x 1 เมตร ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane)
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางตารางภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง

<u>ตำแหน่งในการวัดค่าความสว่าง</u>

ตำแหน่งในการวัดที่ระดับความสูงจากพื้น 0.75 เมตร ตามระบบตารางขนาด 1 x 1 เมตร กำหนดให้วัดที่กึ่งกลางของตารางทั่วทั้งห้อง



รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งการวัดจากภาพตัด



รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งการวัดในแนวราบตามระบบตารางขนาด 1 x 1 เมตร

การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดสอบทุกรูปแบบ มาวิเคราะห์ประเมินผล ข้อดี ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้สอย เพื่อนำเสนอรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้เป็นหน้าต่างสะท้อนแสงสำหรับโรงเรียนประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานครต่อไป

ทำการประเมินผลโดยการหาค่า Daylight Factor ในทุกตำแหน่งที่ทำการทดสอบดังนี้

$$D.F. = \frac{\text{ค่าความสว่างภายใน}}{\text{ค่าความสว่างภายนอก}} \times 100\%$$

บทที่ 5
ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหน้าต่างสะท้อนแสง

จากรายงานการศึกษาค่าความสว่างภายในห้องเรียนของโรงเรียนนวมินทราชูทิศ หอวัง ซึ่งมีขนาด 9.00 x 7.00 เมตร โดยมีช่องแสงอยู่ทางทิศเหนือพบว่า มีการกระจายแสงในช่วง 2.00 เมตรแรกอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ แต่ระยะความลึกที่มากกว่า 2.00 เมตร ถึง 7.00 เมตร ค่าความสว่างภายในต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 160 – 400 ลักซ์ และภายใน 1 ปี สามารถใช้แสงธรรมชาติได้ตามเกณฑ์มาตรฐานทั่วทั้งห้องโดยไม่ใช้แสงประดิษฐ์ช่วยในการให้แสงสว่างได้เพียง 14.69% เท่านั้น กล่าวคือจำเป็นต้องใช้แสงประดิษฐ์ตลอดทั้งวันในห้องเรียนซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงศึกษารูปแบบของหน้าต่างสะท้อนแสงที่สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารเรียนเดิมและแนวทางในการออกแบบอาคารเรียนต่อไป

5.1 การวิเคราะห์ปัจจัยกายภาพของหน้าต่างสะท้อนแสง

การศึกษาแนวทางในการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนหลายประการ ซึ่งมีปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาดังนี้

1. ประเภทของหน้าต่างสะท้อนแสง พิจารณาเพื่อหาประเภทที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุด ทดสอบทั้งแบบภายนอก แบบภายใน แบบผสมและแบบเกล็ด

2. สีและผิวสัมผัสของหน้าต่างสะท้อนแสง พิจารณาลักษณะทั้งในด้านพื้นผิวและสีของวัสดุที่มีประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุหน้าต่างสะท้อนแสงที่ดีที่สุด

3. รูปแบบของหน้าต่างสะท้อนแสง พิจารณาต่อจากประเภทที่ทดสอบได้จากข้อ 1 เพื่อพัฒนารูปแบบที่มีความเหมาะสม

4. ความลึกของหน้าต่างสะท้อนแสง พิจารณาเพื่อหาอิทธิพลที่มีผลต่อความสัมพันธ์ในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียน

5. ความสูงของหน้าต่างสะท้อนแสง พิจารณาความสูงในการติดตั้งบานของหน้าต่างสะท้อนแสง ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียน

ปัจจัยข้างต้นล้วนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนโดยตรง การวิจัยนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อรูปแบบของหน้าต่างสะท้อนแสงเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนสูงสุด

5.2 การวิเคราะห์การกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่

การวิจัยเพื่อศึกษาหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนนี้ มีการกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่สำหรับการทดลองเพื่อความเหมาะสมดังนี้

1. รูปแบบอาคารกำหนดตามแบบอาคารเรียนมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 8.0 x 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่มีความลึกมากที่สุด เพื่อสามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปปรับใช้ได้กับทุกแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ
2. ช่วงเวลาใช้งานระหว่าง 8.00 – 15.00 น. โดยแบ่งเป็น 2 ภาคการศึกษาคือ ช่วงเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม และพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์
3. ข้อมูลแสงสว่างอ้างอิงข้อมูลที่รวบรวมโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
4. การให้แสงนำแสงสว่างเข้าจากทางด้านข้าง (Side Lighting)
5. กำหนดให้สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารเป็นที่โล่ง
6. กำหนดให้อาคารจัดวางตามยาวในแนวทิศเหนือ – ใต้ โดยช่องเปิดอยู่ด้านทิศใต้
7. การทดลองทำการทดลองกับสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)
8. ค่าการสะท้อนแสงภายในกำหนดให้

ฝ้าเพดาน	มีค่าการสะท้อนแสง	80 %	สีขาว
ผนัง	มีค่าการสะท้อนแสง	50 %	สีฟ้าอ่อน
พื้น	มีค่าการสะท้อนแสง	30 %	สีเทา

9. ค่า Transmittance (กระจกใส 6 มม.) : 0.88
10. ที่ตั้งอาคารกำหนดเป็นกรุงเทพมหานคร ละติจูดที่ 14 องศาเหนือ

5.3 การวิเคราะห์การออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

การวิจัยเพื่อให้ได้หน้าต่างสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นหน้าต่างสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องเรียนนี้ ทำการทดสอบเพื่อหาหน้าต่างที่เหมาะสมโดยพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงการวิเคราะห์การออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสง

ปัจจัย	รายละเอียด
1. ประเภทของ Light Shelves	พิจารณาทั้งแบบภายนอก ภายใน แบบม่านและแบบผสม เพื่อหาประเภทที่สามารถสะท้อนแสงและกระจายแสงได้ดี
2. สีและผิวสัมผัส	มีความเหมาะสมทั้งในด้านประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง และเหมาะสมกับการฝช้งานในห้องเรียน
3. รูปแบบลักษณะการเปิด	พิจารณาจากประเภทที่เหมาะสมเพื่อหารูปแบบที่มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงสูงสุด และมีความเหมาะสม
4. ความลึก	พิจารณาความลึกที่สามารถสะท้อนแสงได้ดีตามเกณฑ์ และยังสามารถป้องกันแสงแดดได้

จากการวิเคราะห์ในข้างต้น ดังนั้นจึงกำหนดการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักดังนี้

1. การวิเคราะห์เพื่อเลือกประเภทของหน้าต่างสะท้อนแสง
2. การวิเคราะห์เพื่อเลือกผิวสัมผัสและสีของหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม
3. การวิเคราะห์เพื่อเลือกรูปแบบและเทคนิคของหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม
4. การวิเคราะห์เพื่อเลือกความลึกของหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม
5. การวิเคราะห์เพื่อควบคุมแสงบาดตา

5.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงที่ทำการทดสอบในแต่ละการทดลอง มีวิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพดังนี้

1. นำค่าความสว่างภายในที่วัดได้คูรค่าการส่องสว่างของกระจกที่เลือกใช้ (Transmittance) ในการวิจัยนี้เลือกใช้กระจกใสหนา 6 มม. ค่า Transmittance = 0.88 เพื่อได้ค่าความสว่างภายในจริง
2. นำค่าความสว่างภายในที่ได้จากข้อ 1 มาหาค่า Daylight Factor ดังนี้

$$D.F. = \frac{\text{ค่าความสว่างภายใน}}{\text{ค่าความสว่างภายนอก}} \times 100\ \%$$

3. เมื่อได้ค่า D.F. ของหน้าต่างสะท้อนแสงในแต่ละแบบแล้ว ทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวตามความลึก เพื่อนำมาเปรียบเทียบว่าแบบใดในชุดการทดสอบที่มีค่า D.F. ของแถวในสุดมีค่ามากที่สุด ซึ่งจะถูกเลือกเพื่อนำมาพิจารณาพัฒนาในขั้นตอนการทดลองต่อไป

4. นำแบบที่ดีที่สุดในแต่ละชุดการทดสอบที่ได้จากข้อ 3 มาเปรียบเทียบความสามารถในการใช้งานตลอดทั้งปี โดยใช้เกณฑ์ความสว่างภายใน 500 ลักซ์ ทั่วทั้งห้อง นำค่า D.F. เฉลี่ยของแถวในสุดมาหาค่าความสว่างภายนอกที่เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำที่จะสามารถใช้งานได้ ดังนี้

$$\text{ค่าความสว่างภายนอกขั้นต่ำที่ต้องการ} = \frac{50{,}000}{\text{D.F. (\%)}}$$

5. จากนั้นนำเกณฑ์ขั้นต่ำที่ได้จากข้อ 4 ทำการเปรียบเทียบกับตารางค่าความสว่างภายนอกที่วัดได้ตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย เพื่อสรุปประสิทธิภาพในการใช้งานของหน้าต่างสะท้อนแสงตลอดทั้งปี
6. ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้าต่างในการใช้งานตลอดทั้งปี ทำโดยเทียบชั่วโมงการใช้สอยของโรงเรียนใน 1 ปี โดย
   - เปิดภาคเรียนที่ 1 วันที่ 16 พฤษภาคม - 30 กันยายน
   - เปิดภาคเรียนที่ 2 วันที่ 1 พฤศจิกายน - 28 มีนาคม
   - ช่วงเวลาการใช้สอยตั้งแต่เวลา 8.00 - 15.00 น. รวม 8 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.2 แสดงจำนวนวันและชั่วโมงการใช้สอยห้องเรียนตลอดทั้งปี

เดือน	จำนวนวันที่ใช้	จำนวนวันที่ไม่ได้ใช้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้	จำนวนชั่วโมงที่ไม่ได้ใช้
มกราคม	31	0	248	0
กุมภาพันธ์	28	0	224	0
มีนาคม	0	31	0	248
เมษายน	0	30	0	240
พฤษภาคม	16	15	128	0
มิถุนายน	30	0	240	0
กรกฎาคม	31	0	248	0
สิงหาคม	31	0	248	0
กันยายน	30	0	240	0
ตุลาคม	0	31	0	248
พฤศจิกายน	30	0	240	0
ธันวาคม	31	0	248	0
รวม	**258**	**107**	**2,064**	**736**

จากข้อมูลแสงสว่างที่วัดได้ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียพบว่ามีบางช่วงเวลาที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ คือแสดงค่าความสว่างเป็นศูนย์ ซึ่งในส่วนนี้จะไม่นำมาพิจารณาคำนวณความสามารถในการใช้งานตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงต้องนำมาหักออกจากชั่วโมงที่ใช้สอยได้ข้างต้นโดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงจำนวนข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์จากการวัดค่าความสว่างภายนอกของกรุงเทพมหานคร ปี 2543

เดือน	จำนวนชั่วโมงศูนย์	เดือน	จำนวนชั่วโมงศูนย์
มกราคม	52	กรกฎาคม	30
กุมภาพันธ์	9	สิงหาคม	3
มีนาคม	3	กันยายน	0
เมษายน	93	ตุลาคม	32
พฤษภาคม	16	พฤศจิกายน	115
มิถุนายน	16	ธันวาคม	0

ตารางที่ 5.4 แสดงจำนวนวันและชั่วโมงการใช้สอยห้องเรียนตลอดทั้งปี

เดือน	จำนวนวันที่ใช้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้
มกราคม	31	196
กุมภาพันธ์	28	215
มีนาคม	0	0
เมษายน	0	0
พฤษภาคม	16	112
มิถุนายน	30	224
กรกฎาคม	31	218
สิงหาคม	31	245
กันยายน	30	240
ตุลาคม	0	0
พฤศจิกายน	30	125
ธันวาคม	31	248
รวม	**258**	**1,823**

5.5 การวิเคราะห์เพื่อเลือกประเภทหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

1. ชุดการทดสอบ

ทำการทดสอบเพื่อหาชนิดของหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหิ้งสะท้อนแสง 4 ชนิด คือ

- แบบภายนอก (Exterior Light Shelve)
- แบบภายใน (Interior Light Shelve)
- แบบผสม (Combined Light Shelve)
- แบบม่าน (Blind Light Shelve)

2. ตัวแปรควบคุม

รูปแบบอาคาร : กำหนดตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 4.0 x 8.0 x 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่มีความลึกมากที่สุดเพื่อสามารถนำผลที่ได้ไปปรับใช้ได้กับทุกแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ

ค่าการสะท้อนแสงภายใน : กำหนดให้ภายในบุด้วยกระดาษสีดำด้านทั้งหมด เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดอิทธิพลต่อการทดสอบ

ความยาวหิ้งสะท้อนแสง : 1.10 เมตร เท่ากับขนาดหน้าต่างตามแบบมาตรฐาน

พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง : กำหนดใช้กระดาษชานอ้อยสีขาว

3. การกำหนดจุดมุ่งหมายในการทดลอง

การทดลองนี้ต้องการทดสอบเพื่อหาชนิดของหน้าต่างที่สามารถใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยกำหนดให้ทั่วทั้งห้องต้องมีค่าความสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ ที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (Working Plane) ในแนวราบภายใต้สภาพท้องฟ้าปกติ

4. สมมติฐานการทดลอง

หิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve น่าจะเป็นหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่นๆ ทั้ง 4 แบบ เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสกับแสงแดดโดยตรงมากที่สุด

5. หุ่นจำลอง

หุ่นจำลอง : ทำการสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน ขนาดกว้าง 4.0 เมตร ลึก 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูงจากพื้น 2.9 เมตร ขนาดหน้าต่างและระดับความสูงในการติดตั้งยึดตามแบบกระทรวงศึกษาธิการ โดยกำหนดให้ขยายขนาดช่องแสงให้สูงขึ้นอีก 0.40 เมตร เพื่อประสิทธิภาพในการรับแสงมากยิ่งขึ้น โดยใช้มาตราส่วน 1 : 10 เพื่อใช้ในการ

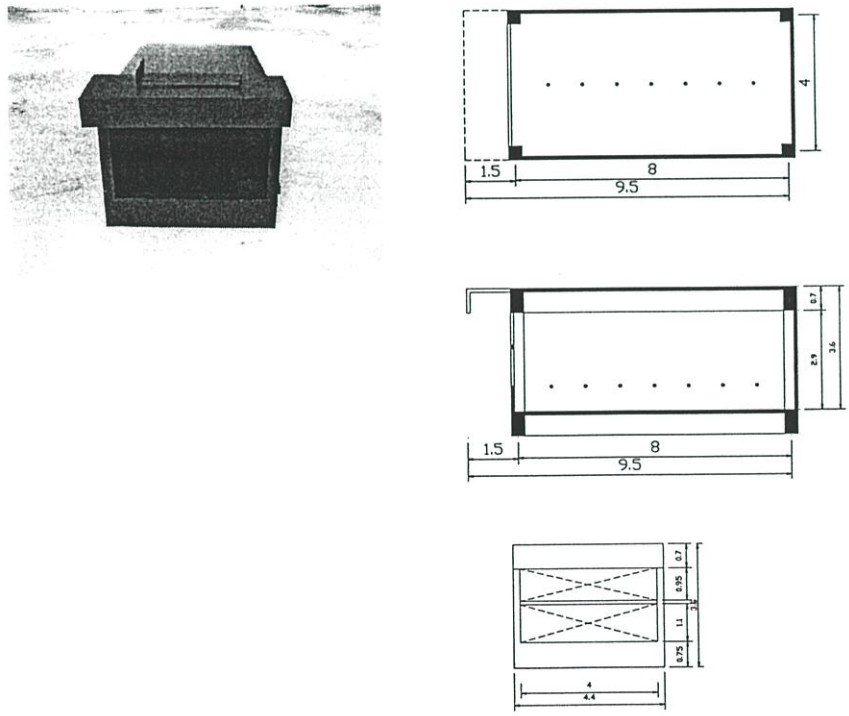
ทดสอบประสิทธิภาพของหิ้งสะท้อนแสงชนิดต่างๆ

วัสดุทำจากโฟโตบอร์ดสีดำด้าน ค่าการสะท้อนแสง 12.4 %

Light Shelve สีขาวกระดาษชานอ้อย ค่าการสะท้อนแสง 53.8 %

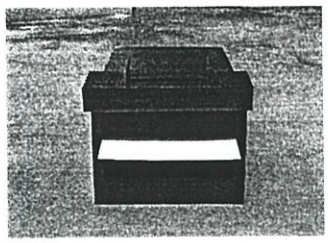
6. การทดสอบและการเก็บข้อมูล

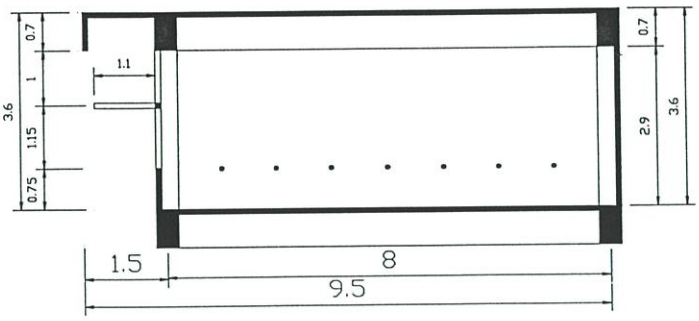
- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวข้างต้น โดยทดสอบวัดค่าความสว่างภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบ ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane) ที่ระยะความลึกทุกๆ 1 เมตร ตามแนวกึ่งกลางของช่องเปิด
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางแนวช่องเปิดทุกระยะความลึก 1 เมตรจากขอบหน้าต่างภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง



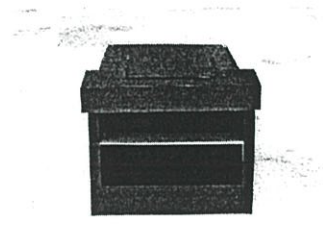
รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลอง

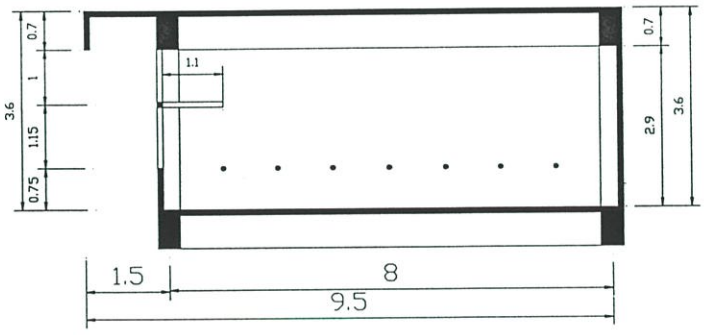
Exterior Light Shelve



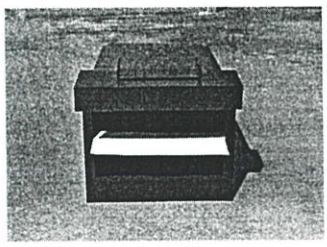


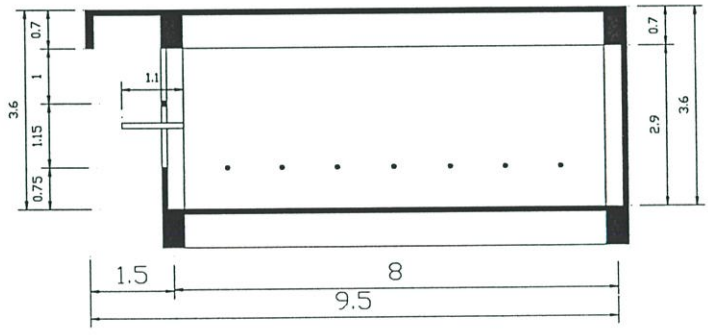
Interior Light Shelve



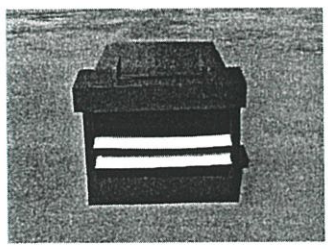


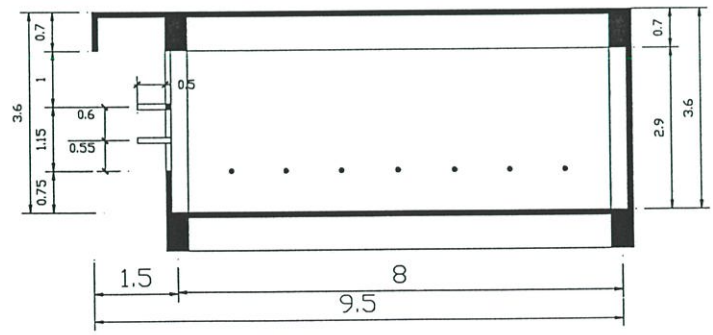
Conbined Light Shelve





Blind Light Shelve





รูปที่ 5.2 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลอง

ผลการวัดค่าความสว่างภายในหุ่นจำลองที่ทำการทดสอบ

วันที่ 16 ธันวาคม 2546

เวลา 14.00 - 14.30 น.

ทิศทางของช่องแสง ช่องแสงหันทางทิศใต้

สภาพท้องฟ้า ท้องฟ้าโปร่ง

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างที่วัดได้วันที่ 16 ธันวาคม 2546

	Lux						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
Out Door	83600	83500	82500	82500	80200	85200	86400
With Out Light Shelve	8190	4510	1980	1240	800	680	430
Exterior Light Shelve	2840	2670	1570	1320	800	680	520
Interior Light Shelve	11300	2340	1160	1240	800	770	520
Combined Light Shelve	3180	2000	1570	1490	800	680	610
Blind Light Shelve	5270	3510	2000	1570	880	850	430

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. (%) การทดลอง16 ธันวาคม 2546

	DF (%)						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
With Out Light Shelve	9.8	5.4	2.4	1.5	1	0.8	0.5
Exterior Light Shelve	3.4	3.2	1.9	1.6	1	0.8	0.6
Interior Light Shelve	13.6	2.8	1.4	1.5	1	0.9	0.6
Combined Light Shelve	3.8	2.4	1.9	1.8	1	0.8	0.7
Blind Light Shelve	6.3	4.2	2.4	1.9	1.1	1	0.5

ผลการวัดค่าความสว่างภายในหุ่นจำลองที่ทำการทดสอบ

วันที่ 17 ธันวาคม 2546

เวลา 14.00 - 14.30 น.

ทิศทางของช่องแสง ช่องแสงหันทางทิศใต้

สภาพท้องฟ้า ท้องฟ้าโปร่ง

ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างที่วัดได้วันที่ 17 ธันวาคม 2546

	Lux						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
Out Door	73300	73500	73700	73900	74200	73900	73900
With Out Light Shelve	6740	3750	1620	960	590	520	310
Exterior Light Shelve	2570	2280	1470	1110	670	590	440
Interior Light Shelve	9680	1910	1250	1110	740	670	520
Combined Light Shelve	2790	1840	1470	1330	740	600	430
Blind Light Shelve	4550	2940	1770	1550	890	740	590

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. (%) การทดลอง17 ธันวาคม 2546

	DF (%)						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
With Out Light Shelve	9.2	5.1	2.2	1.3	0.8	0.7	0.4
Exterior Light Shelve	3.5	3.1	2	1.5	0.9	0.8	0.6
Interior Light Shelve	13.2	2.6	1.7	1.5	1	0.9	0.7
Combined Light Shelve	3.8	2.5	2	1.8	1	0.8	0.6
Blind Light Shelve	6.2	4	2.4	2.1	1.2	1	0.8

ผลการวัดค่าความสว่างภายในหุ่นจำลองที่ทำการทดสอบ

วันที่ 18 ธันวาคม 2546

เวลา 14.00 - 14.30 น.

ทิศทางของช่องแสง ช่องแสงหันทางทิศใต้

สภาพท้องฟ้า ท้องฟ้าโปร่ง

ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างที่วัดได้วันที่ 18 ธันวาคม 2546

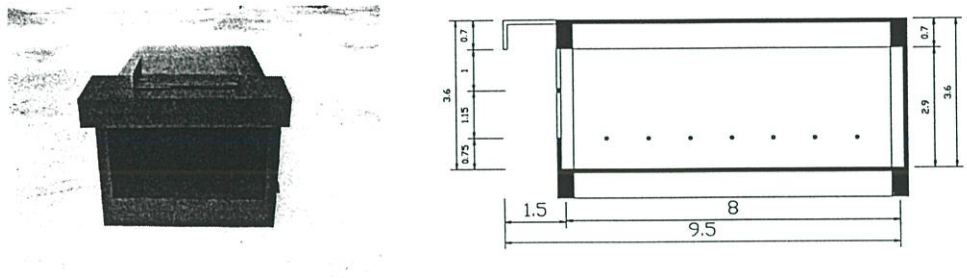
	Lux						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
Out Door	78800	78800	79500	81500	81300	80700	81800
With Out Light Shelve	7570	4180	1750	1220	650	570	330
Exterior Light Shelve	2760	2680	1590	1470	730	730	570
Interior Light Shelve	10400	2050	950	1300	650	650	490
Combined Light Shelve	2840	2060	1670	1630	890	810	650
Blind Light Shelve	5040	3470	1990	1790	1060	970	670

ตารางที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. (%) การทดลอง18 ธันวาคม 2546

	DF (%)						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
With Out Light Shelve	9.6	5.3	2.2	1.5	0.8	0.7	0.4
Exterior Light Shelve	3.5	3.4	2	1.8	0.9	0.9	0.7
Interior Light Shelve	13.2	2.6	1.2	1.6	0.8	0.8	0.6
Combined Light Shelve	3.6	2.6	2.1	2	1.1	1	0.8
Blind Light Shelve	6.4	4.4	2.5	2.2	1.3	1.2	0.8

แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. (%) ของหุ่นจำลองแต่ละแบบจากการทดสอบ 3 ครั้ง

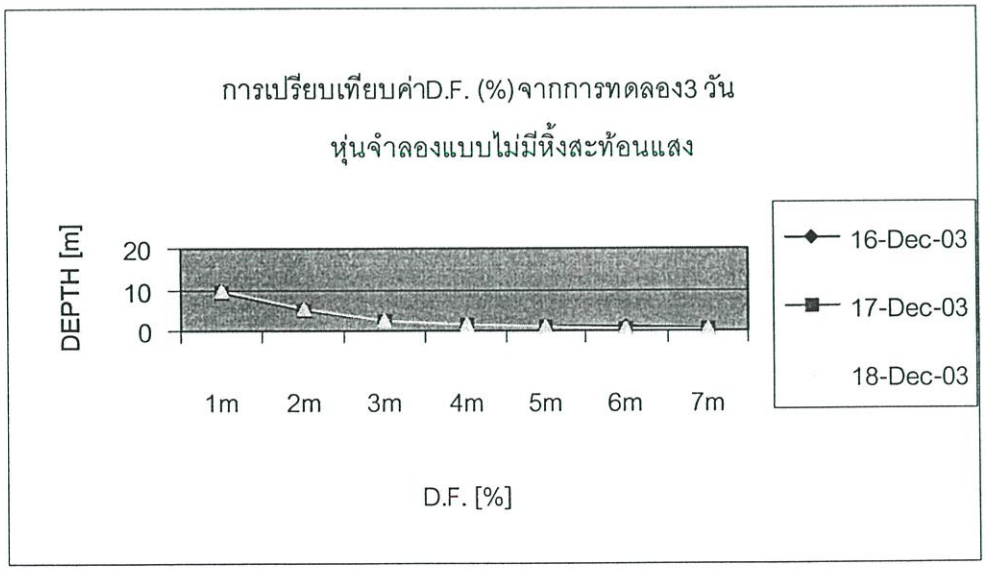
หุ่นจำลองโดยไม่มีหิ้งสะท้อนแสง



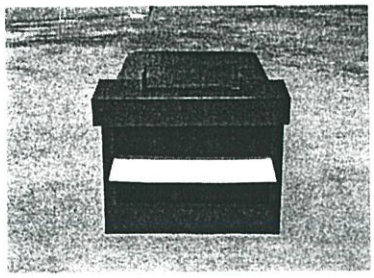
รูปที่ 5.3 แสดงหุ่นจำลองโดยไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

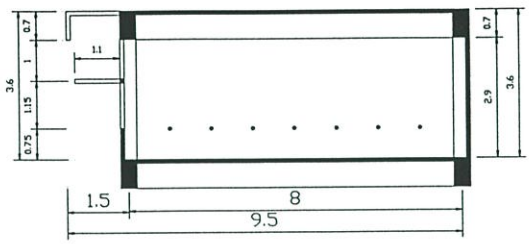
ตารางที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. หุ่นจำลองโดยไม่มีหิ้งสะท้อนแสง

With Out Light Shelve	DF (%)						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
16-Dec-03	9.8	5.4	2.4	1.5	1	0.8	0.5
17-Dec-03	9.2	5.1	2.2	1.3	0.8	0.7	0.4
18-Dec-03	9.6	5.3	2.2	1.5	0.8	0.7	0.4



หุ่นจำลองแบบ Exterior Light Shelve

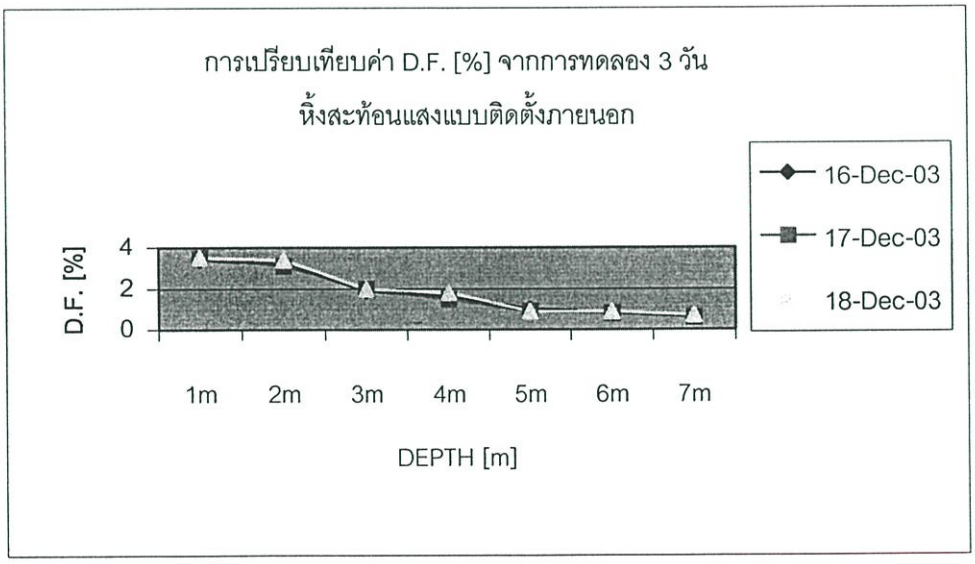




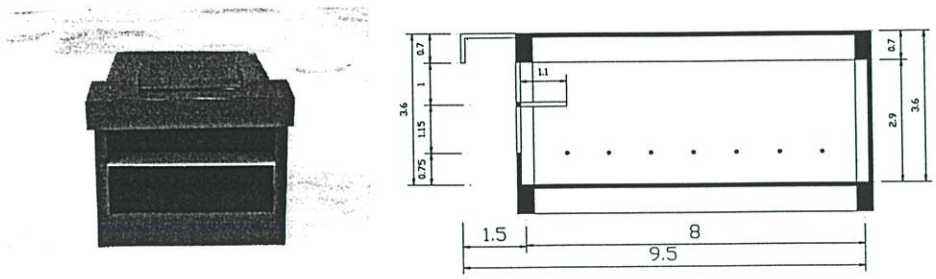
รูปที่ 5.4 แสดงหุ่นจำลองแบบ Exterior Light Shelve

ตารางที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. หุ่นจำลองแบบ Exterior Light Shelve

Exterior Light Shelve	DF (%)						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
16-Dec-03	3.4	3.2	1.9	1.6	1	0.8	0.6
17-Dec-03	3.5	3.1	2	1.5	0.9	0.8	0.6
18-Dec-03	3.5	3.4	2	1.8	0.9	0.9	0.7



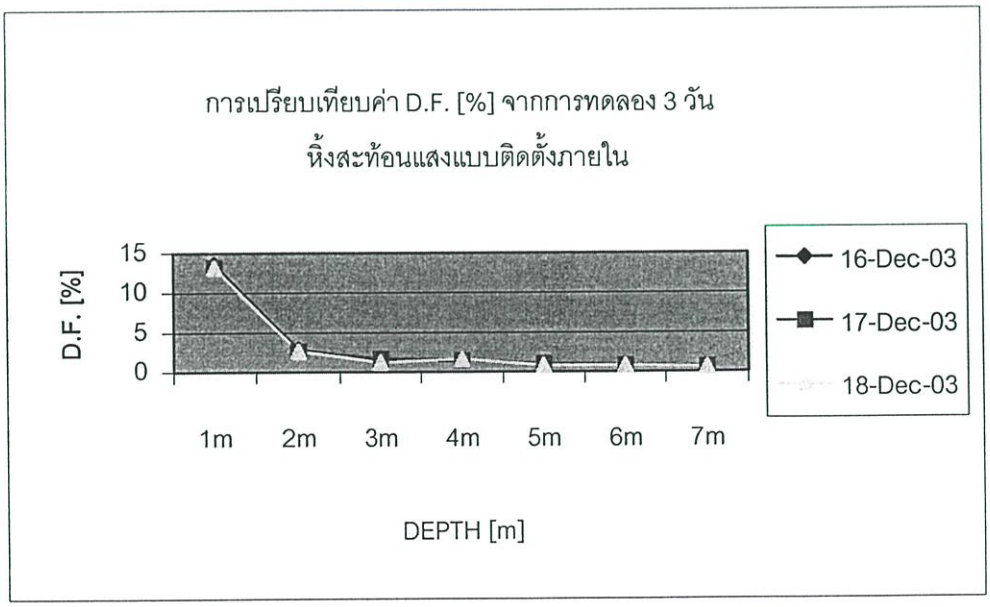
หุ่นจำลองแบบ Interior Light Shelve



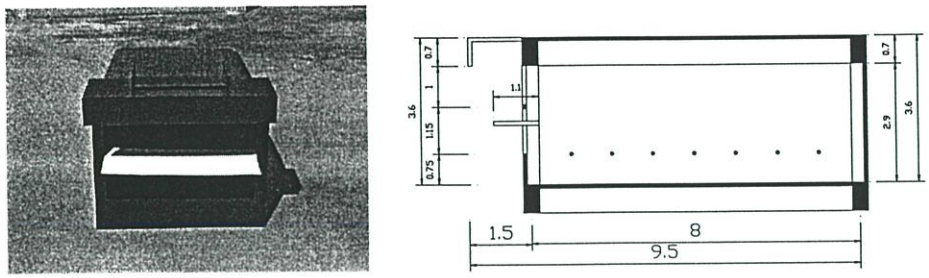
รูปที่ 5.5 แสดงหุ่นจำลองแบบ Interior Light Shelve

ตารางที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. หุ่นจำลองแบบ Interior Light Shelve

Interior Light Shelve	DF (%)						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
16-Dec-03	13.6	2.8	1.4	1.5	1	0.9	0.6
17-Dec-03	13.2	2.6	1.7	1.5	1	0.9	0.7
18-Dec-03	13.2	2.6	1.2	1.6	0.8	0.8	0.6



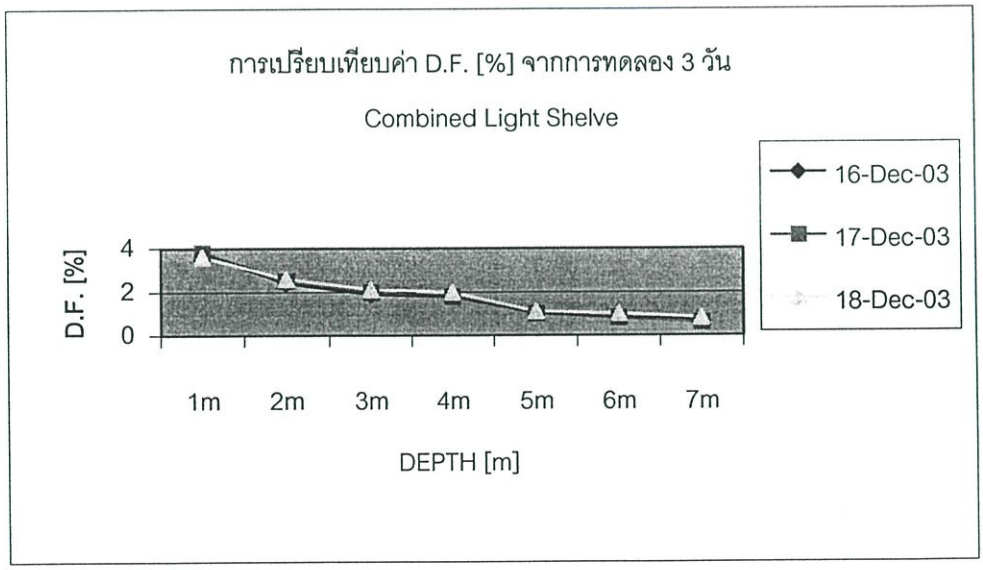
หุ่นจำลองแบบ Combined Light Shelve



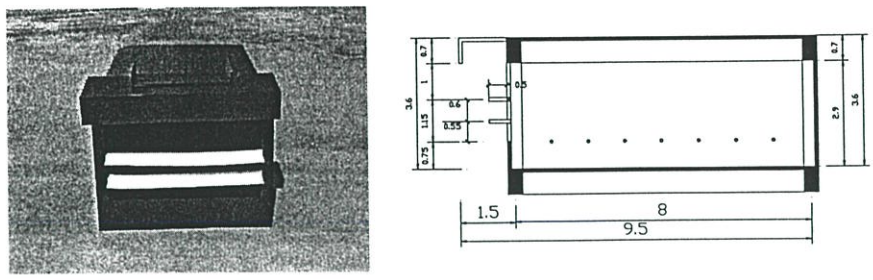
รูปที่ 5.6 แสดงหุ่นจำลองแบบ Combined Light Shelve

ตารางที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. หุ่นจำลองแบบ Combined Light Shelve

Combined Light Shelve	DF (%)						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
16-Dec-03	3.8	2.4	1.9	1.8	1	0.8	0.7
17-Dec-03	3.8	2.5	2	1.8	1	0.8	0.6
18-Dec-03	3.6	2.6	2.1	2	1.1	1	0.8



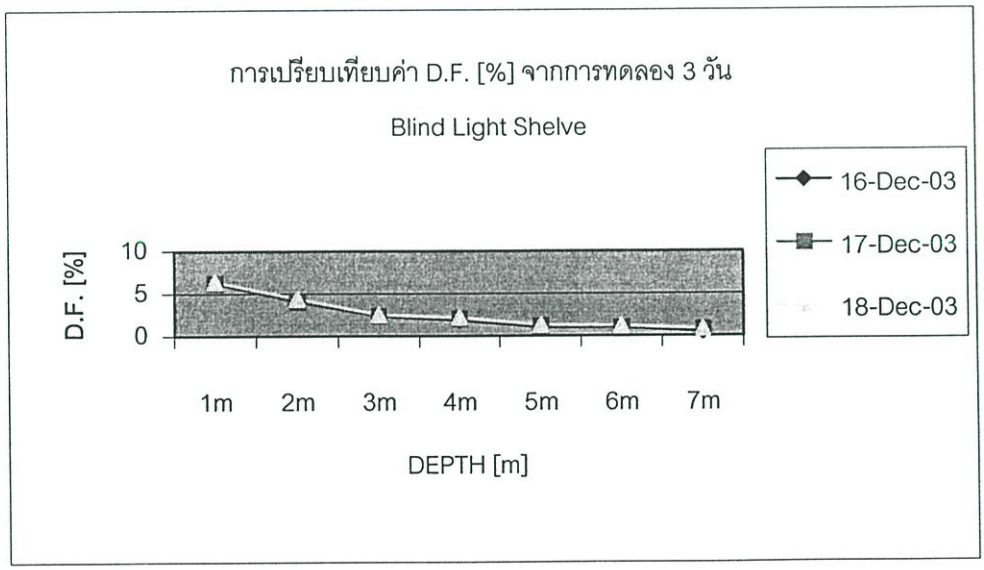
หุ่นจำลองแบบ Blind Light Shelve



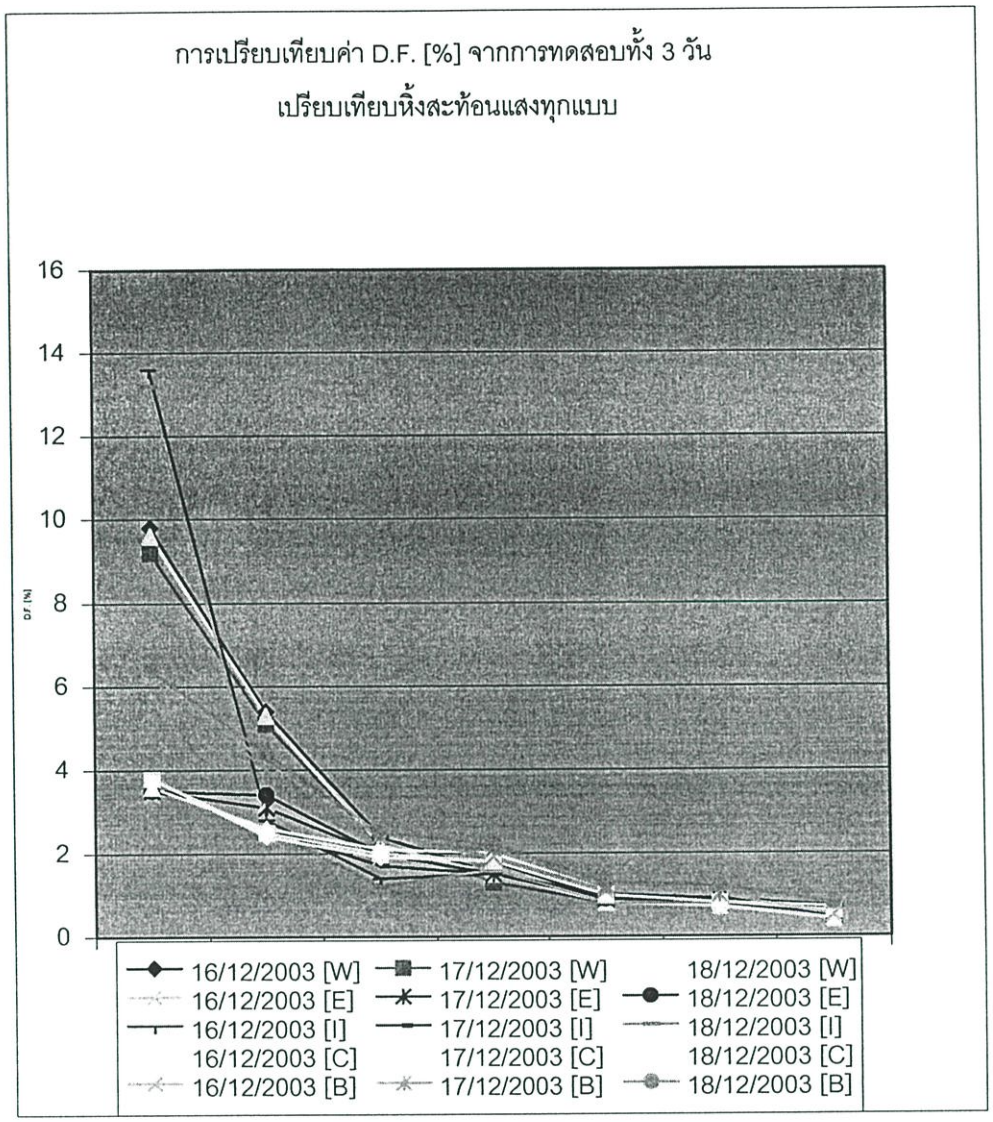
รูปที่ 5.7 แสดงหุ่นจำลองแบบ Blind Light Shelve

ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. หุ่นจำลองแบบ Blind Light Shelve

Blind Light Shelve	DF (%)						
Distance from void	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m
16-Dec-03	6.3	4.2	2.4	1.9	1.1	1	0.5
17-Dec-03	6.2	4	2.4	2.1	1.2	1	0.8
18-Dec-03	6.4	4.4	2.5	2.2	1.3	1.2	0.8



สรุปการเปรียบเทียบหิ้งสะท้อนแสงทุกแบบจากการทดสอบ



[w] = Without Light shelve

[E] = Exterior Light shelve

[I] = Interior Light shelve

[C] = Combined Light shelve

[B] = Blind Light shelve

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 4 แบบ

นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนแสงของหิ้งสะท้อนแสงแต่ละแบบ โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

1. พิจารณาความลึกที่หิ้งสะท้อนแต่ละแบบสามารถนำแสงสว่างเข้าตามเกณฑ์ที่ต้องการ คือ Daylight Factor = 2 % เนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่ทำให้แสงสว่างอยู่ในเกณฑ์ 500 ลักซ์ ที่ระดับ 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานครทั่วทั้งห้อง

โดยทำการให้คะแนน 1 คะแนน ในทุกช่วงความลึก 1 เมตร ของหิ้งสะท้อนแสงทุกแบบที่มีค่า DF = 2 % ดังนี้

ตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. ของหิ้งสะท้อนแสงทุกประเภท

ค่า DF (%) ตามความลึก	**รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง**			
	Exterior	Interior	Combined	Blind
0.5 m	3.4	13.6	3.8	6.3
1.5 m	3.2	2.8	2.4	4.2
2.5 m	1.9	1.4	1.9	2.4
3.5 m	1.6	1.5	1.8	1.9
4.5 m	1.0	1.0	1.0	1.1
5.5 m	0.8	0.9	0.8	1.0
6.5 m	0.6	0.6	0.7	0.5
รวมคะแนน	3	2	4	4

หมายเหตุ : ค่า DF ที่มีค่า 1.8, 1.9 % ถือว่ามีค่าเท่ากับ 2.0 %

จากการให้คะแนนพบว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ Combined Light Shelve และแบบ Blind Light Shelve มีคะแนนสูงที่สุดคือ 4 คะแนน โดยมีค่า DF อยู่ในเกณฑ์ 2 % ตั้งแต่ความลึก 1 เมตร ถึงความลึก 4 เมตร เท่ากันดังนั้นจึงนำทั้งสองแบบมาพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติอื่นๆ ในขั้นต่อไป

2. พิจารณาค่าความสว่างเฉลี่ยที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยนำหิ้งสะท้อนแสงแบบ Combined Light Shelve และแบบ Blind Light Shelve มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน เพื่อหารูปแบบที่มีค่าความสว่างเฉลี่ยสูงสุดดังนี้

ตารางที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. หิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve กับแบบ Combined Light Shelve

ความลึก	ค่า DF (%)	
	Combined	Blind
0.5 m	3.8	6.3
1.5 m	2.4	4.2
2.5 m	1.9	2.4
3.5 m	1.8	1.9
ค่า DF (%) เฉลี่ย	2.5	3.7

จากการเปรียบเทียบพบว่าแบบ Blind Light Shelve มีค่า DF เฉลี่ยเท่ากับ 3.7 % สูงกว่าแบบ Combined Light Shelve ซึ่งมีค่า DF เฉลี่ยเท่ากับ 2.5 % อยู่ 1.2 % ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแบบ Blind Light Shelve มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Combined Light Shelve

3. ทำการเปรียบเทียบค่า DF ในแต่ละช่วงความลึกของหิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve และแบบ Combined Light Shelve โดยทำการเปรียบเทียบทุกช่วงความลึก 1 เมตร ว่าแบบใดสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่า โดยทำการเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. ตามความลึกของห้องเรียน

ความลึก	ค่า DF (%)	
	Combined	Blind
0.5 m	3.8	6.3
1.5 m	2.4	4.2
2.5 m	1.9	2.4
3.5 m	1.8	1.9
4.5 m	1.0	1.1
5.5 m	0.8	1.0
6.5 m	0.7	0.5
คะแนน	1	6

จากการเปรียบเทียบพบว่าแบบ Blind Light Shelve มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Combined Light Shelve โดยค่า DF สูงกว่าในช่วงความลึกตั้งแต่ 1 เมตรจนถึงความลึก 6 เมตร

จากการเปรียบเทียบทั้งสามขั้นตอนจึงสามารถสรุปได้ว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Combined Light Shelve ในทุกด้าน ดังนั้น ในการทดลองขั้นต่อไปจึงทำการเลือกหิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve มาศึกษา เพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ต่อไป

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี

ชุดการทดลองที่ 1 เพื่อหาประเภทของหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนได้ดีที่สุด โดยมีค่า D.F. แถวในสุดเท่ากับ 0.5 % และแถวในสุดมีค่าความสว่างคิดเป็น 11 % ของค่าความสว่างแถวริมหน้าต่าง ซึ่งมากกว่าที่ควรเป็นคือต้องไม่น้อยกว่า 70 % จากนั้นทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 100,000 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

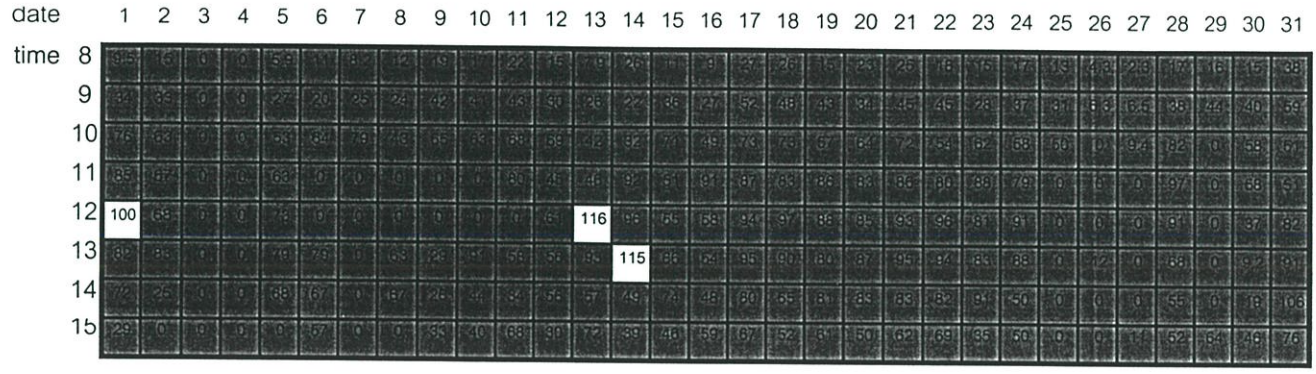
ตารางที่ 5.19 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 1

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	3	193	1.53
กุมภาพันธ์	215	22	193	10.23
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	12	100	10.71
มิถุนายน	224	40	184	17.86
กรกฎาคม	218	40	178	18.35
สิงหาคม	245	34	211	13.88
กันยายน	240	48	192	20.00
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	2	123	1.60
ธันวาคม	248	2	244	0.81
รวม	**1823**	**203**	**1816**	**11.14**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve สามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้เพียง 11.16 % เท่านั้น คือในการใช้สอยต้องเปิดแสงประดิษฐ์ช่วยตลอดทั้งวัน จึงต้องพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่อไป

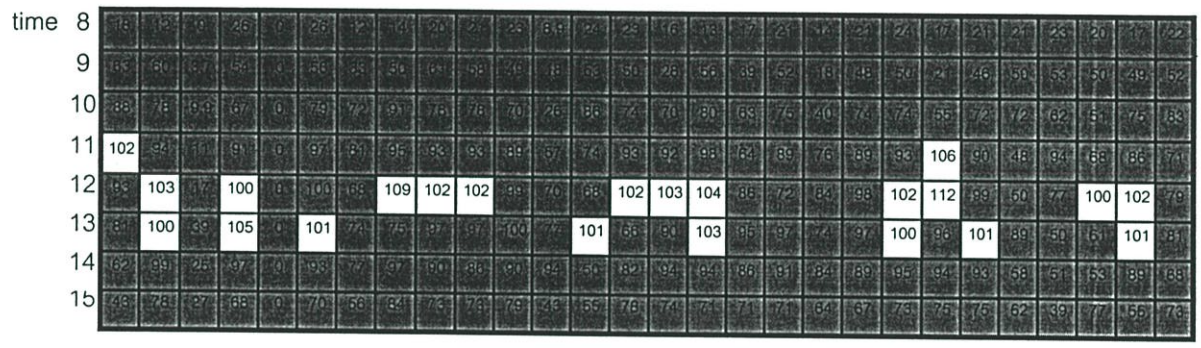
ตารางที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 1

JAN



time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	95	76	0	0	59	0	0	12	19	0	22	15	19	26	0	0	27	26	0	23	25	16	15	17	13	18	23	17	16	15	38
9	34	36	0	0	27	20	25	24	42	0	43	30	26	22	36	27	52	48	43	34	45	45	28	37	31	63	65	36	44	40	59
10	76	63	0	0	53	64	79	73	66	36	68	59	42	62	71	49	73	75	67	64	72	54	62	58	50	61	94	82	0	58	67
11	85	87	0	0	66	0	70	0	0	0	80	45	46	82	51	81	87	83	86	83	86	80	88	79	0	0	0	97	0	88	81
12	100	69	0	0	78	0	0	0	0	0	0	65	116	96	56	58	94	97	86	85	93	98	81	91	0	0	0	91	0	87	82
13	80	86	0	0	74	79	0	63	28	55	56	50	0	115	86	74	95	90	80	87	95	94	83	88	0	0	0	88	0	92	91
14	72	25	0	0	38	67	0	67	24	48	54	55	57	49	74	48	80	55	81	83	83	82	94	50	0	0	0	55	0	19	106
15	29	0	0	0	0	67	0	0	33	40	68	90	72	88	46	59	67	52	51	50	62	69	85	50	0	0	0	14	52	54	46	76

FEB



time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
8	78	92	79	26	0	26	42	40	20	27	23	84	28	23	46	38	17	21	41	21	24	107	21	21	23	20	17	22
9	83	80	87	58	0	88	83	56	64	68	49	78	62	50	28	56	39	52	78	48	50	24	46	50	53	50	49	52
10	88	78	94	67	0	79	72	91	76	78	70	26	86	74	70	80	63	75	40	74	74	55	72	72	62	51	75	88
11	102	94	110	91	0	97	81	95	93	93	89	87	74	93	92	98	84	89	76	89	93	106	90	48	94	68	86	74
12	93	103	97	100	0	100	68	109	102	102	99	70	68	102	103	104	86	72	84	98	102	112	99	50	77	100	102	79
13	81	100	39	105	0	101	74	75	97	97	100	77	101	66	80	103	95	97	74	91	100	96	101	89	50	61	101	81
14	62	99	25	97	0	93	97	97	90	86	90	94	50	82	94	94	86	91	84	89	95	94	93	68	51	53	89	88
15	48	78	27	68	0	70	56	84	73	76	79	43	55	76	74	71	71	71	84	67	79	75	75	62	39	77	55	73

MAR

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20	25	17	25	6.9	27	32	0	0	0	44	47	45	35	36	35	35	41	43	26	34	19	48	16	48	47	53	27	3.9	32	27
9	48	50	36	54	27	58	65	74	77	68	70	73	70	67	54	65	68	72	53	52	63	33	78	64	65	79	77	64	13	72	80
10	72	73	46	75	35	62	90	96	100	92	87	94	100	94	68	89	98	86	48	76	89	88	101	97	58	98	72	106	8.8	95	100
11	93	92	39	70	64	85	106	113	113	103	99	101	100	89	53	105	111	82	105	90	76	108	106	117	14	31	26	87	10	120	115
12	88	104	81	99	79	73	114	115	121	109	108	118	112	115	99	114	123	120	109	94	102	122	58	16	6.6	71	44	26	18	123	123
13	97	105	75	97	95	69	114	115	120	101	105	126	77	117	102	114	118	119	100	87	102	118	48	48	12	17	126	58	32	111	122
14	96	87	49	54	37	77	104	104	109	83	101	95	107	105	104	106	109	115	88	82	80	96	35	102	24	6	23	36	46	74	112
15	75	60	72	89	64	74	76	88	85	64	73	87	91	88	83	89	92	86	82	66	46	81	49	101	53	3.1	57	84	51	11	92

APR

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	48	50	39	34	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57	59	38	29	43	44	62	63	61	3.8	37	12	36
9	81	81	79	61	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	83	93	66	69	75	89	97	90	89	4.5	46	39	58
10	102	105	92	90	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	24	105	112	80	109	108	9	127	47	50
11	34	115	51	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43	124	64	56
12	21	119	47	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	65	81	96	24
13	114	44	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	95	133	107	129	127	125	125	65	60	64	48
14	108	110	106	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84	82	117	84	126	100	119	110	70	48	64	79
15	58	42	87	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	77	100	98	90	101	83	109	103	98	99	52	0	101	50

สามารถใช้งานได้ ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.20 (ต่อ)

MAY

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.8	29.6	19.5	46.8	19.4	51.8	31	37.9	34.6	23	28.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	24.6	36.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	65.7	73.8	37.1	30.9	83.7	67.9	66.5	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	46.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	90.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	97.6	104	115	117	76.6	113	63.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	71.6	67.9	119	48.6	39.8	86	98.6	20	56.7	26.1	87.6	124	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	74.2	103	105	89.6	88.6	67.2	25.1	62.6	77.2	16.7	86.6	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	99.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	72.4	56.2	72	69.9	0	0

JUN

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	58.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	54.2	28.3	34.7	22.6	23	26.3	34.8	30.9	55.4	56.3	26.1	27.9	9.9	51.8	0	0	32.2	28.1	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.3
9	79.1	75.6	77.7	60.1	46	88.4	64	35.6	51.5	42.1	36.9	48	66.6	43.8	50.1	77.7	31.5	44.1	45.1	49.8	0	0	76.3	57	36.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	85	75.9	108	80	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72.1	80	63.8	0	0	86.2	53.8	109	90.8	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	88.8	93.2	83.1	44.7	78.1	86.2	61.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94.1	98.9	107	103	103
12	87.7	85.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.6	125	88.4	65.8	97.6	26	42.9	46.2	23.9	8.8	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.5	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	81.8	108	107
14	79.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.6	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.8	33.3	74.8	58.6	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	65.6	55.2	53.8	74.3	53.1	12.6	20.6	47.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	44.3	46.8	37.8	0	0	85.8	44.3	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	48.9	44.0	42.1	30.6	42.3	24.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	31.2	23.3	40.6	0	0
9	73.2	60	71.8	45	83.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	30.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	93.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	58.8	38.6	88.6	87	56	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	84.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.4	95.6	84.6	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	85.7	0	0
13	112	109	101	76.9	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	35.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.4	84.3	51.5	72.5	100	65.1	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	65.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.8	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47.1	29.4	0	0

AUG

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	13.7	19.8	16.7	23.6	16.8	19.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	35	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	39.8	46.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73.1	33.6	80.4	70.7	65.4	48.3	75	86.2	73	20.9	48.4	12.6	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.7	106	62.6	62.6	92.4	56.3	102	86.5	93.8	95.7	85.9	93.6	86.8	96.4	95.2	93.8	89.6	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.7	103	85.1	67.9	77.9	94	83.1	92.9
11	96.7	51.8	58.1	74.8	86.2	67.9	86.7	83	108	109	114	87	107	114	86	107	81.2	106	92.5	84.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	98.3	97.2	106	77.8
12	104	58.9	88.7	43.8	71.8	76	50.4	97.4	103	75.2	81.7	62.7	114	83.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	48.3	91.7	115	95.7	84.3	99.8	76.4	100
13	83.3	58.2	76.5	59.3	65.2	77.2	66.1	115	0	86.7	99.3	28.7	79.6	35.4	122	94.1	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	61.1	54.5	64.2	84.1	0	84.2	72.9	40.2	59.7	69.2	102	114	89.6	89.8	53.6	107	81.2	40.6	49.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.8	60.1	82.7	72.6
15	79.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	84.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.6	30	68.5	77.7	21.4	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.20 (ต่อ)

SEP

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8																														
9													103																	
10									108																					
11		123	105	105	104	105			101					108	118	112			111				116			107				
12	113			103	110	106			107	120			127		122			112	108		125		119				124			
13	109		116		104			114	112				118	109				113			107		110		120		121		107
14		101	117		110				102				105	106	102													108	
15																														

OCT

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	8.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

NOV

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8																														
9																														
10																														
11																														
12							119		104																					
13																														
14																														
15																														

DEC

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8																															
9																															
10																															
11																															
12					120																										
13					105																										
14																															
15																															

5.6 การวิเคราะห์พื้นผิวที่เหมาะสม

การพิจารณาเพื่อเลือกชนิดของพื้นผิวและสีของหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาและพิจารณาจากค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวและสีต่างๆ เพื่อเลือกวัสดุที่มีความเหมาะสมมาทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงของแต่ละพื้นผิว ดังนี้

ตารางที่ 5.21 แสดงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวแต่ละประเภท

Material	Reflectance [%]	Material	Reflectance [%]
Aluminium, unpainted	85	Color	
Chromium	65	Chamois Gold	62.2
Plaster,white-smooth	80	Inca Gold	59.4
Plaster,white-rough	40	Sable	9.5
Plaster,white-stippled	40	Sandstone	61
Color		Sand	57.1
San Vicente Orange	45.4	Camel	39.5
Burnt Orange	33.5	Suntan	45.8
Colonial Orange	30.5	Oak Brown	36.1
Persimmon	26.4	Tampico Brown	21
Oriental Red	26.2	Pyro Brown	22
Chinese Red	15.4	Chocolate	18.1
Russet	15.7	Antique Buff	85.5
Wine	12.6	Cinnamon	34.2
Madeira Red	19.4	Redstone	28.2
Las Cruces Purple	16.1	Redwood	17.5
Madagascar Pink	73.7	Rust	24.6
Cameo Rose	56	Pompeian Red	26.1
Riviera Rose	24.1	Sepia	14
Bimini Blue	43.3	French Gray	75
Azure	29.2	Stone Gray	48.5
Biscay Blue	36	Pewter	44
Daimond Blue	86.5	Olive Gray	35.6
French Blue	54.2	Malay Gray	20
Bar Harbor Gray	38.5	Mist	76.3
Baltic Blue	15.4	Covert Gray	36.6

ตารางที่ 5.21 แสดงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวแต่ละประเภท

Material	Reflectance [%]	Material	Reflectance [%]
Color			
Volcano Blue	15.5	Copley Gray	28.1
Delft Blue	7.8	Dark Gray	14.3
Newport Blue	9.1	Extra Light Gray	49
Kelly Green	29.6	Mist Gray	43.5
Dusk	24.9	Light Gray	27
Dark Green	23.1	Raven Gray	6.7
Ivy Green	20.1	Smooth Gray	7.5
Williamsburg Green	12.7	Sauterne	59.4
Congo Green	40.2	Moss Point Green	35
Lime	59.7	Limestone	70
Avocado	21.6	Arctic White	91.4
Las Palmas Green	33.3	Thin Silver	93
Celery	44	Gold	88.8
Cypress	38.4	French Gray	76.6
Yellow	84.2	Daffodil [Yellow]	83
Naples Yellow	84.6	Gibraltar Gray	28.5

ที่มา : H.E. Beckett (1974 : 245)

จากตารางแสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุและสีแต่ละชนิดที่ทำการทดสอบ แสดงให้เห็นว่ามีวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ **สี** Arctic White 91.4%, **สี** Thin Silver 93%, **สี** Gold 88.8% ดังนั้นจึงเลือกวัสดุทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวข้างต้นมาทำการทดสอบหาค่าการสะท้อนแสงเพื่อพิจารณาเลือกใช้ในการทดลองต่อไป

จากการทดสอบหาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ 3 ชนิด คือ **สีขาวเคลือบเงา, สีเงินสะท้อนแสง และสีทองสะท้อนแสง พบว่ามีค่าการสะท้อนแสง** 91%, 85% **และ** 80% **ตามลำดับ** ซึ่งแตกต่างจากตารางอ้างอิง ดังนั้นจึงเลือกนำ **สีขาวเคลือบเงา** มาทดสอบและพัฒนาต่อไป เนื่องจากมีความเหมาะสมคือ มีค่าการสะท้อนแสงสูง ราคาถูกและง่ายต่อการนำไปปรับปรุงแก้ไขประยุกต์ใช้กับอาคารเรียนเดิมตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

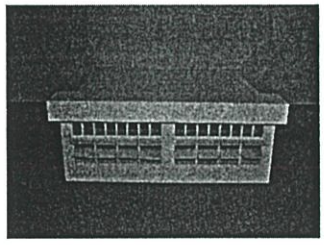
5.7 การวิเคราะห์รูปแบบของหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

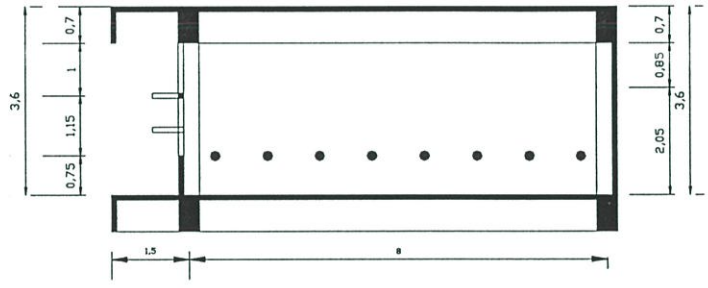
จากการศึกษาชนิดของหิ้งสะท้อนแสง,พื้นผิวและสีที่เหมาะสมในข้างต้น พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงที่ทำการออกแบบควรเป็นแบบม่านที่มีลักษณะเหมือน Blind Light Shelve คือมีบานเปิด 2 บาน ขนาดเท่ากันและมีพื้นผิวสีขาวเคลือบเงา เนื่องจากการกำหนดลักษณะการเปิดของบานหน้าต่างสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ การทดลองนี้จึงทำการทดสอบรูปแบบการเปิดทั้งหมดที่เหมาะสมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายใน

1. ชุดการทดสอบ

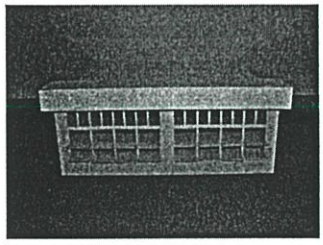
ทำการทดสอบหน้าต่างสะท้อนแสงแบบ Blind ทั้งสามรูปแบบ โดยกำหนดให้หน้าต่างสะท้อนแสงใช้พื้นผิวสีขาวเคลือบเงา ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถสะท้อนแสงได้ดีที่สุด เพื่อทำการทดสอบหารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุดจากสามรูปแบบดังนี้

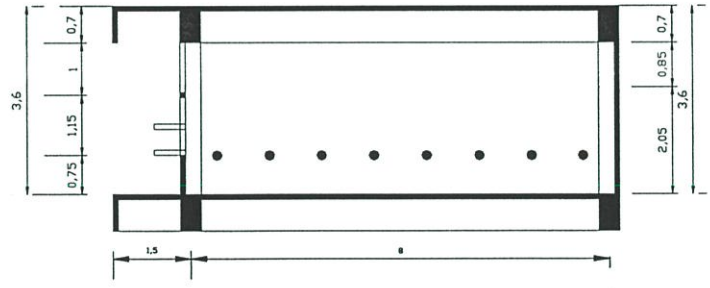
<u>แบบเปิดขึ้นทั้ง 2 บาน</u>



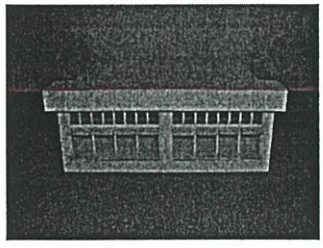


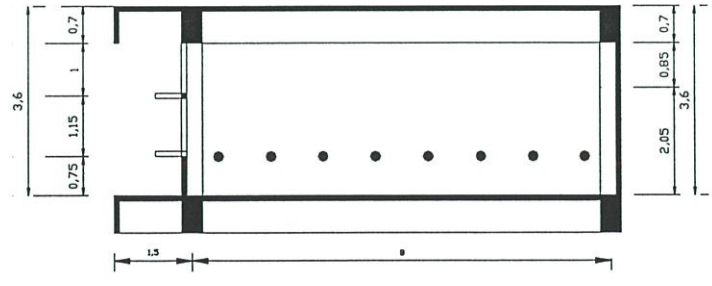
<u>แบบเปิดลงทั้ง 2 บาน</u>





<u>แบบเปิดขึ้นและเปิดลง</u>





2. ตัวแปรควบคุม

รูปแบบอาคาร : กำหนดตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 8.0 x 8.0 x 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่มีความลึกมากที่สุดเพื่อสามารถนำผลที่ได้ไปปรับใช้ได้กับทุกแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ

ค่าการสะท้อนแสงภายใน : กำหนดให้ ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 80%
ผนัง มีค่าการสะท้อนแสง 50%
พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 30%

ขนาดหน้าต่างสะท้อนแสง : กว้างบานละ 0.55 เมตร

พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง : กำหนดใช้กระดาษสีขาวเคลือบเงา

3. การกำหนดจุดมุ่งหมายในการทดลอง

การทดลองนี้ต้องการทดสอบเพื่อหาชนิดของหน้าต่างที่สามารถใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยกำหนดให้ทั่วทั้งห้องต้องมีค่าความสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ ที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (Working Plane) ในแนวราบภายใต้สภาพท้องฟ้าปกติ

4. สมมติฐานการทดลอง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบเปิดขึ้นและเปิดลง น่าจะเป็นหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่นๆ ทั้ง 3 แบบ เนื่องจากบานเปิดทั้ง 2 บานไม่บังแสงตกกระทบซึ่งกันและกัน อีกทั้งบานหน้าต่างติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถกระจายแสงได้ดีและลึกกว่าแบบอื่น

5. หุ่นจำลอง

หุ่นจำลอง : ทำการสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน ขนาดกว้าง 8.0 เมตร ลึก 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูงจากพื้น 2.9 เมตร ขนาดหน้าต่างและระดับความสูงในการติดตั้งยึดตามแบบกระทรวงศึกษาธิการ โดยกำหนดให้ขยายขนาดช่องแสงให้สูงขึ้นอีก 0.40 เมตรเพื่อประสิทธิภาพในการรับแสงมากยิ่งขึ้น โดยใช้มาตราส่วน 1 : 10 เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีพื้นผิวชนิดต่างๆ

6. การทดสอบและการเก็บข้อมูล

- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวข้างต้น โดยทดสอบวัดค่าความสว่างภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบตามระบบตาราง ขนาดตาราง 1 x 1 เมตร ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane)
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางตารางภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง

7. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

- นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ ประเมินผล ข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีเพื่อนำเสนอรูปแบบที่ดีที่สุดในการนำไปศึกษาต่อไป

ตารางที่ 5.22 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

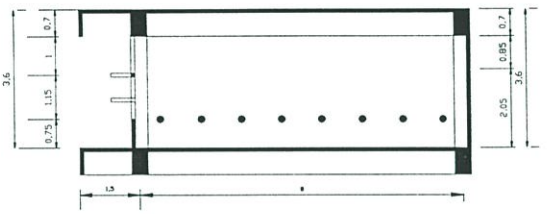
	D.F. [%]							
	24 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	6.32	4.82	3.6	3.02	2.16	1.72	1.65	1.45
2	6.36	4.98	3.63	3.07	2.18	1.81	1.69	1.51
3	6.38	4.95	3.68	3.1	2.21	1.86	1.72	1.54
4	6.33	4.82	3.7	3.04	2.24	1.87	1.7	1.55
5	6.3	4.85	3.63	3.02	2.16	1.83	1.64	1.49
6	6.34	4.91	3.66	3.07	2,19	1.81	1.69	1.52
7	6.36	4.83	3.68	3.08	2.23	1.85	1.75	1.53
8	6.36	4.84	3.64	3.06	2.16	1.81	1.65	1.5
เฉลี่ย	6.34	4.87	3.65	3.06	2.19	1.82	1.69	1.51

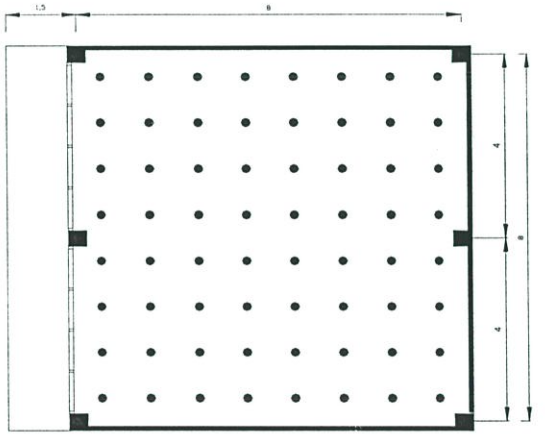
	D.F. [%]							
	25 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	5.65	4.27	3.16	2.51	1.94	1.58	1.53	1.33
2	5.68	4.29	3.21	2.53	2	1.64	1.58	1.36
3	5.7	4.34	3.23	2.55	1.98	1.62	1.6	1.39
4	5.74	4.31	3.19	2.57	1.99	1.59	1.54	1.37
5	5.73	4.36	3.17	2.51	2.02	1.64	1.53	1.34
6	5.75	4.38	3.2	2.46	1.93	1.66	1.57	1.35
7	5.71	4.33	3.21	2.52	1.96	1.72	1.56	1.31
8	5.69	4.28	3.19	2.53	1.99	1.58	1.54	1.32
เฉลี่ย	5.71	4.31	3.19	2.53	1.98	1.62	1.56	1.35

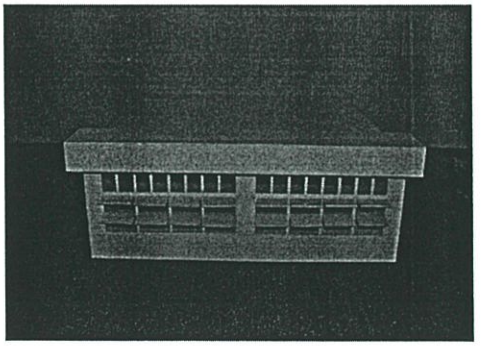
	D.F. [%]							
	26 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	5.81	4.28	3.11	2.53	1.89	1.59	1.51	1.36
2	5.83	4.33	3.23	2.56	2	1.62	1.54	1.43
3	5.97	4.38	3.3	2.62	2.04	1.68	1.65	1.51
4	6.09	4.6	3.37	2.78	2.13	1.8	1.69	1.55
5	6.19	4.56	3.41	2.75	2.16	1.83	1.72	1.48
6	6.11	4.44	3.31	2.71	2.1	1.65	1.58	1.45
7	6.05	4.36	3.2	2.74	2.01	1.64	1.55	1.4
8	5.97	4.29	3.22	2.68	2.03	1.57	1.6	1.43
เฉลี่ย	6	4.41	3.27	2.68	2.05	1.67	1.61	1.45

รูปแบบ : หิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิดขึ้นทั้ง 2 บาน





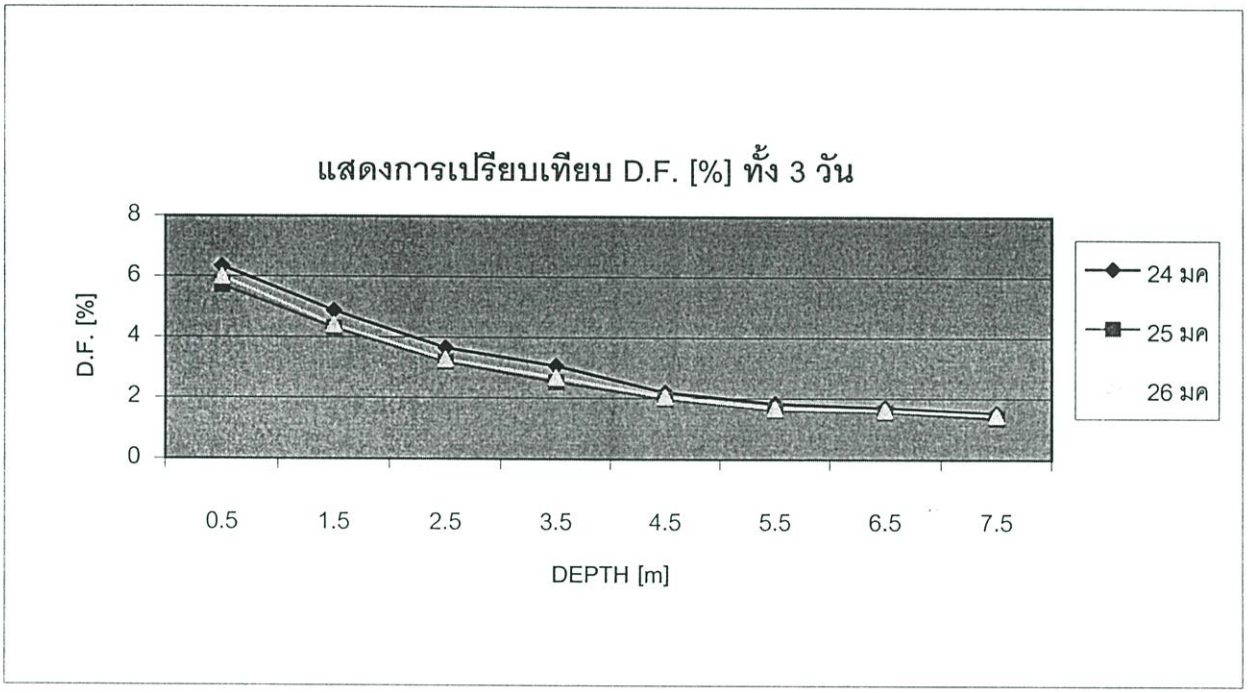


ตารางที่ 5.23 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า D.F. [%]

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
24 มค	6.34	4.87	3.65	3.06	2.19	1.82	1.69	1.51
25 มค	5.71	4.31	3.19	2.53	1.98	1.62	1.56	1.35
26 มค	6	4.41	3.27	2.68	2.05	1.67	1.61	1.45

รูปแบบ : หิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิดขึ้นทั้ง 2 บาน



ตารางที่ 5.24 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

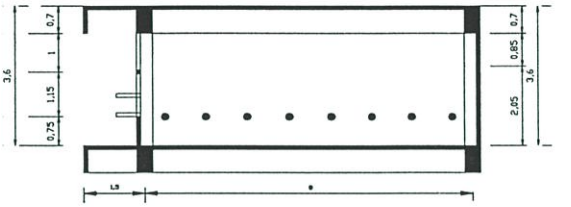
	D.F. [%]							
	24 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	8.96	6.34	4.7	3.61	3.02	1.92	1.88	1.6
2	9.01	6.38	4.72	3.63	3.06	1.95	1.91	1.67
3	9.03	6.44	4.74	3.66	3.04	1.98	1.9	1.65
4	8.98	6.37	4.77	3.68	3.03	1.9	1.93	1.62
5	8.94	6.33	4.73	3.63	2.97	1.92	1.91	1.71
6	9.01	6.42	4.74	3.66	3.02	1.94	1.89	1.68
7	9.05	6.37	4.68	3.64	3.04	1.93	1.92	1.6
8	8.99	6.36	4.7	3.65	3.04	1.91	1.9	1.62
เฉลี่ย	8.99	6.38	4.73	3.64	3.03	1.94	1.91	1.65

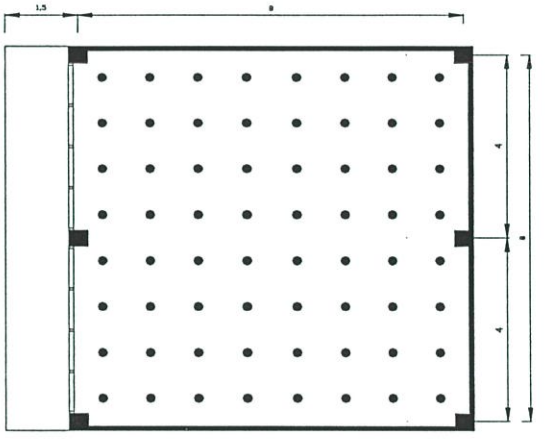
	D.F. [%]							
	25 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	8.18	5.53	3.92	2.89	2.46	1.92	1.88	1.6
2	8.2	5.54	3.98	2.92	2.48	1.95	1.91	1.67
3	8.24	5.58	4	2.97	2.52	1.98	1.9	1.65
4	8.22	5.59	3.93	2.91	2.5	1.9	1.93	1.62
5	8.21	5.57	3.96	2.86	2.53	1.92	1.91	1.71
6	8.17	5.61	3.92	2.93	2.49	1.94	1.89	1.68
7	8.16	5.55	3.92	2.9	2.5	1.93	1.92	1.6
8	8.21	5.54	3.94	2.9	2.49	1.91	1.9	1.62
เฉลี่ย	8.2	5.56	3.94	2.91	2.5	1.94	1.91	1.65

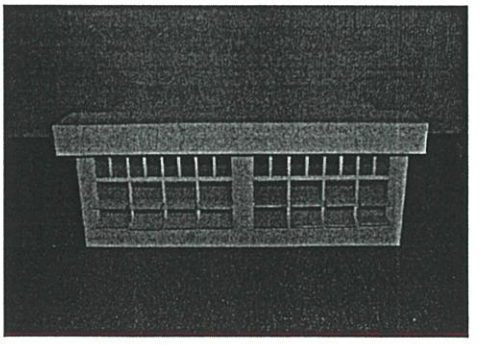
	D.F. [%]							
	26 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	8.36	5.7	4.08	3.04	2.49	1.87	1.86	1.53
2	8.42	5.74	4.11	3.1	2.46	1.88	1.92	1.57
3	8.46	5.82	4.14	3.13	2.52	1.88	1.95	1.62
4	8.83	6.14	4.51	3.45	2.83	2.22	2.06	1.93
5	8.91	6.18	4.55	3.5	2.96	2.35	2.09	1.97
6	9.02	6.29	4.58	3.61	3	2.18	2.13	1.69
7	8.43	5.83	4.21	3.13	2.57	2.12	1.8	1.65
8	8.37	5.79	4.07	2.99	2.68	2.02	1.83	1.89
เฉลี่ย	8.6	5.94	4.29	3.24	2.71	2.07	1.95	1.73

รูปแบบ : หิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิดลงทั้ง 2 บาน





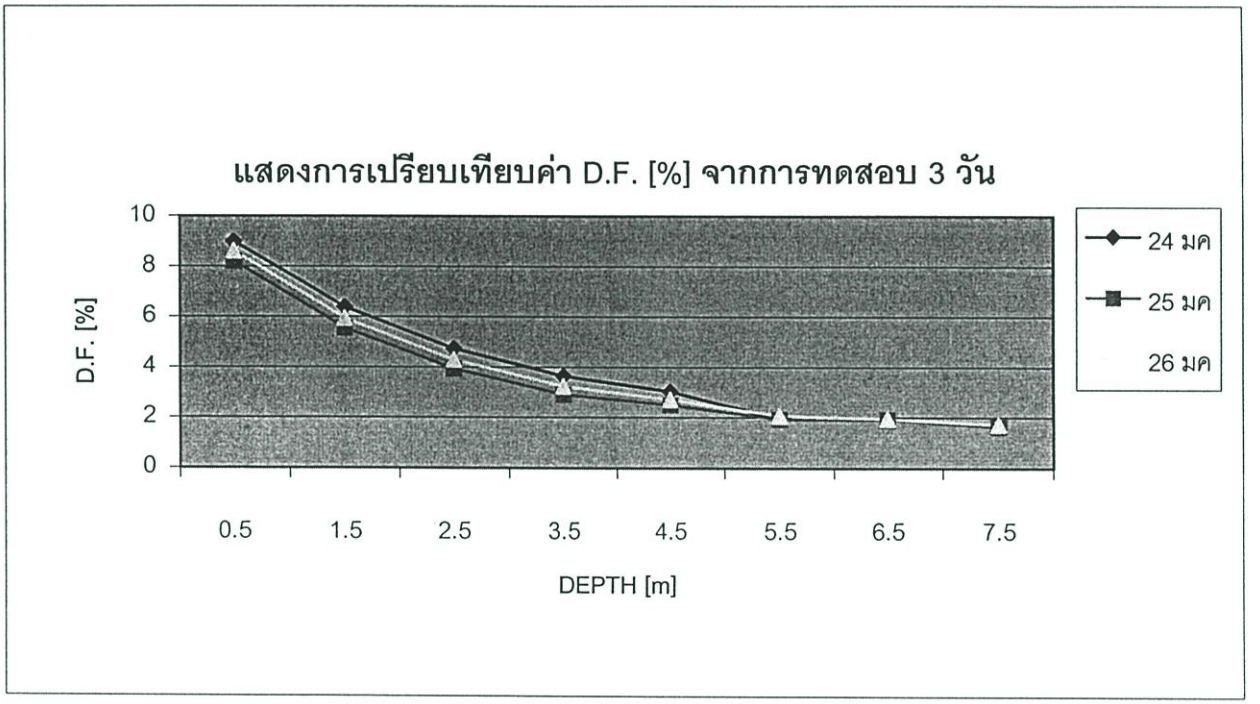


ตารางที่ 5.25 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
24 มค	8.99	6.38	4.73	3.64	3.03	1.94	1.91	1.65
25 มค	8.2	5.56	3.94	2.91	2.5	1.94	1.91	1.65
26 มค	8.6	5.94	4.29	3.24	2.71	2.07	1.95	1.73

รูปแบบ : หิงสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิดลงทั้ง 2 บาน

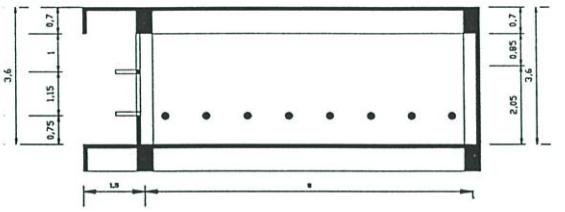


ตารางที่ 5.26 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

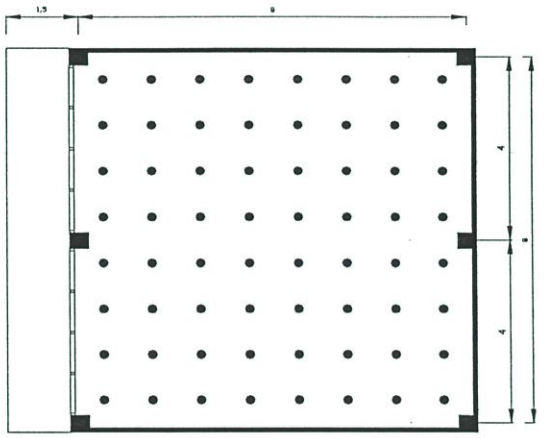
	D.F. [%]							
	24 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	9.2	7	5.05	3.22	3.1	2.87	2.58	1.92
2	9.26	7.06	5.12	3.29	3.17	2.91	2.71	1.99
3	9.32	7.13	5.17	3.31	3.19	2.92	2.68	2.01
4	9.61	7.24	5.46	3.62	3.48	3.17	2.91	2.22
5	9.63	7.19	5.48	3.65	3.51	3.19	2.87	2.18
6	9.73	7.5	5.6	3.79	3.75	3.49	3.1	2.38
7	9.28	7.2	5.05	3.36	3.26	3.03	2.79	2.05
8	9.17	7.12	5.12	3.3	3.19	3	2.77	2.08
เฉลี่ย	9.4	7.18	5.25	3.42	3.33	3.07	2.8	2.1

รูปแบบ : หิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

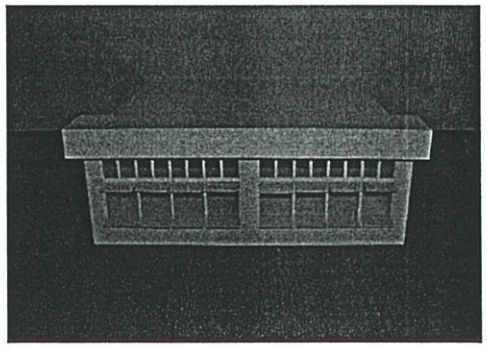
บานเปิดขึ้น + เปิดลง



	D.F. [%]							
	25 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	8.74	6.62	4.22	3.06	2.6	2.55	2.27	1.72
2	8.76	6.65	4.24	3.1	2.63	2.59	2.31	1.74
3	8.84	6.66	4.28	3.11	2.69	2.57	2.32	1.8
4	8.8	6.63	4.29	3.1	2.75	2.58	2.31	1.79
5	8.76	6.59	4.28	3.08	2.71	2.6	2.28	1.85
6	8.78	6.62	4.26	3.12	2.72	2.61	2.29	1.78
7	8.85	6.64	4.27	3.08	2.68	2.53	2.31	1.72
8	8.78	6.64	4.29	2.7	2.7	2.56	2.29	1.72
เฉลี่ย	8.79	6.64	4.27	3.09	2.68	2.58	2.3	1.77



	D.F. [%]							
	26 JAN 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	8.96	6.69	4.82	2.96	2.82	2.62	2.45	1.83
2	9	6.67	4.86	2.97	2.85	2.66	2.49	1.88
3	9.04	6.73	4.89	3.03	2.86	2.73	2.47	1.86
4	9.01	6.71	4.92	3.01	2.9	2.71	2.5	1.89
5	9.06	6.69	4.87	3.04	2.88	2.75	2.54	1.84
6	8.98	6.73	4.82	2.98	2.84	2.74	2.45	1.86
7	9.01	6.67	4.84	2.99	2.86	2.71	2.48	1.87
8	9.01	6.69	4.83	2.97	2.84	2.73	2.46	1.87
เฉลี่ย	9.01	6.71	4.86	2.99	2.86	2.71	2.48	1.87

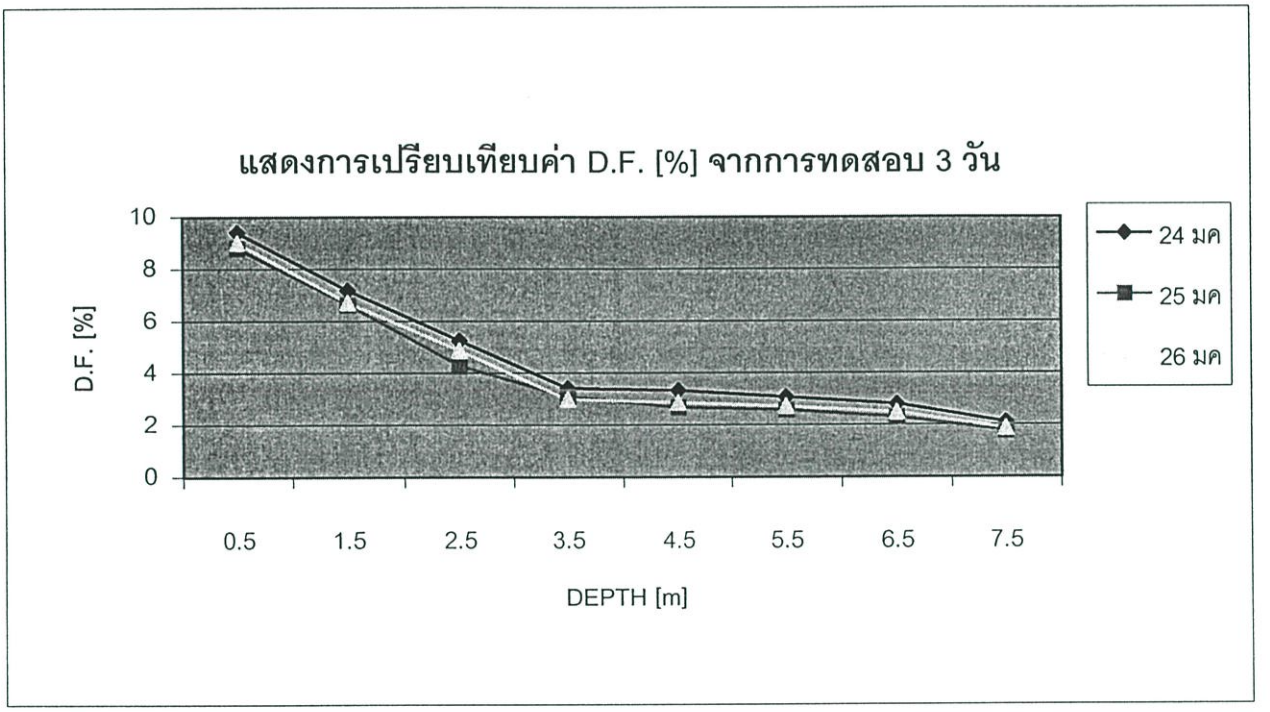


ตารางที่ 5.27 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
24 มค	9.4	7.18	5.25	3.42	3.33	3.07	2.8	2.1
25 มค	8.79	6.64	4.27	3.09	2.68	2.58	2.3	1.77
26 มค	9.01	6.71	4.86	2.99	2.86	2.71	2.48	1.87

รูปแบบ : หิงสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิดขึ้น + เปิดลง



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงทั้ง 3 แบบที่ทำการทดสอบจะใช้ค่า Daylight Factor = 2.5 % เป็นเกณฑ์ โดยพิจารณาว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแต่ละแบบสามารถสะท้อนแสงเข้าได้ลึกตามเกณฑ์กี่เมตร

ตารางที่ 5.28 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. เฉลี่ยจากการทดลองชุดที่ 3

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบบานเปิดขึ้นทั้ง 2 บาน

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
24 มค	6.34	4.87	3.65	3.06	2.19	1.82	1.69	1.51
25 มค	5.71	4.31	3.19	2.53	1.98	1.62	1.56	1.35
26 มค	6	4.41	3.27	2.68	2.05	1.67	1.61	1.45

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 23.86% ของแถวริมหน้าต่าง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบบานเปิดลงทั้ง 2 บาน

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
24 มค	8.99	6.38	4.73	3.64	3.03	1.94	1.91	1.65
25 มค	8.2	5.56	3.94	2.91	2.5	1.94	1.91	1.65
26 มค	8.6	5.94	4.29	3.24	2.71	2.07	1.95	1.73

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 19.50% ของแถวริมหน้าต่าง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบบานเปิดขึ้น-ลง

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
24 มค	9.4	7.18	5.25	3.42	3.33	3.07	2.8	2.1
25 มค	8.79	6.64	4.27	3.09	2.68	2.58	2.3	1.77
26 มค	9.01	6.71	4.86	2.99	2.86	2.71	2.48	1.87

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 21.10% ของแถวริมหน้าต่าง

จากการทดสอบพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบบานเปิดขึ้น-ลง สามารถสะท้อนแสงเข้าตามเกณฑ์ได้ลึกที่สุดคือ สะท้อนแสงได้ลึกตามเกณฑ์ 5.5 เมตร โดยมีค่า D.F. เฉลี่ยของแถวในสุดคิดเป็น 21.10 % ของแถวริมหน้าต่าง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี
ชุดการทดลองที่ 3 เพื่อหารูปแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงประเภท Blind Light Shelve แบบบานเปิดขึ้น-เปิดลง มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนได้ดีที่สุด โดยมีค่า D.F. ที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.72 % ซึ่งทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 29,070 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ตารางที่ 5.29 แสดงประสิทธิภาพการใช้สอยตลอดทั้งปี ชุดการทดลองที่ 3

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	149	47	70.02
กุมภาพันธ์	215	179	36	83.26
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	92	20	82.14
มิถุนายน	224	203	21	90.63
กรกฎาคม	218	209	9	95.87
สิงหาคม	245	215	30	87.76
กันยายน	240	216	24	90.00
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	105	20	84.00
ธันวาคม	248	220	28	88.71
รวม	**1823**	**1617**	**206**	**87.11**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงประเภท Blind Light Shelve แบบบานเปิดขึ้น-เปิดลงสามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 87.11 %

ตารางที่ 5.30 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 3

JAN

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8																															
9	33.5	32.8							42.4	41.1	42.6	29.8			35.7		51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4		37.2	31.2			38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5			52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4			81.7		58.2	50.6
11	85.1	56.9			62.5						79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2				97.1		58.2	50.6
12	100	68.2			72.7							60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6				90.8		37.2	82
13	81.7	83			79.4	78.9		63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4				67.7		9.2	90.8
14	71.5				68	67.4		66.7		44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8				54.6			106
15	28.5					56.8			32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5				51.7	64.3	46	75.9

FEB

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
8																												
9	63.4	59.9		54.2		55.6	32.7	50	60.6	58.3	48.5		52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8		48.1	50.2		46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1	9.9	67.1		79	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9		85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40	73.8	73.9	55	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	82.9
11	102	94.4		91.3		96.6	81	94.8	92.6	92.6	89	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	106	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	103		100		99.5	68	109	102	102	98.9	69.9	68	102	103	104	86.4	71.7	83.5	98.4	102	112	99.2	49.7	76.7	100	102	79
13	81.2	100		105		101	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101	65.9	90.4	103	94.9	97.3	74.1	97.3	100	96.1	101	89.4	49.7	61.1	101	81.1
14	62.4	98.5		96.7		93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82	94	94.1	86	90.9	84.1	89	94.9	93.6	92.6	58.3	51	53.3	88.6	68.4
15	43	77.5		68		70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39	76.6	55.1	72.5

MAR

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	46.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	75.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

APR

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	102	105	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	23.8	105	112	79.8	109	108	9	127	47.2	49.8
11	33.7	115	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43.1	124	64.2	55.9
12	21.3	119	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	94.5	133	107	129	127	125	125	64.6	60	63.8	47.5
14	108	110	106	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84.3	81.6	117	84.4	126	100	119	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100	97.8	90.2	101	83.4	109	103	97.7	98.7	51.8	0	101	49.8

สามารถใช้งานได้ ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.30 (ต่อ)

MAY

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.8	37.1	30.9	83.7	67.9	60.5	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.6	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	2.4	56.2	72	59.9	0	0

JUN

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	13.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.1	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	16.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.3	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.8	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	12.1	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

AUG

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.6	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.30 (ต่อ)

SEP

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	46	19	47	48	44	36	32	28	49	29	28	18	33	51	50	61	37	42	27	31	15	29	44	44	12	54	35	34	48	45
9	60	58	75	74	71	70	47	52	43	34	56	30	103	76	71	74	59	73	76	32	23	35	72	48	48	77	70	8.3	34	59
10	94	69	94	94	80	84	66	71	108	93	56	38	82	95	56	82	58	86	94	76	32	77	78	86	52	35	83	20	98	79
11	64	123	105	105	104	105	85	91	101	59	49	43	78	108	118	112	57	63	111	68	48	67	116	94	55	107	29	16	50	70
12	113	56	66	103	110	106	90	83	107	120	66	75	127	98	122	90	52	112	108	77	125	62	119	48	48	87	56	124	60	40
13	109	53	116	48	104	64	83	114	112	94	69	52	118	109	79	53	70	113	63	97	107	18	110	52	120	88	28	121	90	107
14	40	101	117	98	110	33	98	92	102	82	97	80	105	106	102	69	89	93	70	81	65	16	49	31	58	18	31	59	108	54
15	84	44	37	54	38	18	76	93	85	68	56	53	85	57	78	76	71	67	38	41	82	19	47	12	6.9	6	30	40	22	79

OCT

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	31	56	45	0	48	47	57	32	46	29	28	47	25	16	52	36	25	44	45	46	10	18	16	34	30	18	19	16	0	0	0
9	39	51	62	0	74	73	38	81	36	81	30	72	75	26	74	57	52	69	69	68	18	5.1	20	50	39	32	44	23	0	0	0
10	44	80	105	0	66	91	52	104	103	92	60	94	63	54	74	86	91	36	87	87	26	20	27	95	94	95	31	43	0	0	0
11	48	52	110	0	82	21	85	88	57	104	108	62	46	124	101	53	68	108	99	62	53	8.5	22	57	73	106	44	93	0	0	0
12	110	52	67	0	65	32	89	109	81	76	102	43	105	56	81	81	87	35	102	96	73	8.1	54	42	87	101	42	78	0	0	0
13	124	86	50	0	24	107	92	94	92	15	72	65	45	113	36	95	74	62	97	63	55	12	52	106	54	89	31	96	0	0	0
14	20	44	38	0	84	79	60	36	77	4	88	35	24	82	33	84	55	28	89	40	38	12	86	78	55	37	35	73	0	0	0
15	32	40	53	0	15	43	75	39	61	16	56	55	31	7.2	16	69	47	30	70	15	29	11	19	33	69	41	54	35	0	0	0

NOV

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	15	0	11	47	18	21	24	13	43	34	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	20	37	36	38	45	35
9	55	0	31	51	29	82	22	61	67	35	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56	59	59	73	58
10	48	0	65	43	29	48	92	34	84	47	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79	50	56	76	76	84	74
11	62	0	81	58	71	94	73	82	95	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63	52	53	88	88	64	83
12	49	0	60	92	64	68	119	35	104	97	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	99	60	95	95	89	70	94
13	67	0	80	56	34	66	37	35	94	93	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	28	24	93	81	88	90	89
14	54	0	51	86	96	33	34	59	88	77	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	18	37	86	77	78	87	79
15	0	0	27	41	38	17	65	62	10	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	58	39	58	58	60	43	62

DEC

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	36	37	15	11	33	18	37	32	31	36	11	14	18	19	30	29	28	31	24	24	28	12	30	30	29	27	28	27	5.9	26	27
9	59	59	57	19	23	19	35	60	57	55	22	34	22	26	51	54	53	54	51	54	50	46	50	52	50	49	49	50	51	48	50
10	77	77	84	21	73	33	60	79	74	68	35	48	80	36	70	72	69	74	70	74	67	72	70	71	70	69	68	70	65	68	66
11	89	88	100	56	45	60	65	90	87	72	44	74	74	99	83	83	76	62	88	78	81	83	82	83	82	80	80	80	78	81	80
12	92	91	95	59	120	68	60	93	91	79	70	64	90	40	90	86	86	54	83	87	87	87	87	88	87	86	83	88	86	88	83
13	90	89	65	75	105	32	70	88	76	86	53	58	80	91	86	86	86	64	85	84	85	83	85	86	80	81	84	72	83	81	81
14	78	78	53	36	72	48	84	73	79	75	64	56	78	39	76	76	72	75	75	73	75	72	75	76	73	71	74	77	74	70	72
15	61	60	23	29	11	47	56	58	56	58	59	47	34	57	60	56	55	37	60	57	58	57	58	58	56	55	59	38	58	54	60

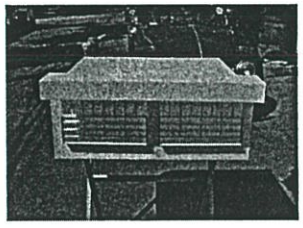
5.8 การวิเคราะห์อิทธิพลด้านความลึกต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง

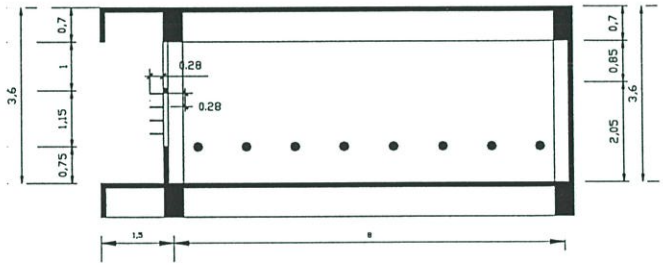
จากการศึกษาการวิจัยที่เกี่ยวข้องมีการทดสอบหิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve ซึ่งมีพื้นที่ในการสะท้อนแสงที่เท่ากัน แต่แตกต่างกันที่ความลึกของหิ้งสะท้อนแสง พบว่าความลึกของหิ้งสะท้อนแสงมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการทดสอบเพื่อศึกษาหาค่าความลึกที่เหมาะสมในการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสง

1. ชุดการทดสอบ

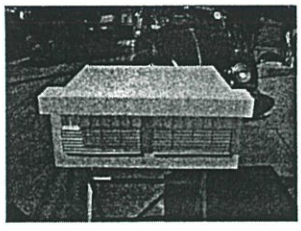
ทำการทดสอบหิ้งสะท้อนแสงชนิด Blind Light Shelve ทั้งสามรูปแบบ คือแบบ 4 บาน, แบบ 8 บาน และแบบ 12 บาน โดยกำหนดให้หิ้งสะท้อนแสงใช้พื้นผิวสีขาวเคลือบเงา ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถสะท้อนแสงได้ดีที่สุด เพื่อทำการทดสอบหารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุดดังนี้

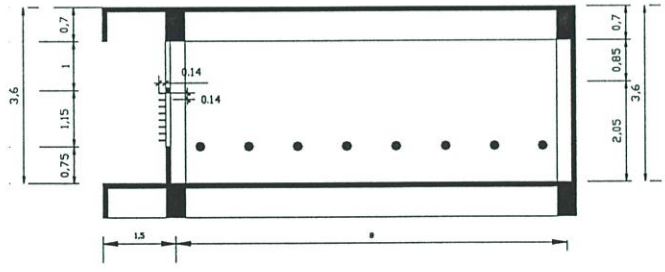
แบบบานเปิด 4 บาน



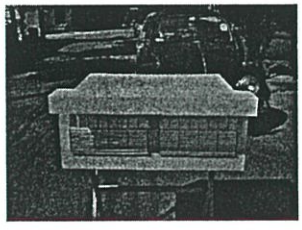


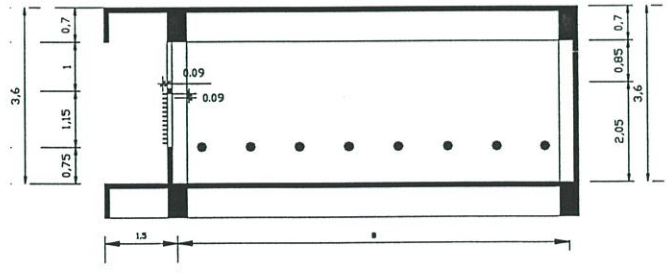
แบบบานเปิด 8 บาน





แบบบานเปิด 12 บาน





รูปที่ 5.8 แสดงหุ่นจำลองชุดการทดสอบที่ 4

2. ตัวแปรควบคุม

รูปแบบอาคาร : กำหนดตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 8.0 x 8.0 x 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่มีความลึกมากที่สุดเพื่อสามารถนำผลที่ได้ไปปรับใช้ได้กับทุกแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ

ค่าการสะท้อนแสงภายใน : กำหนดให้ ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 80%
ผนัง มีค่าการสะท้อนแสง 50%
พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 30%

พื้นที่หน้าต่างสะท้อนแสง : มีพื้นที่ในการสะท้อนแสงเท่ากัน

พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง : กำหนดใช้กระดาษสีขาวเคลือบเงา

3. การกำหนดจุดมุ่งหมายในการทดลอง

การทดลองนี้ต้องการทดสอบเพื่อหาชนิดของหน้าต่างที่สามารถใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยกำหนดให้ทั่วทั้งห้องต้องมีค่าความสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ ที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (Working Plane) ในแนวราบภายใต้สภาพท้องฟ้าปกติ

4. สมมติฐานการทดลอง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบ 12 บาน น่าจะเป็นหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่นๆ ทั้ง 3 แบบ เนื่องจากจำนวนบานที่มีความถี่มากกว่าแบบอื่น น่าจะสามารถกระจายแสงได้ดีและลึกกว่าแบบอื่น

5. หุ่นจำลอง

หุ่นจำลอง : ทำการสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน ขนาดกว้าง 8.0 เมตร ลึก 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูงจากพื้น 2.9 เมตร ขนาดหน้าต่างและระดับความสูงในการติดตั้งยึดตามแบบกระทรวงศึกษาธิการ โดยกำหนดให้ขยายขนาดช่องแสงให้สูงขึ้นอีก 0.40 เมตรเพื่อประสิทธิภาพในการรับแสงมากยิ่งขึ้น โดยใช้มาตราส่วน 1 : 10 เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีพื้นผิวชนิดต่างๆ

6. การทดสอบและการเก็บข้อมูล

- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวข้างต้น โดยทดสอบวัดค่าความสว่างภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบตามระบบตาราง ขนาดตาราง 1 x 1 เมตร ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane)
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางตารางภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง

7. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

- นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ ประเมินผล ข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีเพื่อนำเสนอรูปแบบที่ดีที่สุดในการนำไปศึกษาต่อไป

ตารางที่ 5.32 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

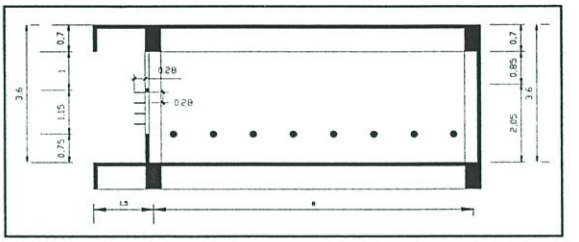
	D.F. [%]							
	18 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	5.05	4.75	4.1	3.43	3.07	2.72	2.46	2.38
2	5.03	4.74	4.08	3.42	3.05	2.7	2.44	2.37
3	5.02	4.76	4.06	3.43	3.04	2.69	2.43	2.38
4	5.07	4.77	4.09	3.45	3.06	2.71	2.45	2.35
5	5.06	4.73	4.11	3.44	3.08	2.7	2.47	2.39
6	5.04	4.72	4.12	3.42	3.08	2.73	2.46	2.4
7	5.05	4.75	4.1	3.41	3.07	2.71	2.43	2.38
8	5.04	4.76	4.09	3.42	3.05	2.7	2.44	2.36
เฉลี่ย	5.05	4.75	4.09	3.43	3.06	2.71	2.45	2.38

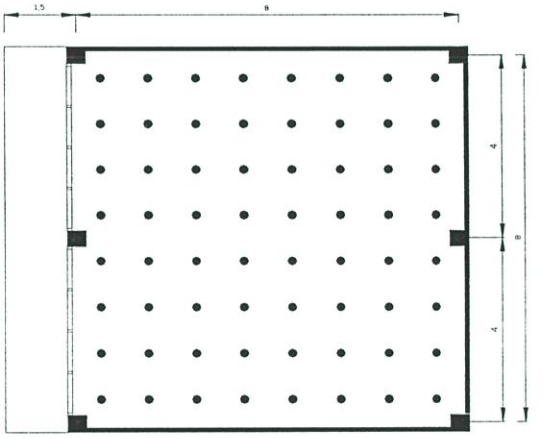
	D.F. [%]							
	19 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	4.92	4.66	3.98	3.31	2.98	2.63	2.34	2.26
2	4.9	4.64	3.96	3.29	2.96	2.61	2.33	2.24
3	4.93	4.65	3.95	3.28	2.97	2.62	2.35	2.22
4	4.94	4.63	3.97	3.3	2.99	2.64	2.34	2.21
5	4.92	4.65	4.02	3.32	3.02	2.63	2.36	2.25
6	4.91	4.66	4.01	3.31	3.04	2.62	2.33	2.27
7	4.9	4.68	3.99	3.34	3.01	2.61	2.3	2.26
8	4.93	4.67	4.02	3.27	2.98	2.64	2.34	2.28
เฉลี่ย	4.92	4.66	3.99	3.3	2.99	2.63	2.34	2.25

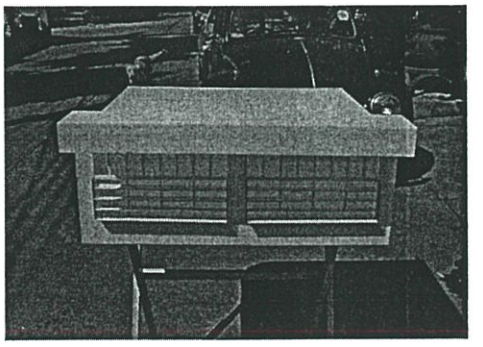
	D.F. [%]							
	20 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	4.99	4.71	4.05	3.38	3.02	2.67	2.41	2.33
2	4.97	4.72	4.03	3.37	3	2.66	2.39	2.32
3	4.96	4.75	4.06	3.35	3.01	2.69	2.38	2.3
4	4.98	4.7	4.04	3.36	2.98	2.72	2.42	2.31
5	5.02	4.68	4.06	3.4	2.99	2.7	2.4	2.34
6	5	4.69	3.98	3.42	3.01	2.68	2.41	2.34
7	5.01	4.7	4.07	3.4	3.04	2.67	2.43	2.35
8	4.99	4.72	4.05	3.36	3.05	2.65	2.4	2.32
เฉลี่ย	4.99	4.71	4.04	3.38	3.01	2.68	2.41	2.32

รูปแบบ : หิงสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิด 4 บาน





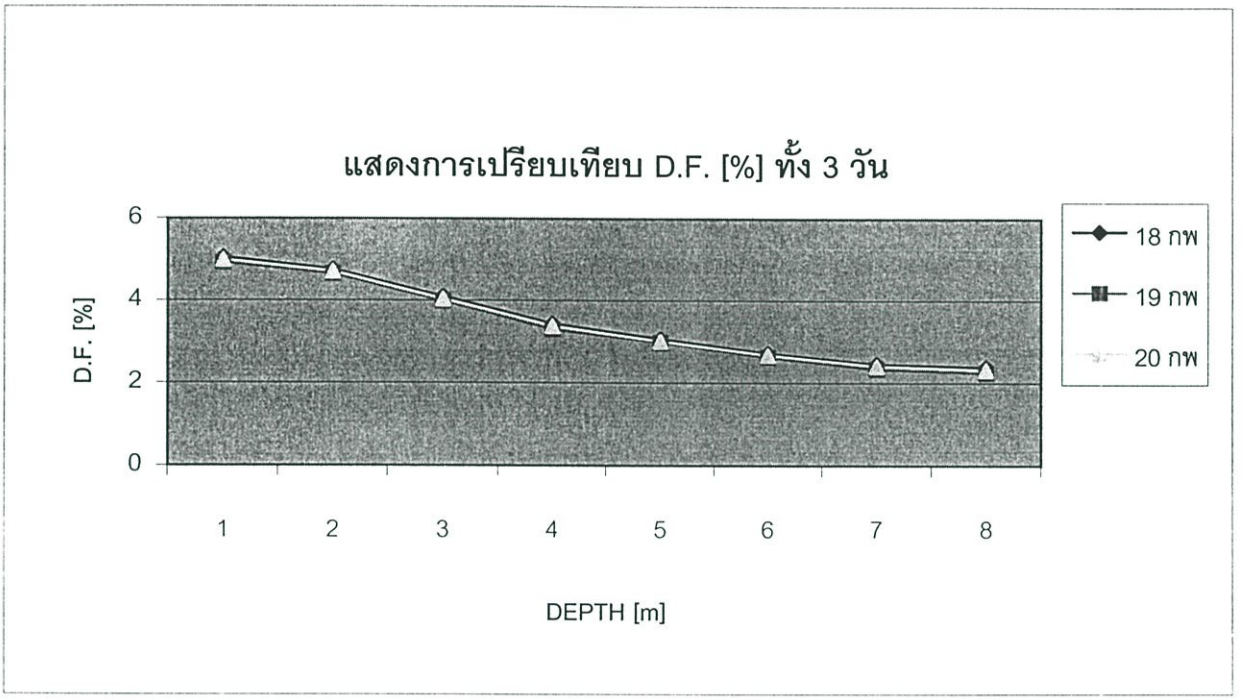


ตารางที่ 5.33 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
18 กพ	5.05	4.75	4.09	3.43	3.06	2.71	2.45	2.38
19 กพ	4.92	4.66	3.99	3.3	2.99	2.63	2.34	2.25
20 กพ	4.99	4.71	4.04	3.38	3.01	2.68	2.41	2.32

รูปแบบ : หิ้งสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิด 4 บาน



ตารางที่ 5.34 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

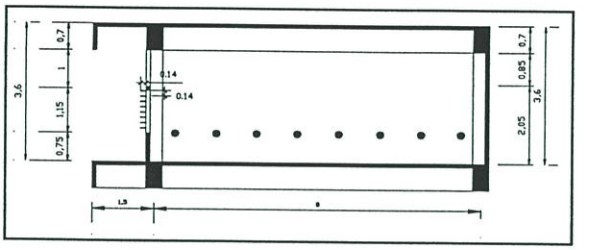
	D.F. [%]							
	18 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	6.27	5.43	4.32	3.59	2.9	2.79	2.57	2.49
2	6.25	5.42	4.3	3.58	2.91	2.75	2.58	2.48
3	6.26	5.4	4.31	3.56	2.92	2.76	2.56	2.49
4	6.28	5.41	4.33	3.57	2.9	2.78	2.55	2.5
5	6.29	5.43	4.34	3.6	2.88	2.79	2.54	2.51
6	6.31	5.45	4.35	3.58	2.89	2.82	2.54	2.51
7	6.27	5.46	4.34	3.58	2.9	2.81	2.56	2.52
8	6.28	5.42	4.31	3.61	2.91	2.8	2.58	2.5
เฉลี่ย	6.28	5.43	4.33	3.58	2.9	2.79	2.56	2.5

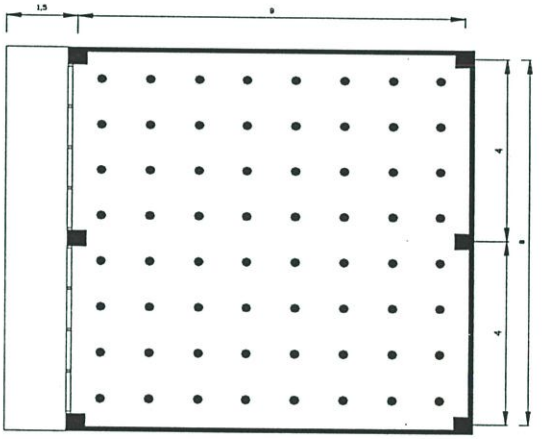
	D.F. [%]							
	19 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	6.25	5.3	4.19	3.47	2.82	2.69	2.45	2.38
2	6.23	5.28	4.18	3.45	2.8	2.67	2.44	2.37
3	6.24	5.29	4.17	3.46	2.81	2.66	2.43	2.36
4	6.23	5.28	4.19	3.45	2.79	2.68	2.44	2.38
5	6.22	5.31	4.21	3.47	2.78	2.7	2.46	2.4
6	6.24	5.32	4.2	3.48	2.81	2.71	2.47	2.41
7	6.25	5.3	4.18	3.49	2.82	2.67	2.44	2.39
8	6.26	5.31	4.16	3.5	2.8	2.7	2.43	2.4
เฉลี่ย	6.24	5.3	4.19	3.47	2.8	2.69	2.45	2.39

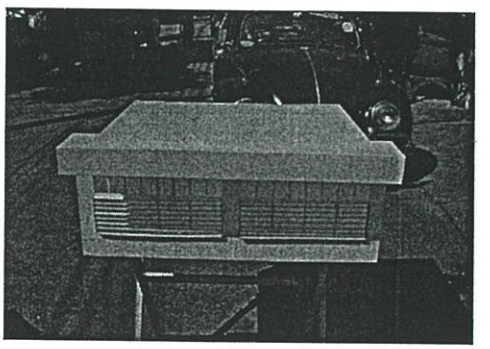
	D.F. [%]							
	20 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	6.23	5.4	4.27	3.54	2.85	2.74	2.53	2.45
2	6.21	5.41	4.26	3.53	2.83	2.71	2.52	2.43
3	6.22	5.42	4.25	3.52	2.84	2.72	2.54	2.44
4	6.2	5.4	4.23	3.53	2.85	2.73	2.55	2.46
5	6.23	5.38	4.24	3.55	2.87	2.75	2.56	2.47
6	6.24	5.37	4.26	3.56	2.86	2.73	2.55	2.45
7	6.25	5.39	4.28	3.55	2.86	2.71	2.53	2.46
8	6.24	5.39	4.3	3.54	2.86	2.7	2.57	2.44
เฉลี่ย	6.22	5.4	4.26	3.54	2.85	2.72	2.54	2.45

รูปแบบ : หิงสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิด 8 บาน





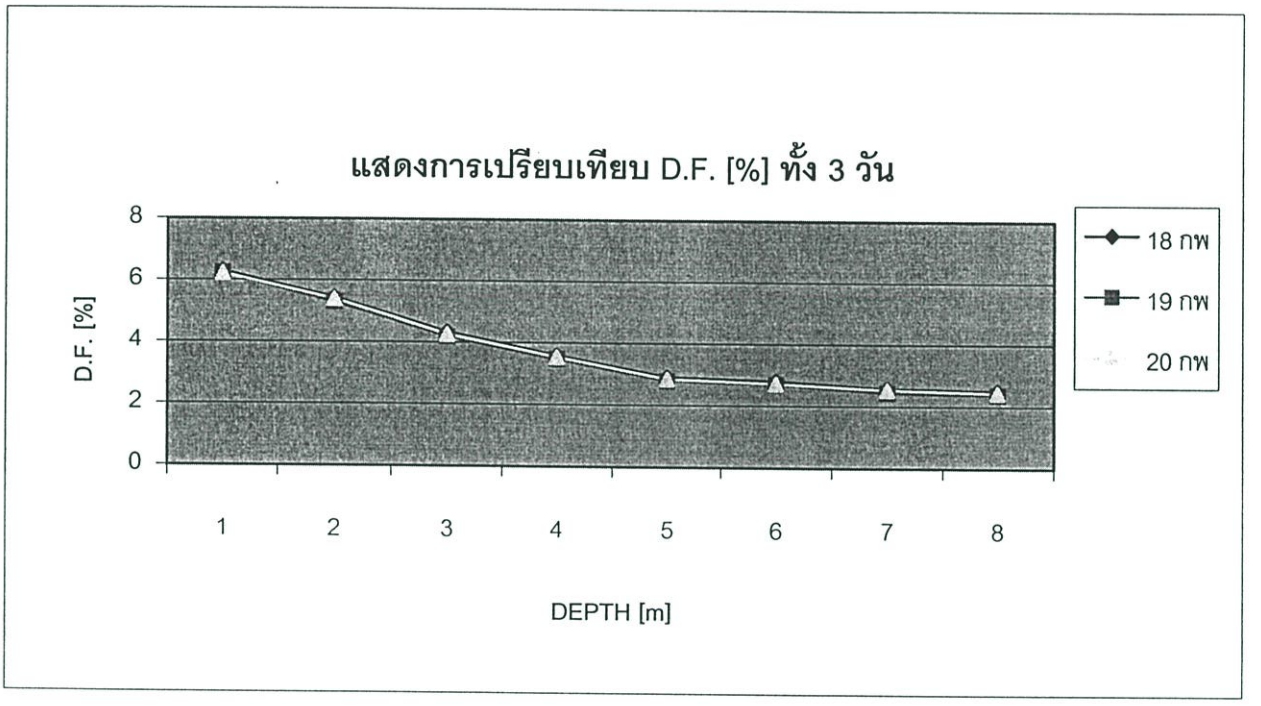


ตารางที่ 5.35 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
18 กพ	6.28	5.43	4.33	3.58	2.9	2.79	2.56	2.5
19 กพ	6.24	5.3	4.19	3.47	2.8	2.69	2.45	2.39
20 กพ	6.22	5.4	4.26	3.54	2.85	2.72	2.54	2.45

รูปแบบ : หิงสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิด 8 บาน



ตารางที่ 5.36 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

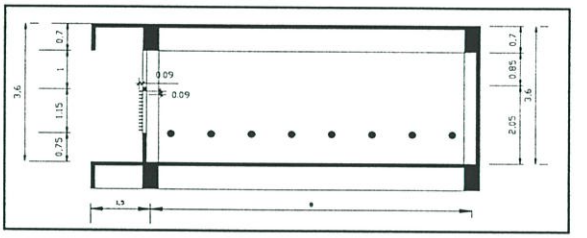
	D.F. [%]							
	18 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	5.7	5.56	4.4	3.76	3.3	2.91	2.75	2.58
2	5.65	5.52	4.42	3.74	3.28	2.92	2.73	2.56
3	5.68	5.5	4.4	3.75	3.29	2.94	2.72	2.58
4	5.72	5.54	4.42	3.77	3.31	2.88	2.75	2.59
5	5.66	5.57	4.41	3.72	3.3	2.89	2.77	2.6
6	5.64	5.58	4.36	3.73	3.32	2.9	2.78	2.62
7	5.71	5.55	4.38	3.75	3.3	2.91	2.76	2.6
8	5.71	5.57	4.37	3.77	3.29	2.92	2.75	2.56
เฉลี่ย	5.68	5.55	4.4	3.75	3.3	2.91	2.75	2.59

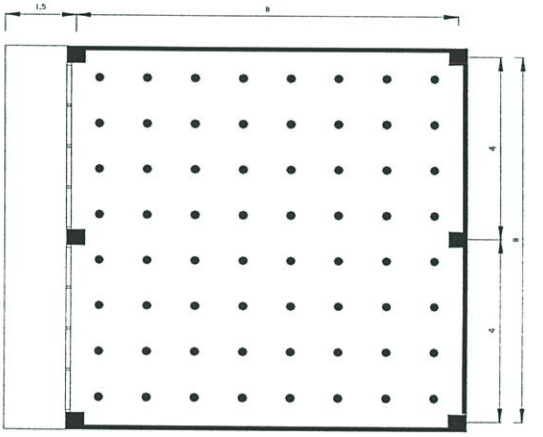
	D.F. [%]							
	19 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	5.58	5.43	4.31	3.66	3.25	2.78	2.7	2.51
2	5.6	5.42	4.32	3.65	3.23	2.79	2.68	2.5
3	5.61	5.41	4.32	3.63	3.24	2.8	2.69	2.48
4	5.59	5.45	4.3	3.64	3.26	2.76	2.71	2.49
5	5.57	5.46	4.28	3.65	3.25	2.75	2.72	2.52
6	5.56	5.44	4.29	3.67	3.27	2.8	2.7	2.53
7	5.58	5.43	4.3	3.66	3.25	2.78	2.69	2.51
8	5.57	5.42	4.32	3.68	3.24	2.77	2.68	2.5
เฉลี่ย	5.58	5.43	4.31	3.66	3.25	2.78	2.7	2.51

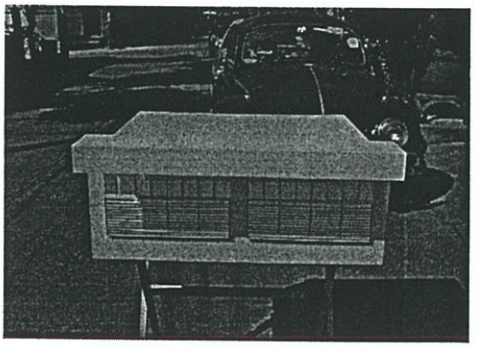
	D.F. [%]							
	20 FEB 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	5.65	5.5	4.35	3.69	3.27	2.85	2.68	2.52
2	5.66	5.48	4.33	3.67	3.25	2.86	2.7	2.5
3	5.67	5.49	4.32	3.68	3.26	2.85	2.71	2.49
4	5.64	5.51	4.34	3.7	3.25	2.87	2.68	2.51
5	5.65	5.5	4.35	3.72	3.28	2.83	2.69	2.48
6	5.63	5.52	4.36	3.7	3.29	2.84	2.7	2.5
7	5.64	5.51	4.37	3.68	3.24	2.85	2.67	2.51
8	5.65	5.52	4.35	3.69	3.26	2.84	2.68	2.52
เฉลี่ย	5.65	5.5	4.35	3.69	3.26	2.85	2.69	2.5

รูปแบบ : หิงสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิด 12 บาน





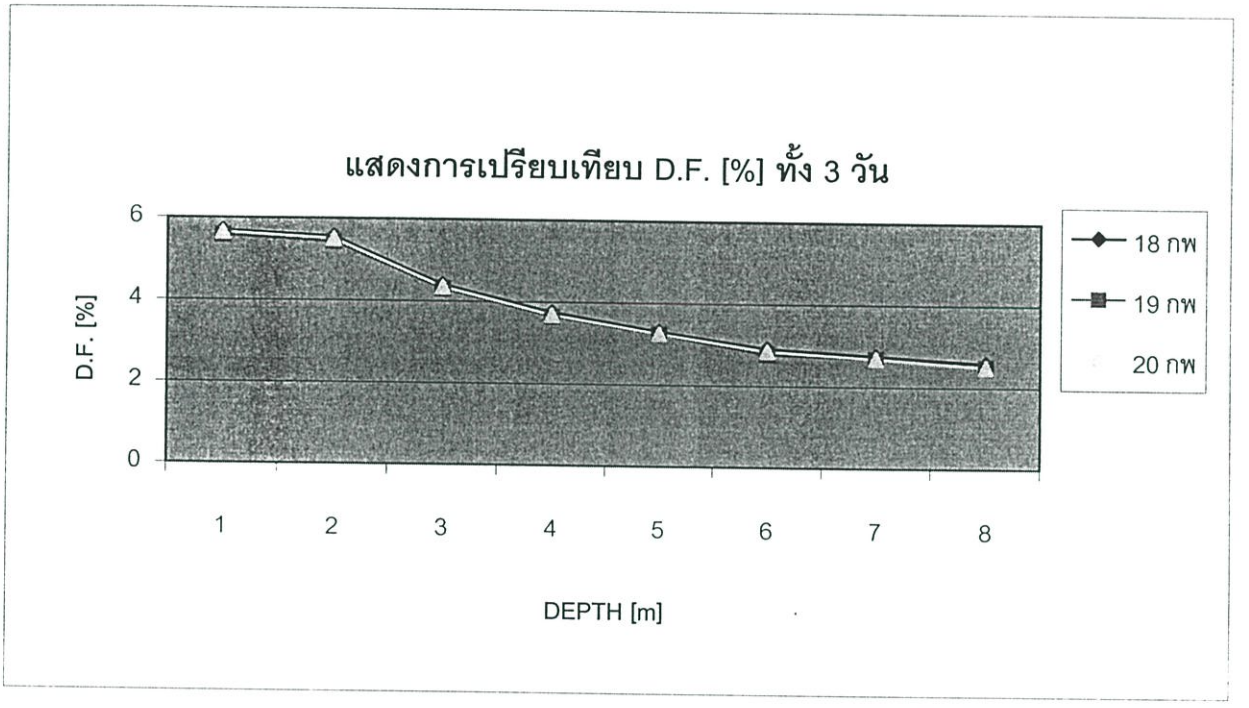


ตารางที่ 5.37 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
18 กพ	5.68	5.55	4.4	3.75	3.3	2.91	2.75	2.59
19 กพ	5.58	5.43	4.31	3.66	3.25	2.78	2.7	2.51
20 กพ	5.65	5.5	4.35	3.69	3.26	2.85	2.69	2.5

รูปแบบ : หิงสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve

บานเปิด 12 บาน



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงทั้ง 3 แบบที่ทำการทดสอบจะใช้ค่า Daylight Factor = 2.5 % เป็นเกณฑ์ โดยพิจารณาว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแต่ละแบบสามารถสะท้อนแสงเข้าได้ลึกตามเกณฑ์กี่เมตร

ตารางที่ 5.38 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. เฉลี่ยจากการทดลองชุดที่ 4

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบม่าน 4 บาน

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
18 กพ	5.05	4.75	4.09	3.43	3.06	2.71	2.45	2.38
19 กพ	4.92	4.66	3.99	3.3	2.99	2.63	2.34	2.25
20 กพ	4.99	4.71	4.04	3.38	3.01	2.68	2.41	2.32

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 46.43% ของแถวริมหน้าต่าง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบม่าน 8 บาน

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
18 กพ	6.28	5.43	4.33	3.58	2.9	2.79	2.56	2.5
19 กพ	6.24	5.3	4.19	3.47	2.8	2.69	2.45	2.39
20 กพ	6.22	5.4	4.26	3.54	2.85	2.72	2.54	2.45

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 39.15% ของแถวริมหน้าต่าง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบม่าน 12 บาน

	D.F. [%] / DEP.							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
18 กพ	5.68	5.55	4.4	3.75	3.3	2.91	2.75	2.59
19 กพ	5.58	5.43	4.31	3.66	3.25	2.78	2.7	2.51
20 กพ	5.65	5.5	4.35	3.69	3.26	2.85	2.69	2.5

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 44.92% ของแถวริมหน้าต่าง

จากการทดสอบพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบม่าน 12 บาน สามารถสะท้อนแสงเข้าตามเกณฑ์ได้ลึกที่สุดคือ สะท้อนแสงได้ลึกตามเกณฑ์ 7.5 เมตร โดยมีค่า D.F. เฉลี่ยของแถวในสุดคิดเป็น 44.92 % ของแถวริมหน้าต่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงได้ลึกกว่าแบบบานเปิดขึ้น-ลง และมีการกระจายแสงที่ดีกว่าอีกด้วย

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี
ชุดการทดลองที่ 4 เพื่อหารูปแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงประเภท Blind Light Shelve แบบบานเปิด 12 บาน มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนได้ดีที่สุด โดยมีค่า D.F. ที่ต่ำที่สุดสุดเท่ากับ 2.48 % ซึ่งทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปี ใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 20,161 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ตารางที่ 5.39 แสดงประสิทธิภาพการใช้สอยตลอดทั้งปี ชุดการทดสอบที่ 4

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	167	29	85.20
กุมภาพันธ์	215	197	18	91.63
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	100	12	89.29
มิถุนายน	224	215	9	95.98
กรกฎาคม	218	212	6	97.25
สิงหาคม	245	231	14	94.29
กันยายน	240	225	15	93.75
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	115	10	92.00
ธันวาคม	248	236	12	95.16
รวม	**1823**	**1698**	**125**	**93.14**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบ 12 บาน สามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 93.14 % ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี อย่างไรก็ดีหากสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นก็จะสามารถนำไปใช้งานและประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

ตารางที่ 5.40 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 4

JAN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8											22			25.8			27	25.8		22.7	24.5										37.7
9	33.5	32.8			27.4	20	24.7	23.9	42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2	6.3	6.5	38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5			52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4			81.7		58.2	50.6
11	85.1	56.9			62.5						79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2				97.1		58.2	50.6
12	100	68.2			72.7							60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6				90.8		37.2	82
13	81.7	83			79.4	78.9		63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4				67.7			90.8
14	71.5	25.4			68	67.4		66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8				54.6			106
15	28.5					56.8			32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5				51.7	64.3	46	75.9

FEB

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
time 8				26.1		26			20.2	21.3	22.5		24.1	22.5				21.4		21	23.6		21	20.6	23	20		22.4
9	63.4	59.9		54.2		55.6	32.7	50	60.6	58.3	48.5		52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8		48.1	50.2	21.4	46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1		67.1		79	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9	26.4	85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40	73.8	73.9	55	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	82.9
11	102	94.4		91.3		96.6	81	94.8	92.6	92.6	89	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	106	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	103		100		99.5	68	109	102	102	98.9	69.9	68	102	103	104	86.4	71.7	83.5	98.4	102	112	99.2	49.7	76.7	100	102	79
13	81.2	100		105		101	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101	65.9	90.4	103	94.9	97.3	74.1	97.3	100	96.1	101	89.4	49.7	61.1	101	81.1
14	62.4	98.5		96.7		93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82	94	94.1	86	90.9	84.1	89	94.9	93.6	92.6	58.3	51	53.3	88.6	68.4
15	43	77.5		68		70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39	76.6	55.1	72.5

MAR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	46.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	75.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

APR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	102	105	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	23.8	105	112	79.8	109	108	9	127	47.2	49.8
11	33.7	115	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43.1	124	64.2	55.9
12	21.3	119	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	94.5	133	107	129	127	125	125	64.6	60	63.8	47.5
14	108	110	106	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84.3	81.6	117	84.4	126	100	119	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100	97.8	90.2	101	83.4	109	103	97.7	98.7	51.8	0	101	49.8

สามารถใช้งานได้ ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.40 (ต่อ)

MAY

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.8	37.1	30.9	83.7	67.9	60.5	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.6	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	19.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

JUN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	6.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.8	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	18.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	12	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

AUG

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	19.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.6	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.40 (ต่อ)

SEP

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.8	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.8	23.4	43.5	43.5	11.8	53.8	35.4	8.4	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	6.3	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	16	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.6	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	6.9	15	29.5	39.8	22.1	79.3

OCT

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	8.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

NOV

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	14.6	0	11.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.6	43.4	34	37.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
9	55.4	0	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	0	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	0	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	0	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	0	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	0	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	0	0	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	10.1	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

DEC

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	35.6	36.7	14.5	10.6	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	11.4	13.9	18.1	18.5	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	11.8	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	5.9	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

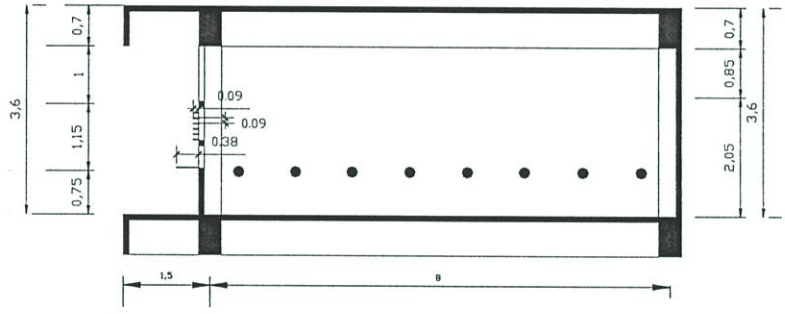
5.9 ชุดการทดสอบประสิทธิภาพหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสม

จากการทดลองรูปแบบทั้งหมดในข้างต้นสามารถสรุปผลจากการทดสอบได้ว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบที่มีบานสะท้อนแสงติดตั้งอยู่ที่ขอบล่างของหน้าต่างสามารถสะท้อนแสงเข้าได้ลึกกว่าแบบอื่นแต่กระจายแสงได้ไม่ดีนัก ส่วนหน้าต่างสะท้อนแสงแบบม่าน 12 บาน สามารถสะท้อนแสงได้ลึกและมีประสิทธิภาพในการกระจายแสงได้ดีกว่าแบบอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการทดลองโดยการนำทั้ง 2 รูปแบบมาผสมผสานกัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มค่าความสว่างในทางลึกและกระจายแสงได้ดียิ่งขึ้น

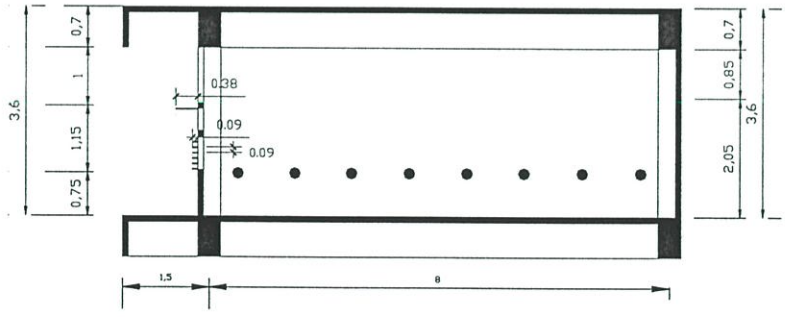
1.ชุดการทดสอบ

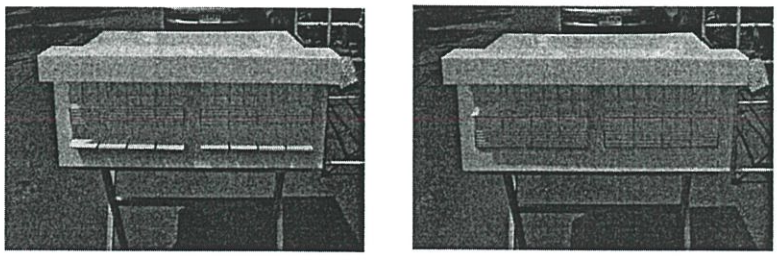
ทำการทดสอบหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสมระหว่างแบบ Blind Light Shelve กับแบบภายนอก โดยกำหนดให้หิ้งสะท้อนแสงใช้พื้นผิวสีขาวเคลือบเงา ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถสะท้อนแสงได้ดีที่สุด เพื่อทำการทดสอบหารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุดดังนี้

1. <u>แบบเกล็ด 6 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง</u>



2. <u>แบบบานเปิดอยู่ด้านบน-บานเกล็ด 6 บานอยู่ด้านล่าง</u>





รูปที่ 5.9 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบชุดการทดสอบที่ 5

2. ตัวแปรควบคุม

รูปแบบอาคาร : กำหนดตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 8.0 x 8.0 x 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่มีความลึกมากที่สุดเพื่อสามารถนำผลที่ได้ไปปรับใช้ได้กับทุกแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ

ค่าการสะท้อนแสงภายใน : กำหนดให้ ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 80%
ผนัง มีค่าการสะท้อนแสง 50%
พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 30%

พื้นที่หน้าต่างสะท้อนแสง : มีพื้นที่ในการสะท้อนแสงเท่ากัน

พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง : กำหนดใช้กระดาษสีขาวเคลือบเงา

3. การกำหนดจุดมุ่งหมายในการทดลอง

การทดลองนี้ต้องการทดสอบเพื่อหาชนิดของหน้าต่างที่สามารถใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยกำหนดให้ทั่วทั้งห้องต้องมีค่าความสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ ที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (Working Plane) ในแนวราบภายใต้สภาพท้องฟ้าปกติ และมีการกระจายแสงอยู่ในเกณฑ์คือค่าความสว่างทุกตำแหน่งแตกต่างกันไม่เกิน 30%

4. สมมติฐานการทดลอง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบเกล็ด 6 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง น่าจะเป็นหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพดีที่กว่า เนื่องจากมีบานเปิดด้านล่างน่าจะสามารถสะท้อนแสงได้ลึกและสามารถกระจายแสงได้ดีกว่า

5. หุ่นจำลอง

หุ่นจำลอง : ทำการสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน ขนาดกว้าง 8.0 เมตร ลึก 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูงจากพื้น 2.9 เมตร ขนาดหน้าต่างและระดับความสูงในการติดตั้งยึดตามแบบกระทรวงศึกษาธิการ โดยกำหนดให้ขยายขนาดช่องแสงให้สูงขึ้นอีก 0.40 เมตรเพื่อประสิทธิภาพในการรับแสงมากยิ่งขึ้น โดยใช้มาตราส่วน 1 : 10 เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีพื้นผิวชนิดต่างๆ

6. การทดสอบและการเก็บข้อมูล

- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวข้างต้น โดยทดสอบวัดค่าความสว่างภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบตามระบบตาราง ขนาดตาราง 1 x 1 เมตร ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane)
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางตารางภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง

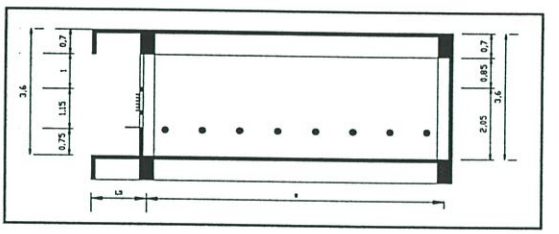
7. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

- นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ ประเมินผล ข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีเพื่อนำเสนอรูปแบบที่ดีที่สุดในการนำไปศึกษาต่อไป

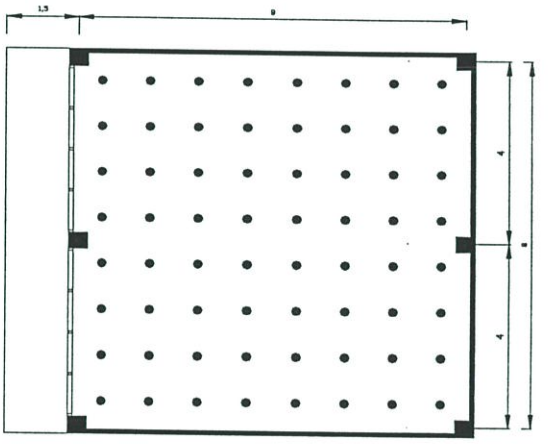
ตารางที่ 5.41 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%]							
	4 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.49	6.51	5.08	4.24	3.82	3.36	3.16	3.08
2	7.45	6.53	5.06	4.23	3.8	3.34	3.15	3.06
3	7.48	6.52	5.07	4.21	3.81	3.35	3.13	3.07
4	7.52	6.54	5.09	4.25	3.83	3.36	3.18	3.1
5	7.51	6.48	5.1	4.24	3.85	3.37	3.17	3.09
6	7.5	6.49	5.06	4.26	3.84	3.32	3.16	3.08
7	7.48	6.48	5.07	4.23	3.82	3.34	3.15	3.07
8	7.47	6.5	5.08	4.25	3.81	3.35	3.14	3.06
เฉลี่ย	7.49	6.51	5.08	4.24	3.82	3.35	3.16	3.08

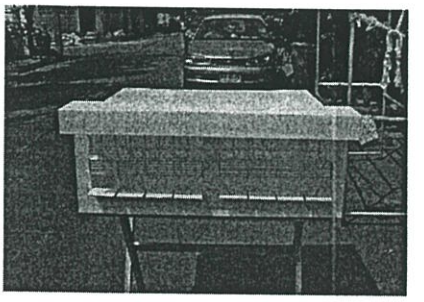
รูปแบบ : แบบเกล็ดอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง



	D.F. [%]							
	5 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.55	6.59	5.12	4.3	3.88	3.42	3.22	3.1
2	7.54	6.57	5.11	4.28	3.88	3.41	3.21	3.08
3	7.56	6.58	5.1	4.29	3.87	3.4	3.2	3.09
4	7.54	6.6	5.12	4.31	3.89	3.43	3.23	3.11
5	7.53	6.61	5.14	4.32	3.87	3.45	3.22	3.12
6	7.52	6.58	5.13	4.31	3.88	3.44	3.2	3.09
7	7.56	6.57	5.12	4.3	3.9	3.42	3.18	3.08
8	7.56	6.58	5.1	4.29	3.89	3.41	3.19	3.11
เฉลี่ย	7.55	6.59	5.12	4.3	3.88	3.42	3.21	3.1



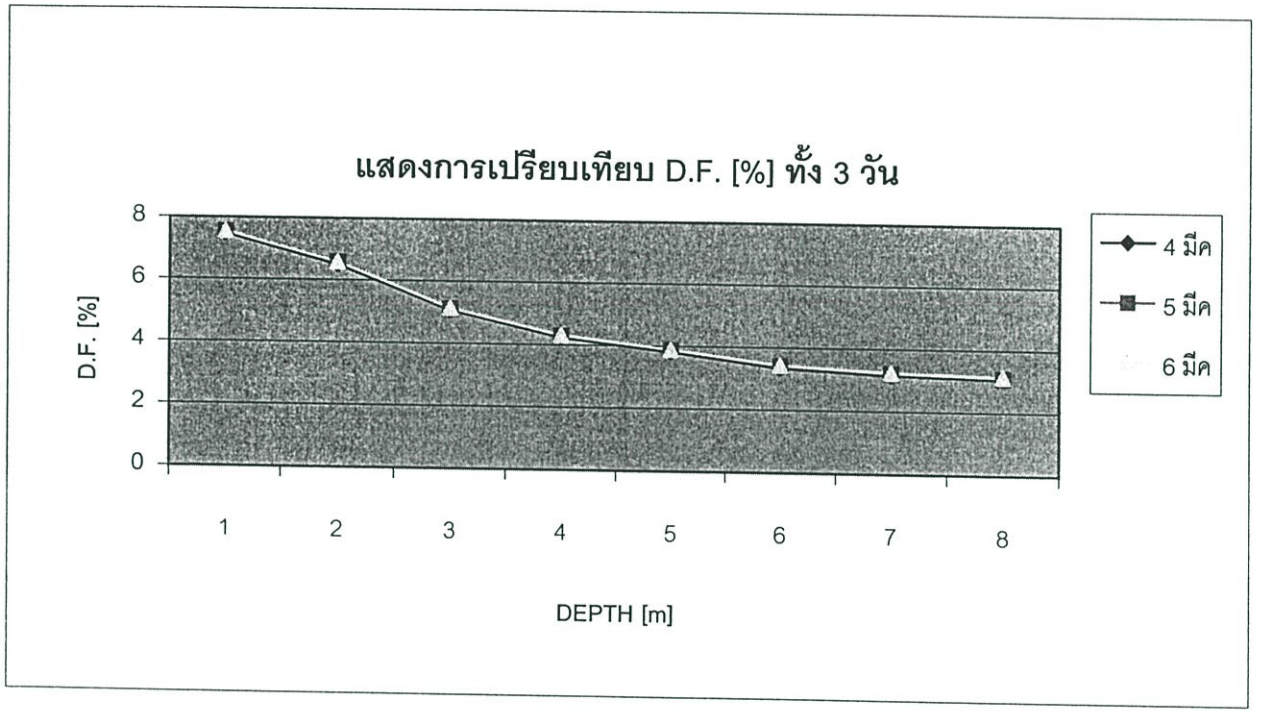
	D.F. [%]							
	6 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.56	6.58	5.15	4.31	3.89	3.43	3.23	3.15
2	7.54	6.56	5.13	4.3	3.88	3.41	3.22	3.13
3	7.55	6.57	5.16	4.29	3.86	3.42	3.21	3.14
4	7.57	6.59	5.17	4.33	3.87	3.44	3.24	3.16
5	7.55	6.6	5.12	4.32	3.9	3.45	3.25	3.15
6	7.54	6.58	5.14	4.3	3.89	3.43	3.23	3.13
7	7.55	6.6	5.13	4.28	3.88	3.42	3.24	3.14
8	7.56	6.57	5.15	4.29	3.9	3.44	3.25	3.15
เฉลี่ย	7.55	6.58	5.14	4.3	3.88	3.43	3.23	3.14



ตารางที่ 5.42 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
4 มค	7.49	6.51	5.08	4.24	3.82	3.35	3.16	3.08
5 มค	7.55	6.59	5.12	4.3	3.88	3.42	3.21	3.1
6 มค	7.55	6.58	5.14	4.3	3.88	3.43	3.23	3.14

รูปแบบ : แบบเกลืดอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง



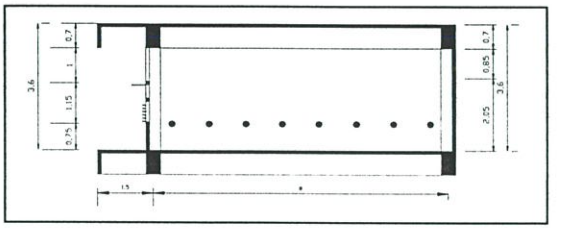
ตารารงที่ 5.43 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

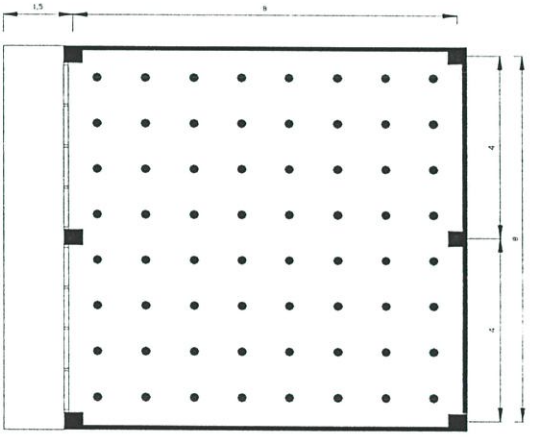
	D.F. [%]							
	4 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.73	5.79	4.62	3.91	3.39	3.2	3.16	2.78
2	7.74	5.8	4.63	3.9	3.38	3.18	3.15	2.77
3	7.75	5.81	4.62	3.88	3.4	3.19	3.16	2.76
4	7.74	5.82	4.63	3.89	3.42	3.21	3.15	2.79
5	7.73	5.79	4.6	3.92	3.41	3.2	3.17	2.78
6	7.71	5.76	4.61	3.91	3.38	3.19	3.16	2.77
7	7.72	5.77	4.63	3	3.39	3.21	3.14	2.79
8	7.7	5.77	4.61	3.89	3.38	3.2	3.15	2.79
เฉลี่ย	7.73	5.79	4.62	3.9	3.39	3.2	3.16	2.78

	D.F. [%]							
	5 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.77	5.83	4.67	3.86	3.44	3.25	3.2	2.83
2	7.78	5.81	4.66	3.85	3.45	3.26	3.18	2.84
3	7.79	5.83	4.68	3.87	3.43	3.24	3.19	2.85
4	7.77	5.84	4.69	3.86	3.44	3.23	3.21	2.85
5	7.75	5.85	4.65	3.85	3.45	3.25	3.2	2.83
6	7.76	5.82	4.66	3.86	3.46	3.26	3.2	2.82
7	7.77	5.83	4.67	3.87	3.44	3.27	3.18	2.82
8	7.75	5.84	4.68	3.87	3.42	3.25	3.19	2.81
เฉลี่ย	7.78	5.83	4.67	3.86	3.44	3.25	3.19	2.83

	D.F. [%]							
	6 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.81	5.85	4.68	3.98	3.46	3.26	3.22	2.84
2	7.82	5.83	4.67	3.99	3.45	3.25	3.21	2.81
3	7.8	5.84	4.65	3.98	3.45	3.25	3.22	2.83
4	7.79	5.85	4.69	4	3.47	3.24	3.23	2.82
5	7.79	5.86	4.68	3.97	3.46	3.26	3.2	2.83
6	7.81	5.84	4.67	3.99	3.45	3.26	3.21	2.84
7	7.8	5.85	4.66	3.98	3.46	3.27	3.22	2.85
8	7.81	5.84	4.68	3.99	3.45	3.27	3.23	2.85
เฉลี่ย	7.8	5.85	4.67	3.99	3.46	3.26	3.22	2.83

รูปแบบ : แบบเกล็ดอยู่ด้านล่าง-บานเปิดอยู่ด้านบน

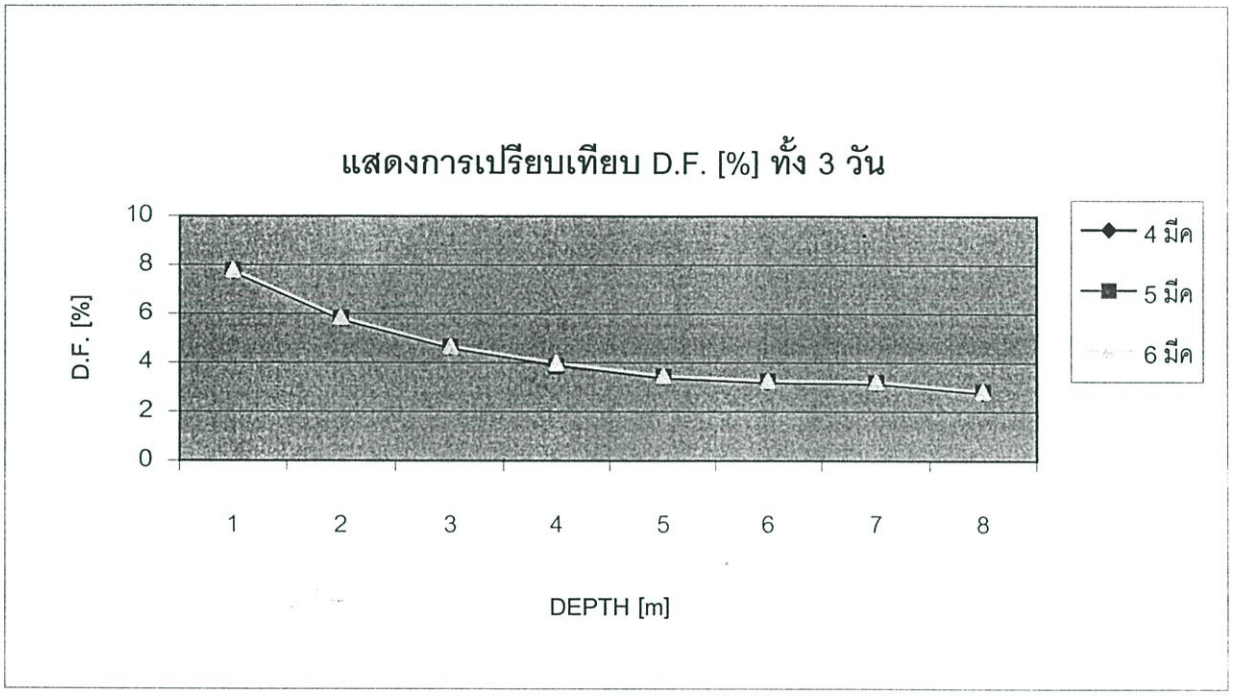




ตารางที่ 5.44 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
4 มีค	7.73	5.79	4.62	3.9	3.39	3.2	3.16	2.78
5 มีค	7.78	5.83	4.67	3.86	3.44	3.25	3.19	2.83
6 มีค	7.8	5.85	4.67	3.99	3.46	3.26	3.22	2.83

รูปแบบ : แบบเกล็ดอยู่ด้านล่าง-บานเปิดอยู่ด้านบน



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงทั้ง 3 แบบที่ทำการทดสอบจะใช้ค่า Daylight Factor = 3.0 % เป็นเกณฑ์ โดยพิจารณาว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแต่ละแบบสามารถสะท้อนแสงเข้าได้ลึกตามเกณฑ์กี่เมตร

ตารางที่ 5.45 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. เฉลี่ยชุดการทดสอบที่ 5

แบบเกล็ด 6 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
4 มีค	7.49	6.51	5.08	4.24	3.82	3.35	3.16	3.08
5 มีค	7.55	6.59	5.12	4.3	3.88	3.42	3.21	3.1
6 มีค	7.55	6.58	5.14	4.3	3.88	3.43	3.23	3.14

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 41.26% ของแถวริมหน้าต่าง

แบบบานเปิดอยู่ด้านบน-บานเกล็ด 6 บานอยู่ด้านล่าง

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
4 มีค	7.73	5.79	4.62	3.9	3.39	3.2	3.16	2.78
5 มีค	7.78	5.83	4.67	3.86	3.44	3.25	3.19	2.83
6 มีค	7.8	5.85	4.67	3.99	3.46	3.26	3.22	2.83

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 36.21% ของแถวริมหน้าต่าง

จากการทดสอบพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบแบบเกล็ด 6 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง สามารถสะท้อนแสงเข้าตามเกณฑ์ได้ลึกที่สุดคือ สะท้อนแสงได้ลึกตามเกณฑ์ 7.5 เมตร โดยมีค่า D.F. เฉลี่ยของแถวในสุดคิดเป็น 41.26 % ของแถวริมหน้าต่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงได้ดีกว่าแบบม่าน 12 บาน เนื่องจากแถวในสุดมีค่า D.F. สูงกว่าคืออยู่ในเกณฑ์ 3.0 % แต่มีประสิทธิภาพในกากระจายแสงต่ำกว่า

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี
ชุดการทดลองที่ 5 เพื่อหารูปแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสมบานเกล็ดอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่างมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนได้ดีที่สุด โดยมีค่า D.F. ต่ำที่สุดเท่ากับ 3.06 % ซึ่งทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 16,340 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ตารางที่ 5.46 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สอยตลอดทั้งปี ชุดการทดสอบที่ 5

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	173	23	88.27
กุมภาพันธ์	215	206	9	95.81
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	106	6	94.64
มิถุนายน	224	216	8	96.43
กรกฎาคม	218	214	4	98.17
สิงหาคม	245	239	6	97.55
กันยายน	240	229	11	95.42
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	119	6	95.20
ธันวาคม	248	239	9	96.37
รวม	**1823**	**1698**	**125**	**95.50**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสมบานเกล็ดอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง สามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 95.50 %

ตารางที่ 5.47 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 5

JAN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8									19.2		22			25.8			27	25.8		22.7	24.5										37.7
9	33.5	32.8	0	0	27.4	20	24.7	23.9	42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2			38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5	0	0	52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4			81.7		58.2	50.6
11	85.1	56.9	0	0	62.5						79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2				97.1		58.2	50.6
12	100	68.2	0	0	72.7							60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6				90.8		37.2	82
13	81.7	83			79.4	78.9		63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4				67.7			90.8
14	71.5	25.4	0	0	68	67.4		66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8				54.6		18.7	106
15	28.5					56.8			32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5				51.7	64.3	46	75.9

FEB

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
time 8				26.1		26			20.2	21.3	22.5		24.1	22.5				21.4		21	23.6		21	20.6	23	20		22.4
9	63.4	59.9		54.2		55.6	32.7	50	60.6	58.3	48.5	18.2	52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8		48.1	50.2	21.4	46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1		67.1		79	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9	26.4	85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40	73.8	73.9	55	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	82.9
11	102	94.4		91.3		96.6	81	94.8	92.6	92.6	89	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	106	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	103		100		99.5	68	109	102	102	98.9	69.9	68	102	103	104	86.4	71.7	83.5	98.4	102	112	99.2	49.7	76.7	100	102	79
13	81.2	100		105		101	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101	65.9	90.4	103	94.9	97.3	74.1	97.3	100	96.1	101	89.4	49.7	61.1	101	81.1
14	62.4	98.5		96.7		93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82	94	94.1	86	90.9	84.1	89	94.9	93.6	92.6	58.3	51	53.3	88.6	68.4
15	43	77.5		68		70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39	76.6	55.1	72.5

MAR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	46.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	75.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

APR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	102	105	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	23.8	105	112	79.8	109	108	9	127	47.2	49.8
11	33.7	115	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43.1	124	64.2	55.9
12	21.3	119	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	94.5	133	107	129	127	125	125	64.6	60	63.8	47.5
14	108	110	106	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84.3	81.6	117	84.4	126	100	119	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100	97.8	90.2	101	83.4	109	103	97.7	98.7	51.8	0	101	49.8

สามารถใช้งานได้ ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.47 (ต่อ)

MAY

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.8	37.1	30.9	83.7	67.9	60.5	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.6	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

JUN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	0.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	6.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.8	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	11.2	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

AUG

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.6	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.47 (ต่อ)

SEP

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	[illegible]	23.4	43.5	43.5	[illegible]	53.8	35.4	[illegible]	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	[illegible]	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	[illegible]	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	[illegible]	48.5	30.8	58.3	[illegible]	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	29.5	39.8	22.1	79.3

OCT

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	8.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

NOV

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	47.1	17.7	21.3	23.9	[illegible]	43.4	34	37.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	[illegible]	34.9
9	55.4	[illegible]	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	[illegible]	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	[illegible]	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	[illegible]	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	[illegible]	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	[illegible]	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	[illegible]	[illegible]	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	[illegible]	19.4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

DEC

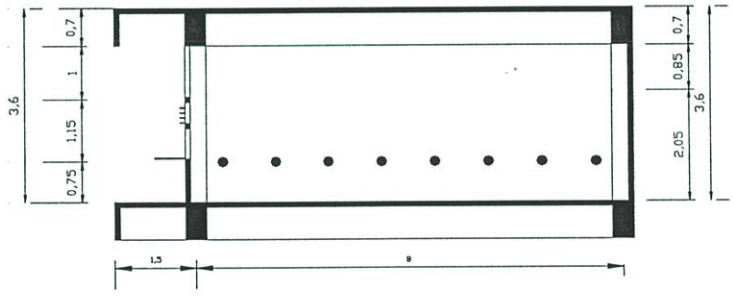
time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	[illegible]	[illegible]	33.1	[illegible]	36.8	31.6	30.6	36	[illegible]	[illegible]	[illegible]	18.5	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	[illegible]	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	[illegible]	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	[illegible]	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

5.10 ชุดการทดสอบประสิทธิภาพหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสม 2

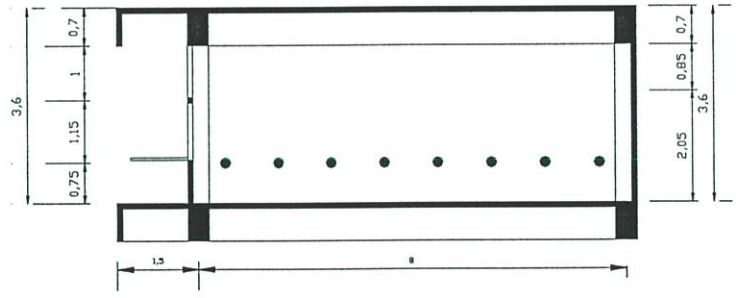
จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสมมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงดีขึ้น โดยแบบมีเกล็ดอยู่ด้านบน-บานเปิดด้านล่างมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าบานเปิดด้านล่างมีส่วนสำคัญในการช่วยเพิ่มค่าความสว่างภายใน ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน การทดลองนี้จึงทำการทดลองเพิ่มความลึกของบานเปิดด้านล่าง

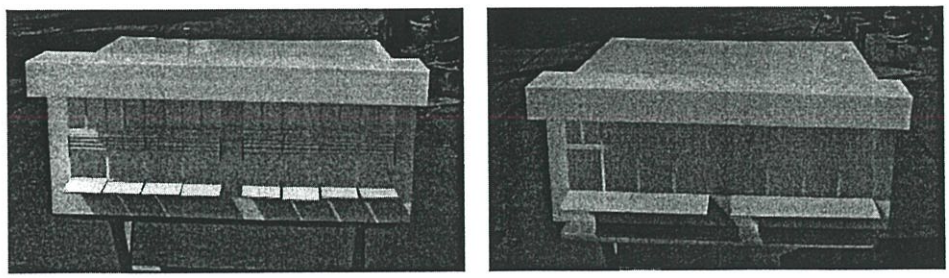
ทำการทดสอบหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสมระหว่างแบบ Blind Light Shelve กับแบบภายนอก และแบบภายนอกติดตั้งด้านล่างของช่องเปิด โดยกำหนดให้หิ้งสะท้อนแสงใช้พื้นผิวสีขาวเคลือบเงา ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถสะท้อนแสงได้ดีที่สุด เพื่อทำการทดสอบหารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุดดังนี้

1. <u>แบบเกล็ด 4 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง</u>



2. <u>แบบบานเปิดภายนอกอยู่ด้านล่าง</u>





รูปที่ 5.10 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

2. ตัวแปรควบคุม

รูปแบบอาคาร : กำหนดตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 8.0 x 8.0 x 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่มีความลึกมากที่สุดเพื่อสามารถนำผลที่ได้ไปปรับใช้ได้กับทุกแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ

ค่าการสะท้อนแสงภายใน : กำหนดให้ ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 80%
ผนัง มีค่าการสะท้อนแสง 50%
พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 30%

พื้นที่หน้าต่างสะท้อนแสง : มีพื้นที่ในการสะท้อนแสงเท่ากัน

พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง : กำหนดใช้กระดาษสีขาวเคลือบเงา

3. การกำหนดจุดมุ่งหมายในการทดลอง

การทดลองนี้ต้องการทดสอบเพื่อหาชนิดของหน้าต่างที่สามารถใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยกำหนดให้ทั่วทั้งห้องต้องมีค่าความสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ ที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (Working Plane) ในแนวราบภายใต้สภาพท้องฟ้าปกติ และมีการกระจายแสงอยู่ในเกณฑ์คือค่าความสว่างทุกตำแหน่งแตกต่างกันไม่เกิน 30%

4. สมมติฐานการทดลอง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบบานเปิดภายนอกอยู่ด้านล่าง น่าจะเป็นหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพดีที่กว่า เนื่องจากมีบานเปิดด้านล่างซึ่งมีพื้นที่ในการสะท้อนแสงมากน่าจะสามารถสะท้อนแสงได้ลึกกว่า

5. หุ่นจำลอง

หุ่นจำลอง : ทำการสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน ขนาดกว้าง 8.0 เมตร ลึก 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูงจากพื้น 2.9 เมตร ขนาดหน้าต่างและระดับความสูงในการติดตั้งยึดตามแบบกระทรวงศึกษาธิการ โดยกำหนดให้ขยายขนาดช่องแสงให้สูงขึ้นอีก 0.40 เมตรเพื่อประสิทธิภาพในการรับแสงมากยิ่งขึ้น โดยใช้มาตราส่วน 1 : 10 เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีพื้นผิวชนิดต่างๆ

6. การทดสอบและการเก็บข้อมูล

- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวข้างต้น โดยทดสอบวัดค่าความสว่างภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบตามระบบตาราง ขนาดตาราง 1 x 1 เมตร ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane)
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางตารางภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง

7. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

- นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ ประเมินผล ข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีเพื่อนำเสนอรูปแบบที่ดีที่สุดในการนำไปศึกษาต่อไป

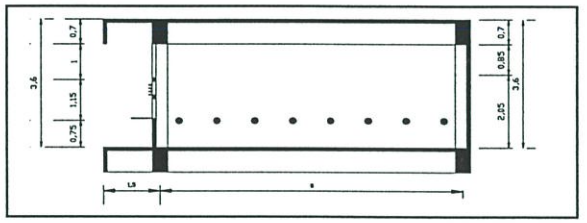
ตารางที่ 5.48 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

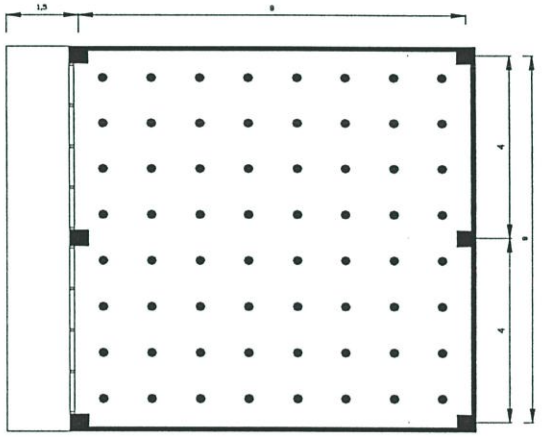
	D.F. [%]							
	8 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	9.45	8	6.16	5.16	4.51	4.02	3.78	3.63
2	9.43	7.98	6.14	5.15	4.5	4.01	3.77	3.62
3	9.44	7.99	6.15	5.16	4.49	4	3.76	3.63
4	9.46	8	6.15	5.17	4.51	4.02	3.77	3.64
5	9.45	8.01	6.17	5.17	4.5	4.03	3.78	3.65
6	9.43	8.03	6.16	5.16	4.49	4.03	3.79	3.63
7	9.46	8.02	6.15	5.15	4.48	4.04	3.78	3.64
8	9.47	8	6.14	5.16	4.49	4.02	3.77	3.65
เฉลี่ย	9.45	8	6.15	5.16	4.5	4.02	3.78	3.64

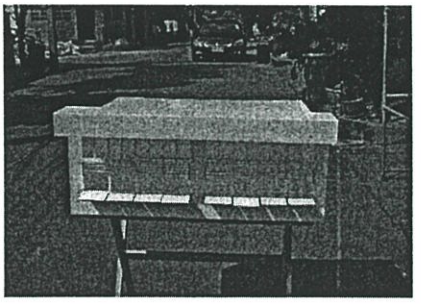
	D.F. [%]							
	9 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	9.36	7.92	6.05	5.05	4.42	3.91	3.67	3.54
2	9.35	7.91	6.04	5.03	4.4	3.9	3.66	3.53
3	9.36	7.9	6.05	5.02	4.41	3.88	3.65	3.54
4	9.37	7.9	6.04	5.01	4.39	3.89	3.63	3.55
5	9.38	7.91	6.06	5.02	4.41	3.9	3.64	3.55
6	9.38	7.92	6.05	5.03	4.43	3.91	3.65	3.56
7	9.36	7.93	6.06	5.05	4.42	3.92	3.65	3.54
8	9.37	7.93	6.04	5.04	4.43	3.93	3.66	3.53
เฉลี่ย	9.37	7.92	6.05	5.03	4.41	3.91	3.65	3.54

	D.F. [%]							
	10 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	9.4	7.96	6.12	5.11	4.45	3.96	3.72	3.57
2	9.38	7.96	6.1	5.1	4.43	3.94	3.7	3.56
3	9.37	7.95	6.11	5.09	4.44	3.95	3.71	3.55
4	9.39	7.95	6.12	5.08	4.45	3.94	3.72	3.56
5	9.38	7.94	6.13	5.1	4.46	3.93	3.73	3.57
6	9.38	7.94	6.14	5.11	4.47	3.93	3.73	3.58
7	9.37	7.93	6.14	5.12	4.47	3.92	3.72	3.57
8	9.36	7.95	6.15	5.12	4.46	3.91	3.71	3.56
เฉลี่ย	9.38	7.95	6.13	5.1	4.45	3.94	3.72	3.57

แบบเกล็ด 4 บาน อยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง



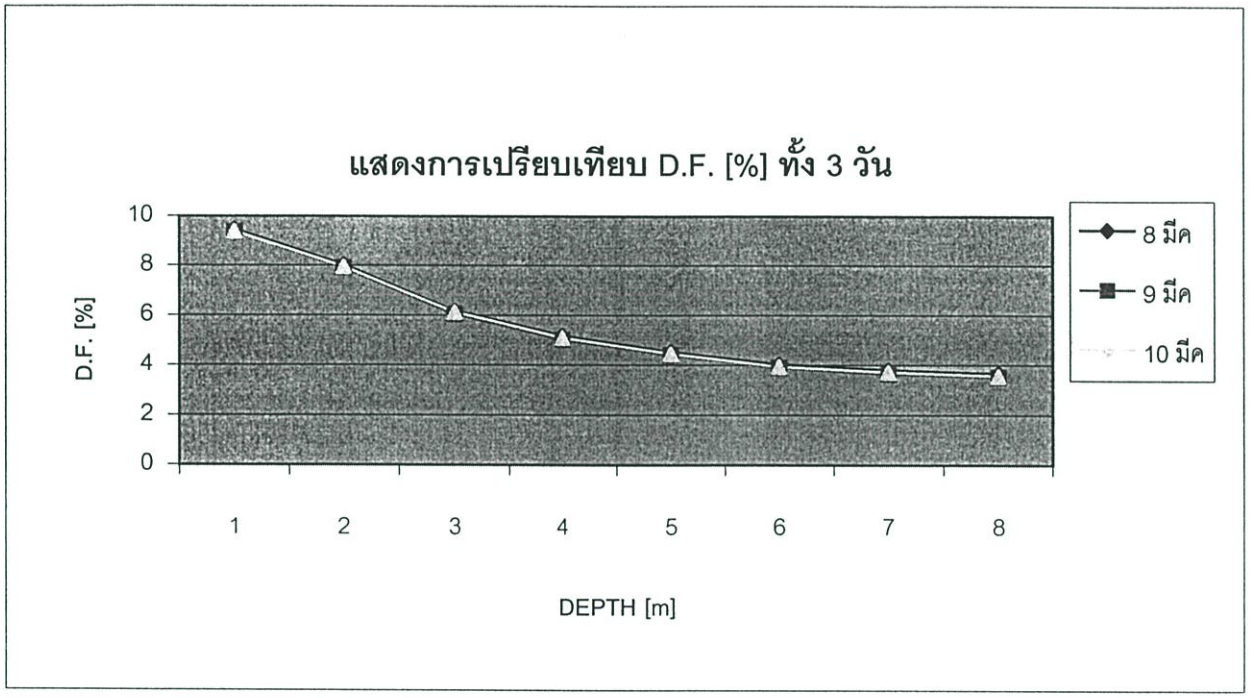




ตารางที่ 5.49 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

แบบเกลัด 4 บาน อยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง

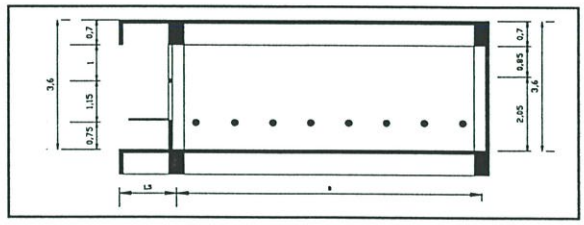
	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
8 มีค	9.45	8	6.15	5.16	4.5	4.02	3.78	3.64
9 มีค	9.37	7.92	6.05	5.03	4.41	3.91	3.65	3.54
10 มีค	9.38	7.95	6.13	5.1	4.45	3.94	3.72	3.57



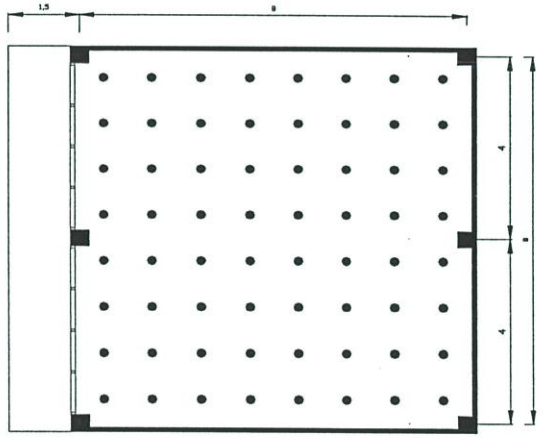
ตารางที่ 5.50 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%]							
	8 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	17.92	12.3	9.79	8.03	7.13	6.29	5.7	5.51
2	17.91	12.31	9.78	8.01	7.11	6.28	5.69	5.51
3	17.92	12.32	9.78	8	7.12	6.28	5.69	5.5
4	17.9	12.32	9.77	8.02	7.1	6.29	5.7	5.49
5	17.89	12.31	9.79	8.02	7.11	6.29	5.71	5.49
6	17.89	12.31	9.78	8.01	7.12	6.3	5.71	5.48
7	17.9	12.3	9.77	8.03	7.13	6.3	5.72	5.49
8	17.91	12.29	9.78	8.03	7.12	6.31	5.72	5.5
เฉลี่ย	17.91	12.31	9.78	8.02	7.12	6.29	5.71	5.5

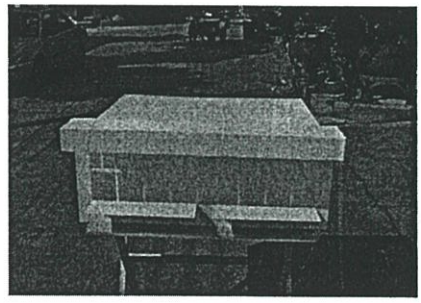
แบบบานเปิดอยู่ด้านล่าง



	D.F. [%]							
	9 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	17.8	12.21	9.68	7.92	7.04	6.17	5.58	5.42
2	17.79	12.2	9.69	7.91	7.03	6.16	5.56	5.41
3	17.8	12.21	9.7	7.9	7.03	6.17	5.58	5.42
4	17.81	12.22	9.7	7.91	7.04	6.18	5.57	5.41
5	17.81	12.21	9.69	7.92	7.05	6.18	5.57	5.4
6	17.82	12.22	9.69	7.92	7.04	6.19	5.58	5.4
7	17.82	12.23	9.68	7.93	7.04	6.18	5.59	5.41
8	17.83	12.22	9.69	7.92	7.05	6.17	5.58	5.42
เฉลี่ย	17.81	12.22	9.69	7.92	7.04	6.18	5.58	5.41



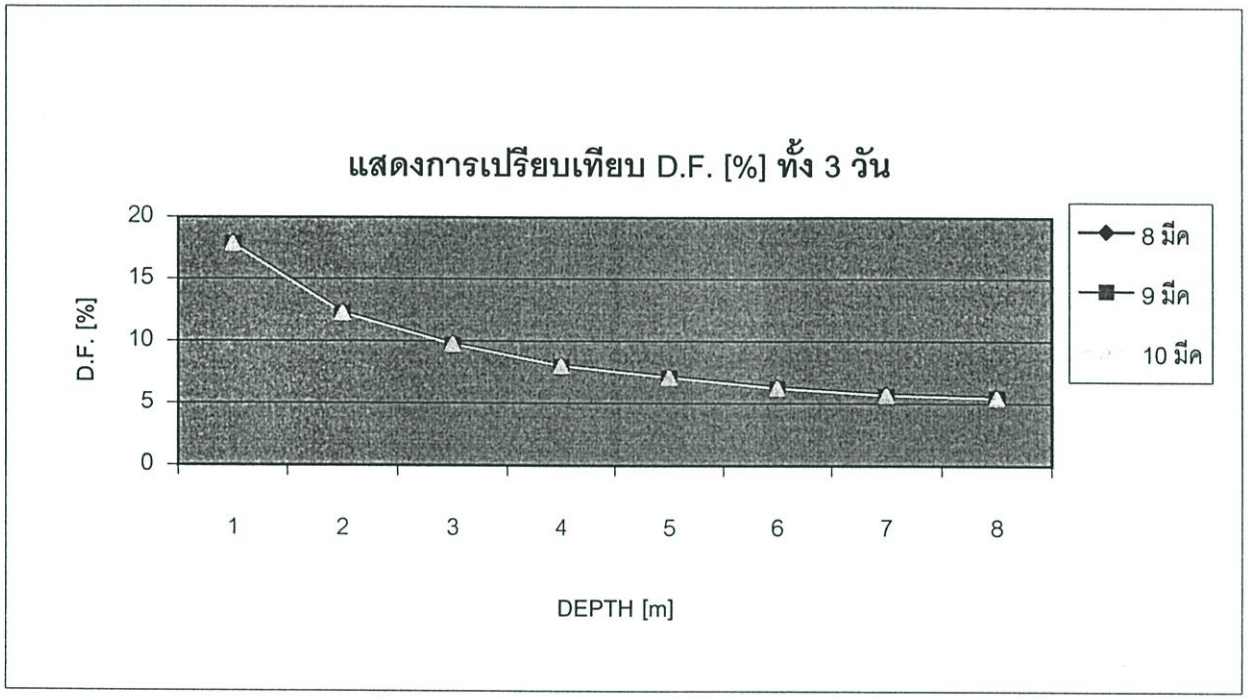
	D.F. [%]							
	10 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	17.86	12.25	9.73	7.98	7.09	6.23	5.65	5.45
2	17.84	12.25	9.72	7.99	7.08	6.22	5.65	5.44
3	17.85	12.26	9.74	8	7.07	6.21	5.66	5.43
4	17.86	12.27	9.75	8.01	7.08	6.22	5.64	5.43
5	17.86	12.26	9.75	8	7.08	6.22	5.64	5.44
6	17.85	12.26	9.74	8.01	7.09	6.23	5.66	5.45
7	17.85	12.27	9.74	8	7.1	6.24	5.66	5.45
8	17.86	12.27	9.75	7.98	7.08	6.24	5.67	5.44
เฉลี่ย	17.85	12.26	9.74	8	7.08	6.23	5.65	5.44



ตารางที่ 5.51 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
8 มค	17.91	12.31	9.78	8.02	7.12	6.29	5.71	5.5
9 มค	17.81	12.22	9.69	7.92	7.04	6.18	5.58	5.41
10 มค	17.85	12.26	9.74	8	7.08	6.23	5.65	5.44

แบบบานเปิดอยู่ด้านล่าง



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงทั้ง 2 แบบที่ทำการทดสอบจะใช้ค่า Daylight Factor เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยพิจารณาว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบใดสามารถสะท้อนแสงเข้าได้ลึกกว่ากัน

ตารางที่ 5.52 แสดงการเปรียบเทียบค่า D.F. เฉลี่ย ชุดการทดสอบที่ 6

แบบเกล็ด 4 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
8 มีค	9.45	8	6.15	5.16	4.5	4.02	3.78	3.64
9 มีค	9.37	7.92	6.05	5.03	4.41	3.91	3.65	3.54
10 มีค	9.38	7.95	6.13	5.1	4.45	3.94	3.72	3.57

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 38.09% ของแถวริมหน้าต่าง

แบบบานเปิดภายนอกอยู่ด้านล่าง

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
8 มีค	17.91	12.31	9.78	8.02	7.12	6.29	5.71	5.5
9 มีค	17.81	12.22	9.69	7.92	7.04	6.18	5.58	5.41
10 มีค	17.85	12.26	9.74	8	7.08	6.23	5.65	5.44

แถวในสุดเฉลี่ยคิดเป็น 30.52% ของแถวริมหน้าต่าง

จากการทดสอบพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบเกล็ด 4 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่างสามารถสะท้อนแสงได้ดีขึ้นจากแบบเกล็ด 6 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง ซึ่งมีค่าD.F. = 3.06% เป็น D.F. = 3.54% และเมื่อบานเปิดด้านล่างมีความลึกมากขึ้นตามแบบบานเปิดภายนอกอยู่ด้านล่างประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเป็น D.F. = 5.41% แสดงให้เห็นว่าหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีบานเปิดอยู่ด้านล่างตามแนวขอบล่างของหน้าต่าง หากมีความลึกมากขึ้นประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

อย่างไรก็ดีจากผลการทดลองแม้ว่าค่า Daylight Factor จะมีค่าสูงมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของค่าความสว่างแต่ละตำแหน่งพบว่า แบบเกล็ด 6 บานอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่างและแบบบานเปิดภายนอกอยู่ด้านล่าง มีค่าความสว่างตำแหน่งที่มีค่าต่ำสุดคิดเป็น 38.09% และ 30.52% ของตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดตามลำดับ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี

ชุดการทดลองที่ 6.1 เพื่อหารูปแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงประเภท Blind Light Shelve แบบผสมบานเกล็ดอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่างมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนโดยมีค่า D.F. ต่ำที่สุดเท่ากับ 3.53 % ซึ่งทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิ-ภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 14,164 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ตารางที่ 5.53 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สอยตลอดทั้งปี ชุดการทดสอบที่ 6.1

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	179	17	91.33
กุมภาพันธ์	215	208	7	96.74
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	107	5	95.54
มิถุนายน	224	218	6	97.32
กรกฎาคม	218	216	2	99.08
สิงหาคม	245	240	5	97.96
กันยายน	240	234	6	97.50
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	121	4	96.80
ธันวาคม	248	240	8	96.77
รวม	**1823**	**1763**	**60**	**96.71**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบผสมบานเกล็ดอยู่ด้านบน-บานเปิดอยู่ด้านล่าง สามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 96.71 % ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก

ตารางที่ 5.54 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 6.1

JAN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8		14.5							19.2	17	22	14.5		25.8			27	25.8	15.4	22.7	24.5	18	15.3	17.1		4.3	2.3	17.3	15.5	14.8	37.7
9	33.5	32.8			27.4	20	24.7	23.9	42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2			38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5			52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4			81.7		58.2	50.6
11	85.1	56.9			62.5						79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2				97.1		58.2	50.6
12	100	68.2			72.7							60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6				90.8		37.2	82
13	81.7	83			79.4	78.9		63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4				67.7			90.8
14	71.5	25.4			68	67.4		66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8				54.6		18.7	106
15	28.5					56.8			32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5				51.7	64.3	46	75.9

FEB

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
time 8	17.6			26.1		26		14.3	20.2	21.3	22.5		24.1	22.5	15.6		17	21.4		21	23.6	16.9	21	20.6	23	20	17.1	22.4
9	63.4	59.9		54.2		55.6	32.7	50	60.6	58.3	48.5	18.2	52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8	17.9	48.1	50.2	21.4	46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1		67.1		79	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9	26.4	85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40	73.8	73.9	55	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	82.9
11	102	94.4		91.3		96.6	81	94.8	92.6	92.6	89	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	106	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	103	16.7	100		99.5	68	109	102	102	98.9	69.9	68	102	103	104	86.4	71.7	83.5	98.4	102	112	99.2	49.7	76.7	100	102	79
13	81.2	100	38.6	105		101	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101	65.9	90.4	103	94.9	97.3	74.1	97.3	100	96.1	101	89.4	49.7	61.1	101	81.1
14	62.4	98.5	24.9	96.7		93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82	94	94.1	86	90.9	84.1	89	94.9	93.6	92.6	58.3	51	53.3	88.6	68.4
15	43	77.5	27	68		70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39	76.6	55.1	72.5

MAR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	46.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	75.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

APR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	102	105	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	23.8	105	112	79.8	109	108	9	127	47.2	49.8
11	33.7	115	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43.1	124	64.2	55.9
12	21.3	119	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	94.5	133	107	129	127	125	125	64.6	60	63.8	47.5
14	108	110	106	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84.3	81.6	117	84.4	126	100	119	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100	97.8	90.2	101	83.4	109	103	97.7	98.7	51.8	0	101	49.8

สามารถใช้งานได้ ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.54 (ต่อ)

MAY

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	0	37.1	30.9	83.7	67.9	60.5	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	0	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	0	67.2	25.1	62.6	0	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

JUN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	0	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.6	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	12	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

AUG

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.6	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.54 (ต่อ)

SEP

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.8	23.4	43.5	43.5	[illegible]	53.8	35.4	[illegible]	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	[illegible]	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	16	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.6	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	29.5	39.8	22.1	79.3

OCT

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	8.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

NOV

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	14.5	[illegible]	[illegible]	47.1	17.7	21.3	23.9	[illegible]	43.4	34	37.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
9	55.4	[illegible]	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	[illegible]	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	[illegible]	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	[illegible]	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	[illegible]	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	[illegible]	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	[illegible]	[illegible]	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	[illegible]	19.4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

DEC

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	14.5	[illegible]	33.1	[illegible]	36.8	31.6	30.6	36	[illegible]	[illegible]	[illegible]	18.5	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	[illegible]	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	[illegible]	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	[illegible]	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี

ชุดการทดลองที่ 6.2 เพื่อหารูปแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงประเภท Exterior Light Shelve แบบบานเปิดภายนอกอยู่ด้านล่าง มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียน โดยมีค่า D.F. ต่ำสุดเท่ากับ 5.40 % ซึ่งทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 9,259 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ตารางที่ 5.55 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สอยตลอดทั้งปี ชุดการทดสอบที่ 6.2

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	187	9	95.41
กุมภาพันธ์	215	214	1	99.53
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	110	2	98.21
มิถุนายน	224	222	2	99.11
กรกฎาคม	218	218	0	100.00
สิงหาคม	245	243	2	99.18
กันยายน	240	236	4	98.33
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	124	1	99.20
ธันวาคม	248	248	0	99.19
รวม	**1823**	**1800**	**23**	**98.74**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบบานเปิดภายนอกอยู่ด้านล่าง สามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 98.74 % ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก

ตารางที่ 5.56 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 6.2

JAN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	9.5	14.5	0	0	0	11.2	0	11.6	19.2	17	22	14.5	0	25.8	10.8	0	27	25.8	15.4	22.7	24.5	18	15.3	17.1	13	4.3	2.3	17.3	15.5	14.8	37.7
9	33.5	32.8	0	0	27.4	20	24.7	23.9	42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2	0	0	38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5	0	0	52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4	0	9.4	81.7	0	58.2	50.6
11	85.1	56.9	0	0	62.5	0	0	0	0	0	79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2	0	0	0	97.1	0	58.2	50.6
12	100	68.2	0	0	72.7	0	0	0	0	0	0	60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6	0	0	0	90.8	0	37.2	82
13	81.7	83	0	0	79.4	78.9	0	63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4	0	0	0	67.7	0	0	90.8
14	71.5	25.4	0	0	68	67.4	0	66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8	0	0	0	54.6	0	18.7	106
15	28.5	0	0	0	0	56.8	0	0	32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5	0	0	11.4	51.7	64.3	46	75.9

FEB

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
time 8	17.6	12.3	0	26.1	0	26	11.5	14.3	20.2	21.3	22.5	0	24.1	22.5	15.6	13.1	17	21.4	13.9	21	23.6	16.9	21	20.6	23	20	17.1	22.4
9	63.4	59.9	9.7	54.2	0	55.6	32.7	50	60.6	58.3	48.5	18.2	52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8	17.9	48.1	50.2	21.4	46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1	9.9	67.1	0	79	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9	26.4	85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40	73.8	73.9	55	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	82.9
11	102	94.4	11	91.3	0	96.6	81	94.8	92.6	92.6	89	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	106	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	103	16.7	100	0	99.5	68	109	102	102	98.9	69.9	68	102	103	104	86.4	71.7	83.5	98.4	102	112	99.2	49.7	76.7	100	102	79
13	81.2	100	38.6	105	0	101	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101	65.9	90.4	103	94.9	97.3	74.1	97.3	100	96.1	101	89.4	49.7	61.1	101	81.1
14	62.4	98.5	24.9	96.7	0	93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82	94	94.1	86	90.9	84.1	89	94.9	93.6	92.6	58.3	51	53.3	88.6	68.4
15	43	77.5	27	68	0	70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39	76.6	55.1	72.5

MAR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	46.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	75.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

APR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	102	105	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	23.8	105	112	79.8	109	108	9	127	47.2	49.8
11	33.7	115	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43.1	124	64.2	55.9
12	21.3	119	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	94.5	133	107	129	127	125	125	64.6	60	63.8	47.5
14	108	110	106	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84.3	81.6	117	84.4	126	100	119	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100	97.8	90.2	101	83.4	109	103	97.7	98.7	51.8	0	101	49.8

สามารถใช้งานได้ ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.56 (ต่อ)

MAY

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.8	37.1	30.9	83.7	67.9	60.5	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.6	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	0	67.2	25.1	62.6	0	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

JUN

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	0	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	0	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	12	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

AUG

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.6	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	91.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.56 (ต่อ)

SEP

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.8	23.4	43.5	43.5	11.8	53.8	35.4	[illegible]	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	[illegible]	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	16	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.6	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	[illegible]	[illegible]	29.5	39.8	22.1	79.3

OCT

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	8.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

NOV

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	14.5	[illegible]	11.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.6	43.4	34	37.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
9	55.4	[illegible]	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	[illegible]	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	[illegible]	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	[illegible]	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	[illegible]	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	[illegible]	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	[illegible]	[illegible]	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	10.1	19.4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

DEC

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	35.6	36.7	14.5	10.6	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	11.4	13.9	[illegible]	18.5	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	11.8	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	[illegible]	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า

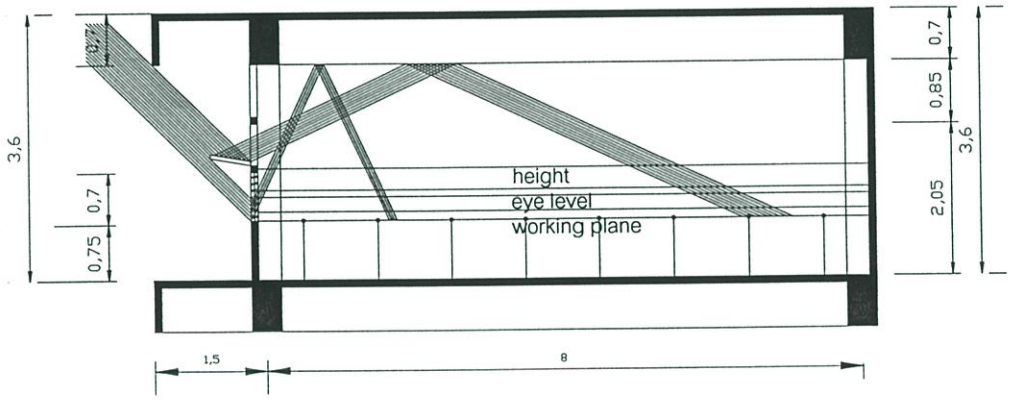
1. หน้าต่างสะท้อนแสงแบบที่มีบานเปิดด้านล่างตามแนวขอบล่างของหน้าต่าง สามารถสะท้อนแสงโดยเพิ่มค่าความสว่างภายในได้ดีกว่าแบบอื่นๆ และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นหากบานหน้าต่างมีความลึกมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพในการกระจายแสงจะลดต่ำลงตามความลึกของบานหน้าต่าง
2. หน้าต่างแบบม่านสะท้อนแสง [Blind light Shelve] ในขณะที่มีพื้นที่ในการสะท้อนแสงเท่ากัน หากแบ่งจำนวนบานให้มากขึ้นประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงและการกระจายแสงจะสม่ำเสมอมากขึ้นตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาถึงการนำหน้าต่างสะท้อนแสงไปใช้งานจริงจะเห็นได้ว่าแม้จะสามารถประหยัดพลังงานแสงประดิษฐ์ได้จริง แต่มีผลกระทบต่อภาวะสบายทางสายตาของผู้ใช้สอย คือค่าการกระจายตัวของแสงแตกต่างกันมากเกินไป อีกทั้งหน้าต่างที่ทดลองบางรูปแบบโดยเฉพาะแบบที่มีบานเปิดด้านล่างจะสะท้อนแสงเข้าตาของผู้ใช้สอยที่นั่งบริเวณริมหน้าต่างอีกด้วย ดังนั้นจึงทำการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงโดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองข้างต้นมาประกอบการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาการกระจายตัวของแสงภายในห้องเรียน และป้องกันแสงบาดตาผู้ใช้สอยบริเวณริมหน้าต่างอีกด้วย ซึ่งจะเสนอการทดลองในการทดลองต่อไป

5.11 ชุดการทดสอบหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์

จากผลการทดลองข้างต้นในการทดลองนี้จะทำการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงเพื่อแก้ปัญหาในการกระจายแสงและป้องกันแสงบาดตาผู้ใช้สอย โดยทำการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงดังนี้

1. แนวทางในการออกแบบ



การป้องกันแสงบาดตา

การป้องกันแสงบาดตาถูกออกแบบมุมสะท้อนชัน เพื่อให้แสงสะท้อนพ้นตำแหน่งระดับสายตาเมื่อผู้ใช้สอยนั่งและยืนที่ริมหน้าต่าง ระดับสายตาขณะนั่งระหว่าง 0.87 – 1.07 เมตร

ระดับสายตาขณะยืนระหว่าง 1.16 – 1.42 เมตร

(เด็กไทย อายุระหว่าง 7 – 12 ปี)

การกระจายตัวของแสง

1. ด้านบนใช้หน้าต่างบานพับแบบเปิดลงเนื่องจาก
   - ต้องยื่นพ้นแนวกันสาดเพื่อมีพื้นที่ในการสะท้อนแสงและออกแบบมุมให้สะท้อนเข้าสู่ด้านในสุดของห้องเพื่อเพิ่มค่าความสว่างและลดความแตกต่างระหว่างแถวริมหน้าต่างกับแถวในสุด
   - บานหน้าต่างจะช่วยบังแดดบริเวณริมหน้าต่างลดค่าความสว่างและลดความแตกต่างระหว่างแถวริมหน้าต่างกับแถวในสุดลงอีกทางหนึ่ง
2. ด้านล่างใช้เกล็ดเนื่องจาก
   - จากผลการทดลองหน้าต่างแบบเกล็ดจะกระจายแสงได้ดี
   - เกล็ดจะทำหน้าที่บังแสงบริเวณริมหน้าต่างเพื่อช่วยลดความแตกต่างเช่นกัน
   - เกล็ดถูกออกแบบให้มุมสะท้อนชันเพื่อป้องกันแสงบาดตาผู้ใช้สอยบริเวณริมหน้าต่าง

2. ตัวแปรควบคุม

รูปแบบอาคาร : กำหนดตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 8.0 x 8.0 x 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่มีความลึกมากที่สุดเพื่อสามารถนำผลที่ได้ไปปรับใช้ได้กับทุกแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ

ค่าการสะท้อนแสงภายใน : กำหนดให้ ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 80%
ผนัง มีค่าการสะท้อนแสง 50%
พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 30%

พื้นที่หน้าต่างสะท้อนแสง : มีพื้นที่ในการสะท้อนแสงเท่ากัน

พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง : กำหนดใช้กระดาษสีขาวเคลือบเงา

3. การกำหนดจุดมุ่งหมายในการทดลอง

การทดลองนี้ต้องการทดสอบเพื่อหาชนิดของหน้าต่างที่สามารถใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยกำหนดให้ทั่วทั้งห้องต้องมีค่าความสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ ที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (Working Plane) ในแนวราบภายใต้สภาพท้องฟ้าปกติ และมีการกระจายแสงอยู่ในเกณฑ์คือค่าความสว่างทุกตำแหน่งแตกต่างกันไม่เกิน 30%

4. สมมติฐานการทดลอง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์จะมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงอยู่ในเกณฑ์ดี แต่การกระจายตัวของแสงอาจจะยังไม่อยู่ในเกณฑ์ความแตกต่างไม่เกิน 30%

5. หุ่นจำลอง

หุ่นจำลอง : ทำการสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน ขนาดกว้าง 8.0 เมตร ลึก 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูงจากพื้น 2.9 เมตร ขนาดหน้าต่างและระดับความสูงในการติดตั้งยึดตามแบบกระทรวงศึกษาธิการ โดยกำหนดให้ขยายขนาดช่องแสงให้สูงขึ้นอีก 0.40 เมตรเพื่อประสิทธิภาพในการรับแสงมากยิ่งขึ้น โดยใช้มาตราส่วน 1 : 10 เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีพื้นผิวชนิดต่างๆ

6. การทดสอบและการเก็บข้อมูล

- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวข้างต้น โดยทดสอบวัดค่าความสว่างภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบตามระบบตาราง ขนาดตาราง 1 x 1 เมตร ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane)
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางตารางภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง

7. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

- นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ ประเมินผล ข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีเพื่อนำเสนอรูปแบบที่ดีที่สุดในการนำไปศึกษาต่อไป

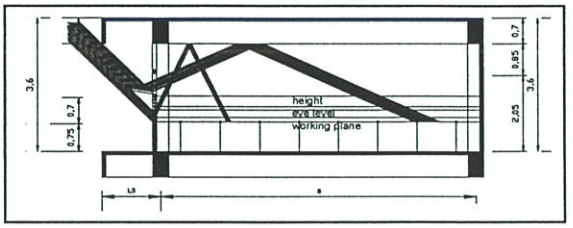
ตารางที่ 5.57 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

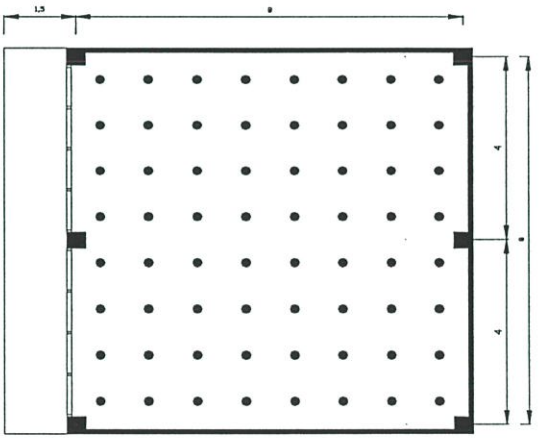
	D.F. [%]							
	29 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.25	5.4	3.99	3.29	2.93	2.7	2.47	2.36
2	7.27	5.39	3.97	3.28	2.92	2.68	2.45	2.34
3	7.26	5.4	3.98	2.37	2.9	2.69	2.46	2.35
4	7.24	5.41	4.01	3.29	2.91	2.71	2.47	2.37
5	7.25	5.38	4	3.3	2.92	2.7	2.48	2.36
6	7.23	5.39	4.02	3.31	2.93	2.71	2.46	2.34
7	7.24	5.41	3.97	3.32	2.94	2.72	2.45	2.35
8	7.23	5.4	3.98	3.31	2.95	2.71	2.46	2.36
เฉลี่ย	7.25	5.4	3.99	3.3	2.93	2.7	2.46	2.35

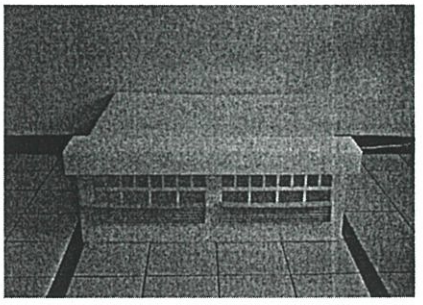
	D.F. [%]							
	30 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.31	5.44	4.05	3.33	2.98	2.74	2.52	2.4
2	7.3	5.43	4.03	3.32	2.99	2.75	2.51	2.39
3	7.2	5.42	4.04	3.34	2.98	2.76	2.5	2.38
4	7.29	5.43	4.06	3.35	2.97	2.74	2.52	2.4
5	7.29	5.45	4.03	3.33	2.99	2.75	2.52	2.41
6	7.3	5.44	4.05	3.31	3.01	2.73	2.53	2.39
7	7.28	5.43	4.04	3.32	3	2.74	2.52	2.38
8	7.29	5.42	4.03	3.31	2.99	2.75	2.51	2.39
เฉลี่ย	7.3	5.43	4.04	3.33	2.99	2.75	2.52	2.39

	D.F. [%]							
	31 MAR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	7.28	5.43	4.03	3.31	2.95	2.72	2.5	2.38
2	7.27	5.42	4.04	3.3	2.94	2.71	2.49	2.37
3	7.26	5.41	4.03	3.29	2.95	2.7	2.48	2.38
4	7.27	5.42	4.03	3.3	2.96	2.72	2.48	2.39
5	72.8	5.44	4.04	3.31	2.96	2.73	2.49	2.39
6	7.29	5.43	4.02	3.3	2.94	2.73	2.47	2.4
7	7.28	5.43	4.03	3.29	2.95	2.71	2.48	2.38
8	7.27	5.42	4.04	3.3	2.93	2.71	2.5	2.37
เฉลี่ย	7.28	5.43	4.03	3.3	2.95	2.72	2.49	2.38

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์



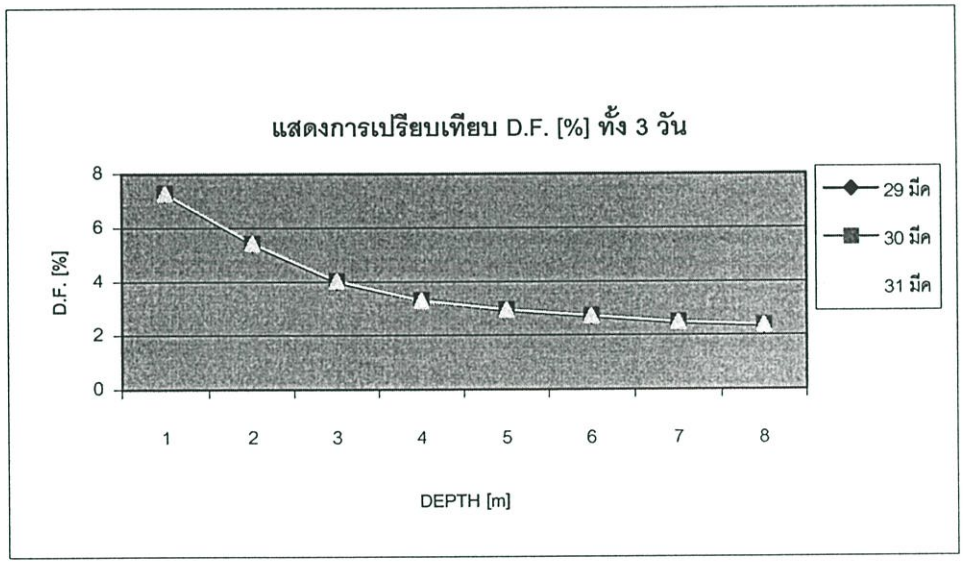




ตารางที่ 5.58 แสดงการค่า Daylight Factor [%] เฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 3 วัน หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
29 มีค	7.25	5.4	3.99	3.3	2.93	2.7	2.46	2.35
30 มีค	7.3	5.43	4.04	3.33	2.99	2.75	2.52	2.39
31 มีค	7.28	5.43	4.03	3.3	2.95	2.72	2.49	2.38

ค่าความสว่างเฉลี่ยของแถวในสุดคิดเป็น 32.60 % ของค่าความสว่างแถวริมหน้าต่าง



จากผลการทดลองที่ 5.11 หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ที่ถูกออกแบบมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือสามารถใช้แสงธรรมชาติในการให้แสงสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ทั่วทั้งห้องได้ 92.81 % ตลอดทั้งปี แต่ค่าการกระจายแสงยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี คือ ค่าความสว่างเฉลี่ยของแถวในสุดคิดเป็น 32.60 % ของค่าความสว่างแถวริมหน้าต่าง ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ควรเป็นคือต้องไม่น้อยกว่า 70 %

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเสนอแนวทางออกแบบเพื่อแก้ปัญหาการกระจายตัวของแสงไม่สม่ำเสมอในการทดลองต่อไป

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี

ชุดการทดลองที่ 7 เพื่อหารูปแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนโดยมีค่า D.F. ต่ำสุดเท่ากับ 2.34 % ซึ่งทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 21,368 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ตารางที่ 5.59 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สอยตลอดทั้งปี ชุดการทดสอบที่ 7

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	167	29	85.20
กุมภาพันธ์	215	192	23	89.30
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	100	12	89.29
มิถุนายน	224	215	9	95.98
กรกฎาคม	218	212	6	97.25
สิงหาคม	245	231	6	94.29
กันยายน	240	225	15	93.75
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	114	11	91.20
ธันวาคม	248	236	12	95.16
รวม	**1823**	**1692**	**131**	**92.81**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ สามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 92.81 % ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก

ตารางที่ 5.60 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 7

JAN

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8											22			25.8			27	25.8		22.7	24.5										37.7
9	33.5	32.8			27.4		24.7	23.9	42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2			38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5			52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4			81.7		58.2	50.6
11	85.1	56.9			62.5						79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2				97.1		58.2	50.6
12	100	68.2			72.7							60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6				90.8		37.2	82
13	81.7	83			79.4	78.9		63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4				67.7			90.8
14	71.5	25.4			68	67.4		66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8				54.6			106
15	28.5					56.8			32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5				51.7	64.3	46	75.9

FEB

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
8				26.1		26					22.5		24.1	22.5				21.4			23.6				23			22.4
9	63.4	59.9		54.2		55.6	32.7	50	60.6	58.3	48.5		52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8		48.1	50.2	21.4	46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1		67.1		79	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9	26.4	85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40	73.8	73.9	55	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	82.9
11	102	94.4		91.3		96.6	81	94.8	92.6	92.6	89	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	106	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	103		100		99.5	68	109	102	102	98.9	69.9	68	102	103	104	86.4	71.7	83.5	98.4	102	112	99.2	49.7	76.7	100	102	79
13	81.2	100		105		101	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101	65.9	90.4	103	94.9	97.3	74.1	97.3	100	96.1	101	89.4	49.7	61.1	101	81.1
14	62.4	98.5		96.7		93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82	94	94.1	86	90.9	84.1	89	94.9	93.6	92.6	58.3	51	53.3	88.6	68.4
15	43	77.5		68		70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39	76.6	55.1	72.5

MAR

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	46.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	75.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

APR

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	102	105	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	23.8	105	112	79.8	109	108	9	127	47.2	49.8
11	33.7	115	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43.1	124	64.2	55.9
12	21.3	119	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	94.5	133	107	129	127	125	125	64.6	60	63.8	47.5
14	108	110	106	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84.3	81.6	117	84.4	126	100	119	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100	97.8	90.2	101	83.4	109	103	97.7	98.7	51.8	0	101	49.8

สามารถใช้งานได้

ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.60 (ต่อ)

MAY

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.8	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.8	37.1	30.9	83.7	67.9	60.5	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	11.8	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	16.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.8	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

JUN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.7	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.5	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	6.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	18.6	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.8	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	12	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

AUG

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	18.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.8	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	10.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.60 (ต่อ)

SEP

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	[illegible]	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	[illegible]	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	[illegible]	23.4	43.5	43.5	[illegible]	53.8	35.4	[illegible]	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	[illegible]	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	[illegible]	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	[illegible]	48.5	30.8	58.3	[illegible]	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	[illegible]	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	[illegible]	47.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	29.5	39.8	22.1	79.3

OCT

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	8.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

NOV

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	47.1	[illegible]	[illegible]	23.9	[illegible]	43.4	34	37.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	[illegible]	34.9
9	55.4	[illegible]	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	[illegible]	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	[illegible]	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	[illegible]	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	[illegible]	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	[illegible]	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	42.1	[illegible]	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	[illegible]	[illegible]	27.3	41.2	37.6	[illegible]	64.6	61.8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

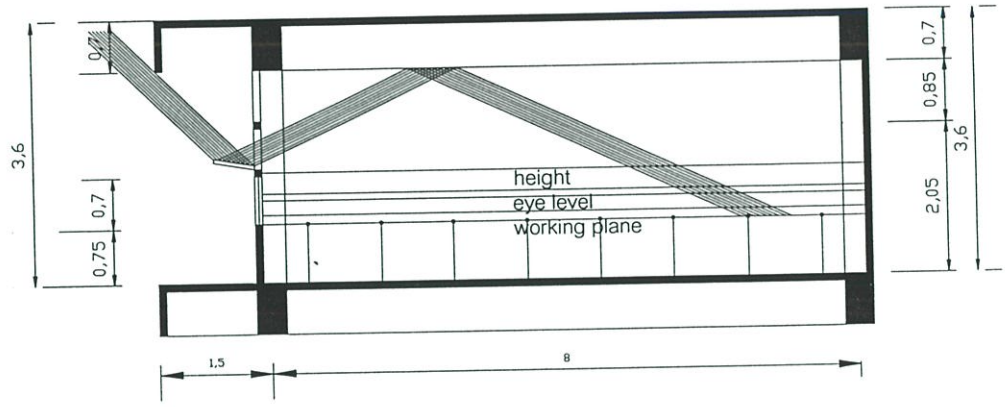
DEC

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	[illegible]	[illegible]	33.1	[illegible]	36.8	31.6	30.6	36	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	[illegible]	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	[illegible]	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	[illegible]	22.8	[illegible]	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	[illegible]	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

5.12 ชุดการทดสอบหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ 2

จากผลการทดลอง 5.11 ในการทดลองนี้จะทำการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงเพื่อแก้ปัญหาในการกระจายแสงที่ไม่สม่ำเสมอ โดยทำการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงดังนี้

1. แนวทางในการออกแบบ



จากผลการทดลอง 5.11 พบว่าค่าความสว่างแต่ละตำแหน่งยังมีความแตกต่างกันมากกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งจะทำให้เกิดภาวะไม่สบายทางสายตา แนวทางหนึ่งที่จะสามารถแก้ปัญหาได้คือต้องเพิ่มแสงประดิษฐ์ในส่วนแถวในเพื่อลดความแตกต่างระหว่างแถวริมหน้าต่างกับส่วนในของห้อง แต่จากค่าความสว่างที่วัดได้จากการทดลอง 5.11 หากเพิ่มแสงประดิษฐ์ส่วนในของห้องเพื่อลดค่าความแตกต่าง ค่าความสว่างจะสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็นและเกิดภาวะไม่สบายทางสายตาอีกด้วย

ดังนั้นแนวทางในการแก้ปัญหาการกระจายแสงไม่สม่ำเสมอคือ

1. ลดค่าความสว่างบริเวณริมหน้าต่างด้วยการไม่ติดหน้าต่างแบบม่านส่วนล่าง เพื่อลดปริมาณแสงที่จะสะท้อนเข้ามาในส่วนหน้า (ดูรูป 5.11) โดยให้มีเพียงหน้าต่างสะท้อนแสงด้านบนเพื่อสะท้อนแสงเข้าส่วนในของห้อง
2. ลดค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดานจาก 80% เหลือ 50% เนื่องจากต้องการลดค่าความสว่างส่วนในของห้องลงให้ต่ำกว่าเกณฑ์ 500 ลักซ์ เพื่อใช้แสงประดิษฐ์เป็นตัวช่วยในกาควบคุมให้ค่าความสว่างอยู่ในเกณฑ์ 500 ลักซ์ ทั่วทั้งห้อง และช่วยควบคุมให้ทุกตำแหน่งมีค่าความสว่างต่างกันไม่เกิน 30% เพื่อให้เกิดภาวะสบายทางสายตา

2. ตัวแปรควบคุม

รูปแบบอาคาร : กำหนดตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 8.0 x 8.0 x 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่มีความลึกมากที่สุดเพื่อสามารถนำผลที่ได้ไปปรับใช้ได้กับทุกแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ

ค่าการสะท้อนแสงภายใน : กำหนดให้ ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 50%
ผนัง มีค่าการสะท้อนแสง 50%
พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 30%

พื้นที่หน้าต่างสะท้อนแสง : มีพื้นที่ในการสะท้อนแสงเท่ากัน

พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง : กำหนดใช้กระดาษสีขาวเคลือบเงา

3. การกำหนดจุดมุ่งหมายในการทดลอง

การทดลองนี้ต้องการทดสอบเพื่อหาชนิดของหน้าต่างที่สามารถใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยกำหนดให้ทั่วทั้งห้องต้องมีค่าความสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ ที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (Working Plane) ในแนวราบภายใต้สภาพท้องฟ้าปกติ และมีการกระจายแสงอยู่ในเกณฑ์คือค่าความสว่างทุกตำแหน่งแตกต่างกันไม่เกิน 30%

4. สมมติฐานการทดลอง

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์จะมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงอยู่ในเกณฑ์ดี และการกระจายตัวของแสงอยู่ในเกณฑ์ความแตกต่างไม่เกิน 30%

5. หุ่นจำลอง

หุ่นจำลอง : ทำการสร้างหุ่นจำลองโดยจำลองห้องเรียน ขนาดกว้าง 8.0 เมตร ลึก 8.0 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูงจากพื้น 2.9 เมตร ขนาดหน้าต่างและระดับความสูงในการติดตั้งยึดตามแบบกระทรวงศึกษาธิการ โดยกำหนดให้ขยายขนาดช่องแสงให้สูงขึ้นอีก 0.40 เมตรเพื่อประสิทธิภาพในการรับแสงมากยิ่งขึ้น โดยใช้มาตราส่วน 1 : 10 เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีพื้นผิวชนิดต่างๆ

6. การทดสอบและการเก็บข้อมูล

- ทดสอบหุ่นจำลองที่ออกแบบเพื่อทดสอบชุดการทดสอบดังกล่าวข้างต้น โดยทดสอบวัดค่าความสว่างภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง
- การวัดค่าความสว่างภายในของหุ่นจำลอง ทำการวัดในแนวราบตามระบบตาราง ขนาดตาราง 1 x 1 เมตร ที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับ 0.75 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง ซึ่งเป็นระดับการใช้สอย (Working Plane)
- ทำการการติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้กึ่งกลางตารางภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง
- การวัดค่าความสว่างภายในทำการวัดพร้อมกับค่าความสว่างภายนอก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่า D.F. ภายในหุ่นจำลอง

7. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

- นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ ประเมินผล ข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบต่างๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีเพื่อนำเสนอรูปแบบที่ดีที่สุดในการนำไปศึกษาต่อไป

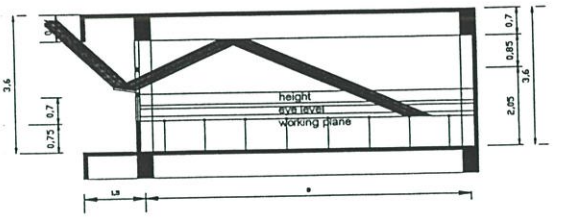
ตารางที่ 5.61 แสดงผลการวัดค่า Daylight Factor [%]

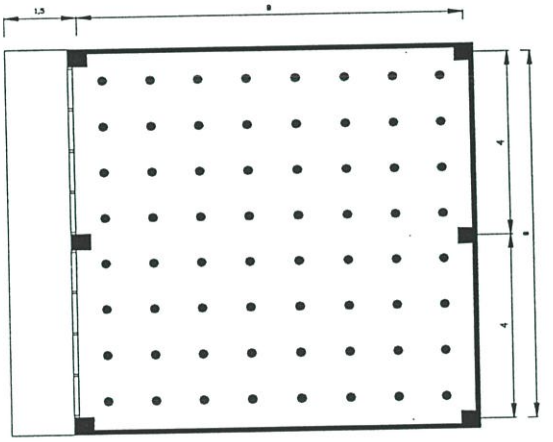
	D.F. [%]							
	10 APR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	3.92	3.8	3.05	2.74	2.4	2.18	2.03	2
2	3.92	3.78	3.05	2.74	2.39	2.16	2.02	2
3	3.93	3.79	3.04	2.73	2.39	2.17	2.01	2.01
4	3.92	3.8	3.05	2.73	2.41	2.18	2.03	2.02
5	3.93	3.81	3.06	2.75	2.41	2.19	2.04	2.01
6	3.91	3.81	3.06	2.74	2.4	2.19	2.04	2.01
7	3.92	3.8	3.04	2.75	2.39	2.18	2.04	2
8	3.91	3.8	3.05	2.73	2.41	2.17	2.02	2
เฉลี่ย	3.92	3.8	3.05	2.74	2.4	2.18	2.03	2

	D.F. [%]							
	11 APR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	3.94	3.82	3.08	2.77	2.42	2.2	2.05	2.03
2	3.94	3.83	3.07	2.77	2.43	2.21	2.05	2.03
3	3.94	3.81	3.06	2.76	2.43	2.21	2.06	2.02
4	3.95	3.83	3.07	2.75	2.42	2.2	2.06	2.01
5	3.95	3.82	3.08	2.76	2.43	2.19	2.05	2.03
6	3.94	3.82	3.08	2.74	2.41	2.19	2.04	2.04
7	3.93	3.81	3.07	2.76	2.42	2.2	2.06	2.04
8	3.94	3.83	3.07	2.77	2.41	2.21	2.05	2.03
เฉลี่ย	3.94	3.82	3.07	2.76	2.42	2.2	2.05	2.03

	D.F. [%]							
	12 APR 2004							
DEPTH	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
1	3.95	3.85	3.1	2.78	2.45	2.23	2.07	2.05
2	3.94	3.84	3.09	2.78	2.44	2.22	2.06	2.04
3	3.94	3.84	3.09	2.79	2.44	2.22	2.07	2.04
4	3.95	3.85	3.11	2.79	2.45	2.21	2.06	2.05
5	3.96	3.86	3.1	2.8	2.46	2.22	2.08	2.06
6	3.96	3.86	3.11	2.78	2.45	2.23	2.07	2.06
7	3.95	3.84	3.09	2.79	2.44	2.24	2.08	2.05
8	3.94	3.85	3.1	2.78	2.44	2.23	2.06	2.04
เฉลี่ย	3.95	3.85	3.1	2.79	2.45	2.23	2.07	2.05

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์

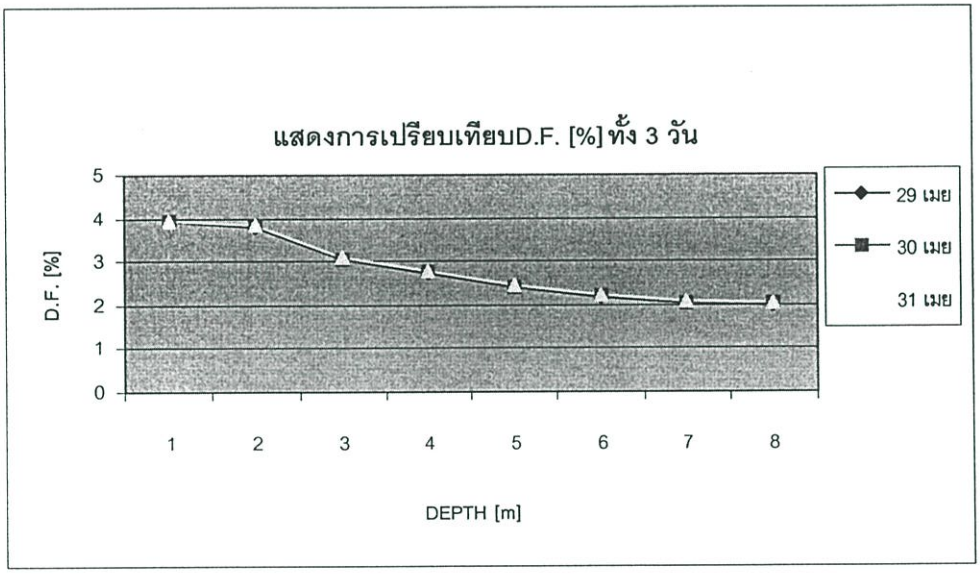




ตารางที่ 5.62 แสดงการค่า Daylight Factor [%] เฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 3 วัน หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ 2

	D.F. [%]							
DATE	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
29 เมย	3.92	3.8	3.05	2.74	2.4	2.18	2.03	2
30 เมย	3.94	3.82	3.07	2.76	2.42	2.2	2.05	2.03
31 เมย	3.95	3.85	3.1	2.79	2.45	2.23	2.07	2.05

ค่าความสว่างเฉลี่ยของแถวในสุดคิดเป็น 51.02 % ของค่าความสว่างแถวริมหน้าต่าง



การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี

ชุดการทดลองที่ 8 เพื่อหารูปแบบหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนโดยมีค่า D.F. ต่ำสุดเท่ากับ 2.00 % ซึ่งทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 25,000 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ตารางที่ 5.63 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สอยตลอดทั้งปี ชุดการทดสอบที่ 8

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	163	33	83.16
กุมภาพันธ์	215	185	30	86.05
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	99	13	88.39
มิถุนายน	224	211	13	94.20
กรกฎาคม	218	210	8	96.33
สิงหาคม	245	226	19	92.24
กันยายน	240	222	18	92.50
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	111	14	88.80
ธันวาคม	248	230	18	92.74
รวม	**1823**	**1657**	**166**	**90.89**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ 2 สามารถใช้งานในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 90.89 % ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก

ตารางที่ 5.64 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 8.1

JAN

date / time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8														25.8			27	25.8		22.7											37.7
9	33.5	32.8			27.4				42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2			38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5			52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4			81.7		58.2	50.6
11	85.1	56.9			62.5						79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2				97.1		58.2	50.6
12	100	68.2			72.7							60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6				90.8		37.2	82
13	81.7	83			79.4	78.9		63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4				67.7			90.8
14	71.5	25.4			68	67.4		66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8				54.6			106
15	28.5					56.8			32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5				51.7	64.3	46	75.9

FEB

date / time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
8				26.1		26																						
9	63.4	59.9		54.2		55.6	32.7	50	60.6	58.3	48.5		52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8		48.1	50.2	21.4	46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1		67.1		79	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9	26.4	85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40	73.8	73.9	55	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	82.9
11	102	94.4		91.3		96.6	81	94.8	92.6	92.6	89	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	106	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	103		100		99.5	68	109	102	102	98.9	69.9	68	102	103	104	86.4	71.7	83.5	98.4	102	112	99.2	49.7	76.7	100	102	79
13	81.2	100	38.6	105		101	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101	65.9	90.4	103	94.9	97.3	74.1	97.3	100	96.1	101	89.4	49.7	61.1	101	81.1
14	62.4	98.5	24.9	96.7		93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82	94	94.1	86	90.9	84.1	89	94.9	93.6	92.6	58.3	51	53.3	88.6	68.4
15	43	77.5	27	68		70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39	76.6	55.1	72.5

MAR

date / time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	46.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	75.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

APR

date / time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	102	105	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	23.8	105	112	79.8	109	108	9	127	47.2	49.8
11	33.7	115	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43.1	124	64.2	55.9
12	21.3	119	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	94.5	133	107	129	127	125	125	64.6	60	63.8	47.5
14	108	110	106	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84.3	81.6	117	84.4	126	100	119	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100	97.8	90.2	101	83.4	109	103	97.7	98.7	51.8	0	101	49.8

สามารถใช้งานได้

ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.64 (ต่อ)

MAY

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	[illegible]	48.8	[illegible]	51.8	31	37.9	34.6	[illegible]	26.8	44.1	25.2	[illegible]	[illegible]
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	[illegible]	[illegible]
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	[illegible]	37.1	30.9	83.7	67.9	60.5	[illegible]	[illegible]
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	[illegible]	[illegible]
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	[illegible]	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	[illegible]	79.9	79	76.9	[illegible]	[illegible]
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	[illegible]	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	[illegible]	[illegible]
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	[illegible]	103	105	89.8	[illegible]	67.2	25.1	62.6	[illegible]	[illegible]	66.5	94.1	61.6	[illegible]	[illegible]
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	[illegible]	90.6	90.7	39	[illegible]	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	[illegible]	[illegible]

JUN

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	[illegible]	28.3	34.7	[illegible]	[illegible]	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	[illegible]	51.8	[illegible]	[illegible]	32.2	28.4	[illegible]	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	[illegible]	[illegible]	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	[illegible]	[illegible]	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	[illegible]	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	[illegible]	[illegible]	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	[illegible]	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	[illegible]	[illegible]	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	[illegible]	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	[illegible]	[illegible]	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	[illegible]	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	[illegible]	[illegible]	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	[illegible]	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	[illegible]	[illegible]	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	48.9	40	42	30.6	42.3	[illegible]	50.2	56.7	[illegible]	50.3	44.1	37.5	34.2	[illegible]	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	[illegible]	28.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	40.3	[illegible]	[illegible]
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	[illegible]	74.3	80.8	62.5	54.1	[illegible]	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	[illegible]	[illegible]
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	[illegible]	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	[illegible]	[illegible]
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	[illegible]	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	[illegible]	[illegible]
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	[illegible]	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	[illegible]	[illegible]
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	[illegible]	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	[illegible]	115	[illegible]	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	[illegible]	[illegible]
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	[illegible]	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	[illegible]	113	[illegible]	82.8	52.4	[illegible]	86.6	53.2	81.1	61.3	[illegible]	[illegible]
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	[illegible]	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	[illegible]	96.7	[illegible]	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	[illegible]	[illegible]

AUG

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	51.5	26.7	54.1	[illegible]	28.4	[illegible]	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	[illegible]	28.1	[illegible]	[illegible]	31.5	[illegible]	[illegible]	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	[illegible]	50	56.4	41.7	[illegible]	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	[illegible]	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	[illegible]	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	[illegible]	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	[illegible]	33.8	[illegible]	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	[illegible]	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	[illegible]	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	[illegible]	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.64 (ต่อ)

SEP

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.8	23.1	43.5	43.5	10.8	53.8	35.4	8.3	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	25.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	33.3	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	16	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.5	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.6	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	18.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	6.9	6.2	29.5	39.8	22.1	79.3

OCT

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	8.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

NOV

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	14.5	0	41.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.6	43.4	34	37.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
9	55.4	0	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	0	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	0	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	0	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	0	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	0	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	0	0	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	10.1	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

DEC

time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	14.5	10.6	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	11.4	13.9	8.1	18.5	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	11.8	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	15.9	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์โดยใช้มาตรฐานความสว่าง 500 ลักซ์ ทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์พบว่าสามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 90.89 % ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก แต่ค่าการกระจายตัวของแสงยังแตกต่างกันมากเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ ค่าความสว่างเฉลี่ยแถวในสุดคิดเป็น 51.02% ของค่าความสว่างแถวริมหน้าต่าง ซึ่งน้อยกว่าที่ควรจะเป็นคือ ต้องไม่น้อยกว่า 70%

ดังนั้นจึงพิจารณาวิธีการใช้หน้าต่างสะท้อนแสงร่วมกับแสงประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาความแตกต่างของความสว่างที่มากเกินไปดังนี้

ตาราง 5.65 แสดงค่า Daylight Factor [%] เฉลี่ยของหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์

ความลึกจากริมหน้าต่าง [m.]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
D.F. [%]	3.92	3.80	3.05	2.74	2.4	2.18	2.03	2.00
คิดเป็น [%]	100	96.9	77.8	69.9	61.2	55.6	51.8	51.0
ค่าความสว่าง [Lux]	715.3	693.4	556.6	500.0	438.0	397.8	370.4	365.0

เมื่อพิจารณาค่า Daylight Factor [%] แต่ละตำแหน่งพบว่า ค่าความแตกต่างที่ทุกตำแหน่งไม่ควรมีค่าน้อยกว่า 70% ของตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดนั้น จากการทดลองมีเพียงแถวที่ 1 ถึงแถวที่ 4 เท่านั้นที่อยู่ในเกณฑ์ ส่วนแถวที่ 5 ถึงแถวที่ 8 มีค่าความแตกต่างมากเกินกว่าเกณฑ์ โดยแถวสุดท้ายคิดเป็น 51.0%

ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้แถวที่ 4 ซึ่งมีค่า Daylight Factor [%] เท่ากับ 2.74% เป็นเกณฑ์ในการใช้แสงธรรมชาติให้แสงสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ ซึ่งจะทำให้แถวที่ 1 ถึงแถวที่ 4 มีค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ และมีความแตกต่างระหว่างตำแหน่งไม่เกิน 30% ตามมาตรฐาน ส่วนแถวที่ 5 ถึงแถวที่ 8 มีค่าความสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ดังแสดงในตาราง 5.12 กำหนดให้ใช้แสงประดิษฐ์ช่วยเพิ่มปริมาณแสงสว่างร่วมกับแสงธรรมชาติให้มีค่าความสว่างเท่ากับ 500 ลักซ์ ตามเกณฑ์มาตรฐาน และทำให้ทุกตำแหน่งมีค่าความสว่างสม่ำเสมอ โดยมีความแตกต่างระหว่างตำแหน่งไม่เกิน 30% ตามมาตรฐานอีกด้วย

และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์โดยใช้ค่า D.F. [%] = 2.74% ทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปี ใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 18,315 ลักซ์ สามารถเปรียบเทียบได้ดังนี้

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานตลอดทั้งปี

ชุดการทดลองที่ 8 พิจารณาการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์

กำหนดให้ใช้ค่า D.F. แถวที่ 4 เป็นเกณฑ์ในการใช้แสงธรรมชาติ 500 ลักซ์ ซึ่งหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนโดยมีค่า D.F. ในแถวที่ 4 ต่ำสุดเท่ากับ 2.74 % ซึ่งทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีใช้เกณฑ์ความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ ที่ระดับใช้สอย 0.75 เมตร ภายในห้องเรียนทั่วทั้งห้องเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถเทียบหาค่าความสว่างภายนอกที่ต้องการได้เท่ากับ 18,315 ลักซ์

ดังนั้นนำค่าความสว่างภายนอกที่ได้เปรียบเทียบหาช่วงเวลาที่ใช้งานได้จากตารางค่าความสว่างตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ตารางที่ 5.66 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สอยตลอดทั้งปี ชุดการทดสอบที่ 8 พิจารณาการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์

เดือน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานไม่ได้	ใช้งานได้คิดเป็น (%)
มกราคม	196	169	27	86.22
กุมภาพันธ์	215	200	15	93.02
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	0	0	0	0
พฤษภาคม	112	105	7	93.75
มิถุนายน	224	216	8	96.43
กรกฎาคม	218	214	4	98.17
สิงหาคม	245	235	10	95.92
กันยายน	240	227	13	94.58
ตุลาคม	0	0	0	0
พฤศจิกายน	125	116	9	92.80
ธันวาคม	248	239	9	96.37
รวม	**1823**	**1721**	**102**	**94.40**

พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์ สามารถใช้ในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปีได้ 94.40 % ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยการใช้งานต้องใช้งานร่วมกับแสงประดิษฐ์จะทำให้ค่าความสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและก่อให้เกิดภาวะสบายทางสายตาแก่ผู้ใช้สอย อีกทั้งยังประหยัดพลังงานด้านแสงสว่างลง

ตารางที่ 5.67 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชุดการทดลองที่ 8.2

JAN

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8									19.2		22			25.8			27	25.8		22.7	24.5										37.7
9	33.5	32.8			27.4	20	24.7	23.9	42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2			38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5			52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4			81.7		58.2	50.6
11	85.1	56.9			62.5						79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2				97.1		58.2	50.6
12	100	68.2			72.7							60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6				90.8		37.2	82
13	81.7	83			79.4	78.9		63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4				67.7			90.8
14	71.5	25.4			68	67.4		66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8				54.6		18.7	106
15	28.5					56.8			32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5				51.7	64.3	46	75.9

FEB

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
time 8				26.1		26			20.2	21.3	22.5		24.1	22.5				21.4		21	23.6		21	20.6	23	20		22.4
9	63.4	59.9		54.2		55.6	32.7	50	60.6	58.3	48.5	18.2	52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8		48.1	50.2	21.4	46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1		67.1		79	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9	26.4	85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40	73.8	73.9	55	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	82.9
11	102	94.4		91.3		96.6	81	94.8	92.6	92.6	89	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	106	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	103	16.7	100		99.5	68	109	102	102	98.9	69.9	68	102	103	104	86.4	71.7	83.5	98.4	102	112	99.2	49.7	76.7	100	102	79
13	81.2	100	38.6	105		101	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101	65.9	90.4	103	94.9	97.3	74.1	97.3	100	96.1	101	89.4	49.7	61.1	101	81.1
14	62.4	98.5	24.9	96.7		93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82	94	94.1	86	90.9	84.1	89	94.9	93.6	92.6	58.3	51	53.3	88.6	68.4
15	43	77.5	27	68		70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39	76.6	55.1	72.5

MAR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	46.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	75.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

APR

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	102	105	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	107	92	23.8	105	112	79.8	109	108	9	127	47.2	49.8
11	33.7	115	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114	119	122	113	56	129	118	126	121	121	43.1	124	64.2	55.9
12	21.3	119	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	126	127	128	112	132	126	125	125	126	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	116	47	94.5	133	107	129	127	125	125	64.6	60	63.8	47.5
14	108	110	106	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	118	84.3	81.6	117	84.4	126	100	119	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100	97.8	90.2	101	83.4	109	103	97.7	98.7	51.8	0	101	49.8

สามารถใช้งานได้ ไม่สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 5.67 (ต่อ)

MAY

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.8	37.1	30.9	83.7	67.9	60.5	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.6	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.5	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

JUN

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	8.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	65.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.8	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

JUL

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	12	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

AUG

time \ date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.6	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	16.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

ตารางที่ 5.67 (ต่อ)

SEP

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	[illegible]	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	[illegible]	23.4	43.5	43.5	[illegible]	53.8	35.4	[illegible]	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	[illegible]	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	[illegible]	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	[illegible]	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	[illegible]	48.5	30.8	58.3	[illegible]	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	[illegible]	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	29.5	39.8	22.1	79.3

OCT

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	8.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

NOV

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
time 8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	47.1	[illegible]	21.3	23.9	[illegible]	43.4	34	37.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	[illegible]	34.9
9	55.4	[illegible]	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	[illegible]	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	[illegible]	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	[illegible]	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	[illegible]	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	[illegible]	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	42.1	[illegible]	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	[illegible]	[illegible]	27.3	41.2	37.6	[illegible]	64.6	61.8	[illegible]	19.4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

DEC

date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
time 8	35.6	36.7	[illegible]	[illegible]	33.1	[illegible]	36.8	31.6	30.6	36	[illegible]	[illegible]	[illegible]	18.5	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	[illegible]	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	[illegible]	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	[illegible]	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในการเพิ่มค่าความสว่างภายในห้องเรียน กรณีศึกษาห้องเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร ทำการศึกษาโดยวิธีการทดลอง (Experimental Research) เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มแสงสว่างให้แก่ส่วนที่ปริมาณแสงสว่างไม่พอเพียง โดยอาศัยหน้าต่างสะท้อนแสงเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพ ทำการศึกษาทดลองด้วยหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ศึกษาปัจจัยทางกายภาพต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง โดยทำการวัดค่าความสว่างทั้งภายนอกและภายในหุ่นจำลอง ทำการหาค่า Daylight Factor [%] เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดทั้งปีของหน้าต่างสะท้อนแสง โดยมีจุดมุ่งหมายให้สามารถใช้หน้าต่างสะท้อนแสงเพิ่มค่าความสว่างให้ค่าความสว่างภายในห้องเรียนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ และก่อให้เกิดภาวะสบายทางสายตาแก่ผู้ใช้สอย ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปแนวทางในการออกแบบได้ดังนี้

6.1 การกำหนดตัวแปรควบคุม

การวิจัยเพื่อศึกษาหน้าต่างสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนนี้ มีการกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่สำหรับการทดลองเพื่อความเหมาะสมดังนี้

1. **รูปแบบอาคาร**

   กำหนดตามแบบอาคารเรียนมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดขนาด 8 x 8 เมตร สูง 3.6 เมตร ฝ้าเพดานสูง 2.9 เมตร

2. **ช่วงเวลาใช้งาน**

   ช่วงเวลาใช้งานระหว่าง 8.00 – 15.00 น. โดยแบ่งเป็น 2 ภาคการศึกษาคือ ช่วงเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม และพฤศจิกายน -กุมภาพันธ์

3. **สภาพแวดล้อม**

   - กำหนดให้สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารเป็นที่โล่ง
   - การทดลองทำการทดลองกับสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)
   - ที่ตั้งอาคารกำหนดกรุงเทพมหานคร ละติจูดที่ 14 องศาเหนือ

4. **ลักษณะช่องเปิด**

- การให้แสงนำแสงสว่างเข้าจากทางด้านข้าง (Side Lighting)
- ช่องเปิดแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ
  1. ส่วนหน้าต่าง ขอบล่างสูงจากพื้น 0.75 เมตร
     (ความสูงช่องเปิด 1.15 เมตร)
  2. ช่องแสงสูง 1.00 เมตร ใช้กระจกใสหนา 6 มม.
     ความกว้างของช่องเปิดเท่ากับความยาวของห้องเรียน คือตลอดแนว
     ผนัง 8.00 เมตร โดยช่องเปิดมีพื้นที่คิดเป็น 7.14 ตารางเมตร หรือ
     44.80% ของพื้นที่ผนังทั้งหมด

5. **สภาพแวดล้อมภายใน**

สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนมีผลโดยตรงต่อสภาพแสงสว่างภายในห้องนั้นๆ การจัดสภาพแวดล้อมภายในที่เหมาะสมจะมีส่วนช่วยส่งเสริมให้สภาพแสงสว่างภายในห้องเรียนดีขึ้น การทดลองนี้กำหนดค่าตามมาตรฐานดังนี้

ค่าการสะท้อนแสงภายในกำหนดให้

ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 80 % สีขาว
ผนัง มีค่าการสะท้อนแสง 50 % สีฟ้าอ่อน
พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 30 % สีเทา

6.2 แนวทางการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสง

จากการทดลองปัจจัยด้านกายภาพต่างๆ เพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภาบยในห้องเรียนสามารถสรุปแนวทางในการออกแบบได้ดังนี้

1. **ประเภทของหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม**

ทำการทดลองหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 4 แบบ จากการทดลองพบว่า หน้าต่างสะท้อนแสงแบบ (Blind Light Shelve) มีประสิทธิภาพในการกระจายแสงเข้าสู่ห้องเรียนได้ดีที่สุด

2. **สีและผิวสัมผัสของหน้าต่างสะท้อนแสงที่เหมาะสม**

จากการศึกษาค่าการสะท้อนแสงของลักษณะสีและผิวสัมผัสต่างๆ ได้ทำการทดสอบวัสดุ 3 ชนิด ซึ่งพบว่าผิวสัมผัสสีขาวเคลือบเงามีค่าการสะท้อนแสงที่ดีที่สุด

ตารางที่ 6.1 แสดงผลสรุปการทดลองสีและผิวสัมผัส

สีและพื้นผิวสัมผัส	ค่าการสะท้อนแสง [%]
สีขาวเคลือบเงา	91
สีเงินสะท้อนแสง	85
สีทองสะท้อนแสง	80

3. **รูปแบบของหน้าต่างสะท้อนแสงแบบ** Blind Light Shelve

จากการทดสอบหน้าต่างแบบ Blind Light Shelve พบว่าหน้าต่างสะท้อนแสงแบบที่มีบานเปิดด้านล่างตามแนวขอบล่างของหน้าต่างสามารถสะท้อนแสงโดยเพิ่มค่าความสว่างภายในได้ดีกว่าแบบอื่นๆ และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นหากบานหน้าต่างมีความลึกมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพในการกระจายแสงจะลดต่ำลงตามความลึกของบานหน้าต่าง

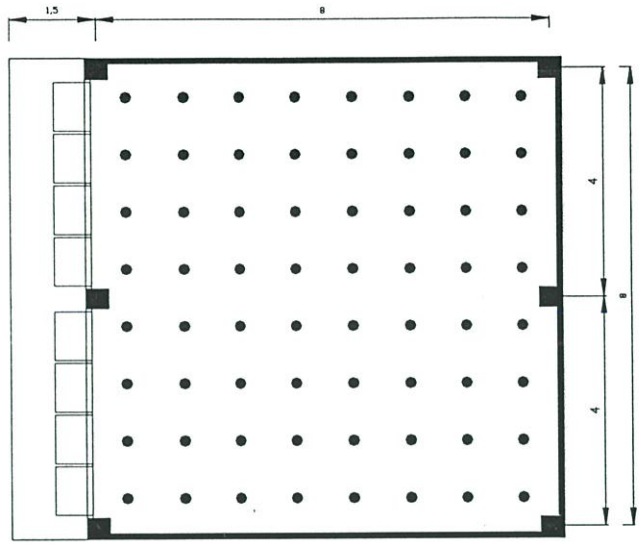
4. **ความลึกของหน้าต่างสะท้อนแสง**

จากการทดสอบหน้าต่างสะท้อนแสงแบบ Blind Light Shelve ชนิด 4 บาน 8 บานและ 12 บาน โดยทำการควบคุมพื้นที่ในการสะท้อนแสงที่เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงและการกระจายแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนบานหน้าต่างเพิ่มจำนวน

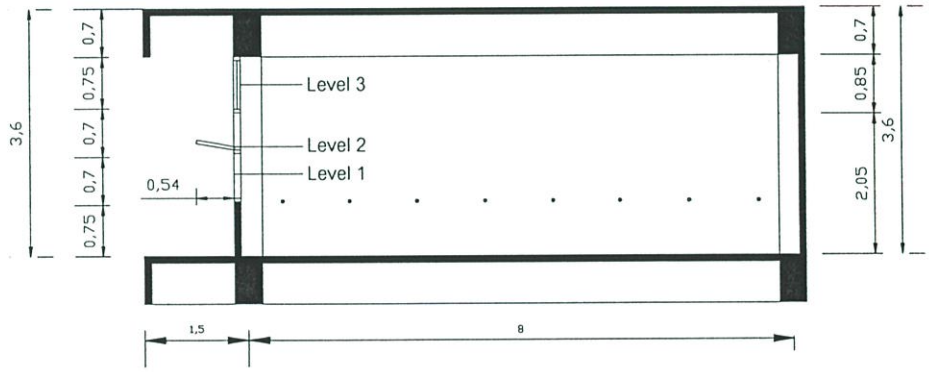
5. **การประยุกต์ใช้หน้าต่างสะท้อนแสง**

จากการศึกษาหน้าต่างสะท้อนแสงแบบต่างๆ สามารถสรุปแนวทางในการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงได้ดังนี้ จากการกำหนดขนาดห้องเรียนตามแบบมาตรฐานกระทรวงศึกษาธิการขนาด 8.00 x 8.00 x 2.90 เมตร ช่องเปิดควรแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ

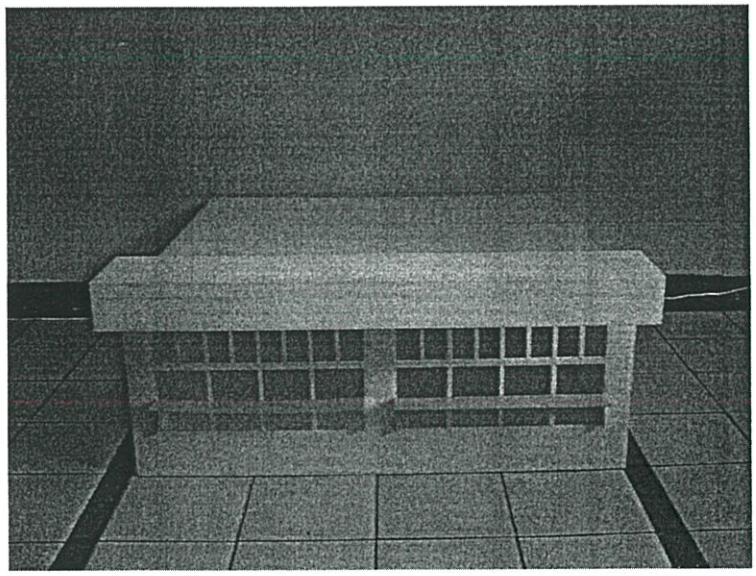
1. หน้าต่างบานเปิดรับลม สูงจากพื้น 0.75 – 1.45 เมตร
2. หน้าต่างสะท้อนแสงบานพับแบบเปิดลง บานลึก 0.6 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา ทำมุมเอียง 10 องศากับแนวราบ ติดตั้งสูงจากพื้น 1.45 – 2.05 เมตร
3. ช่องแสงติดตายกระจกหนา 6 มม. ติดตั้งสูงจากพื้น 2.05 – 2.90 เมตร



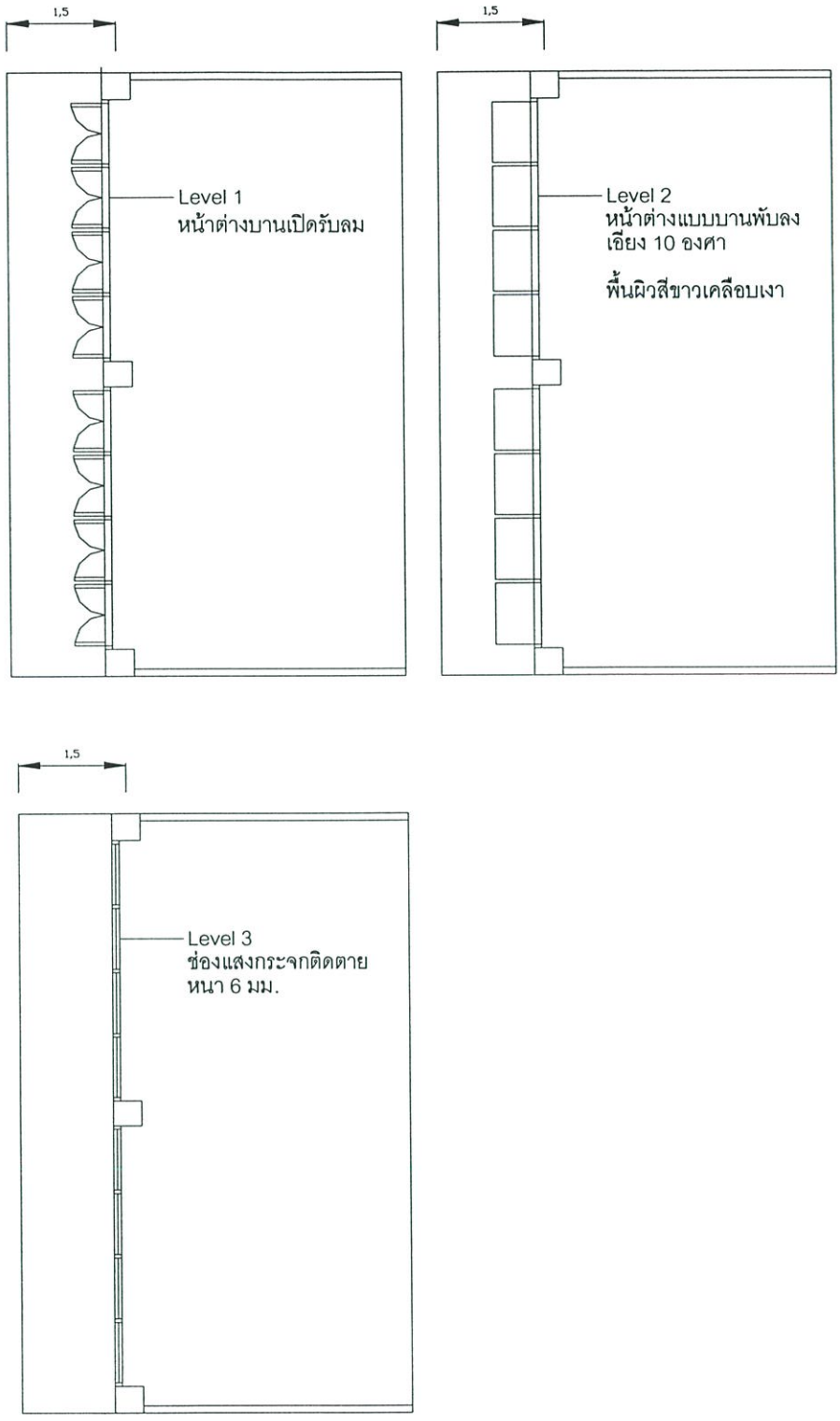
รูปที่ 6.1 แสดงแนวทางการออกแบบผังห้องเรียน



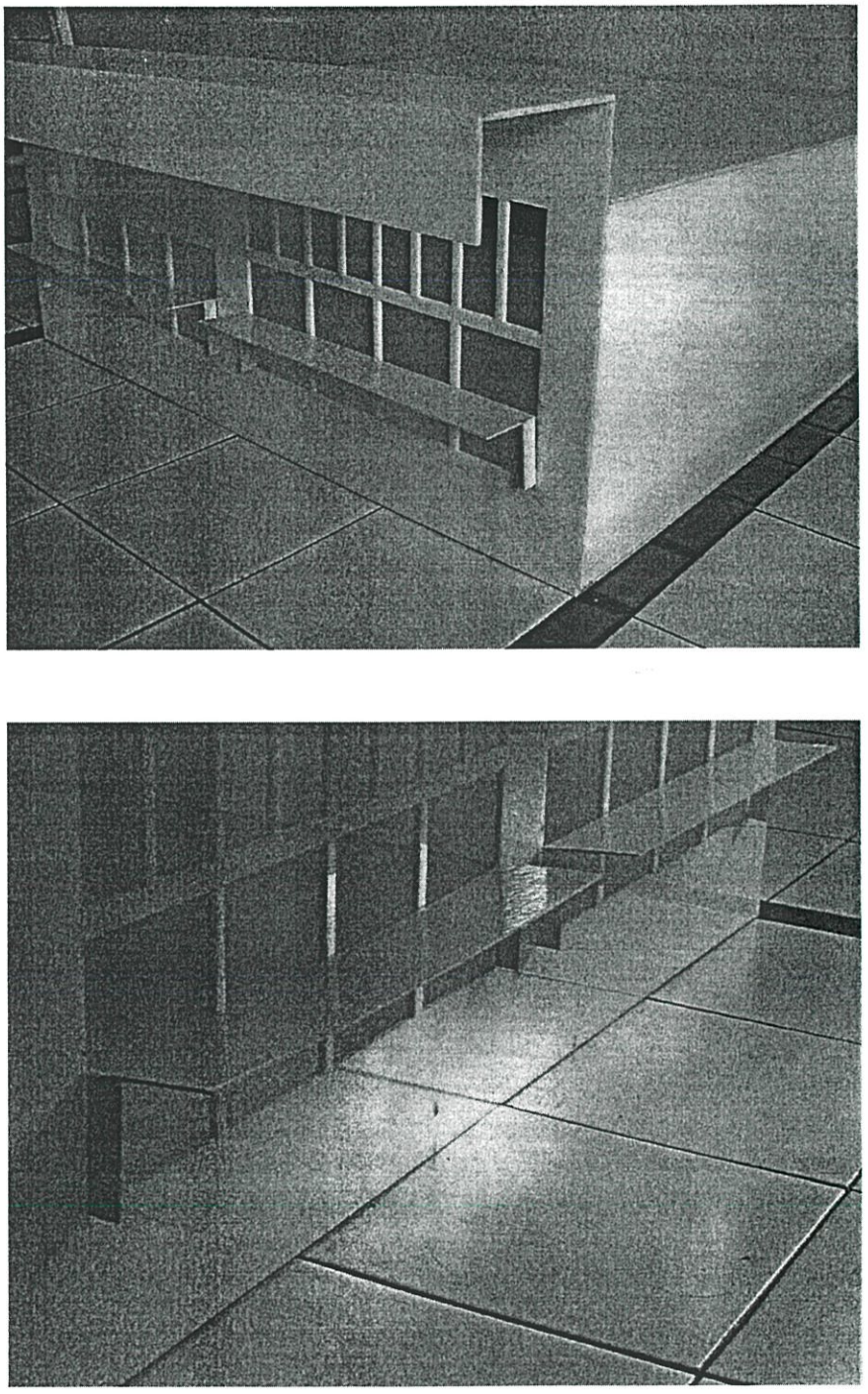
รูปที่ 6.2 แสดงรูปตัดของห้องเรียน



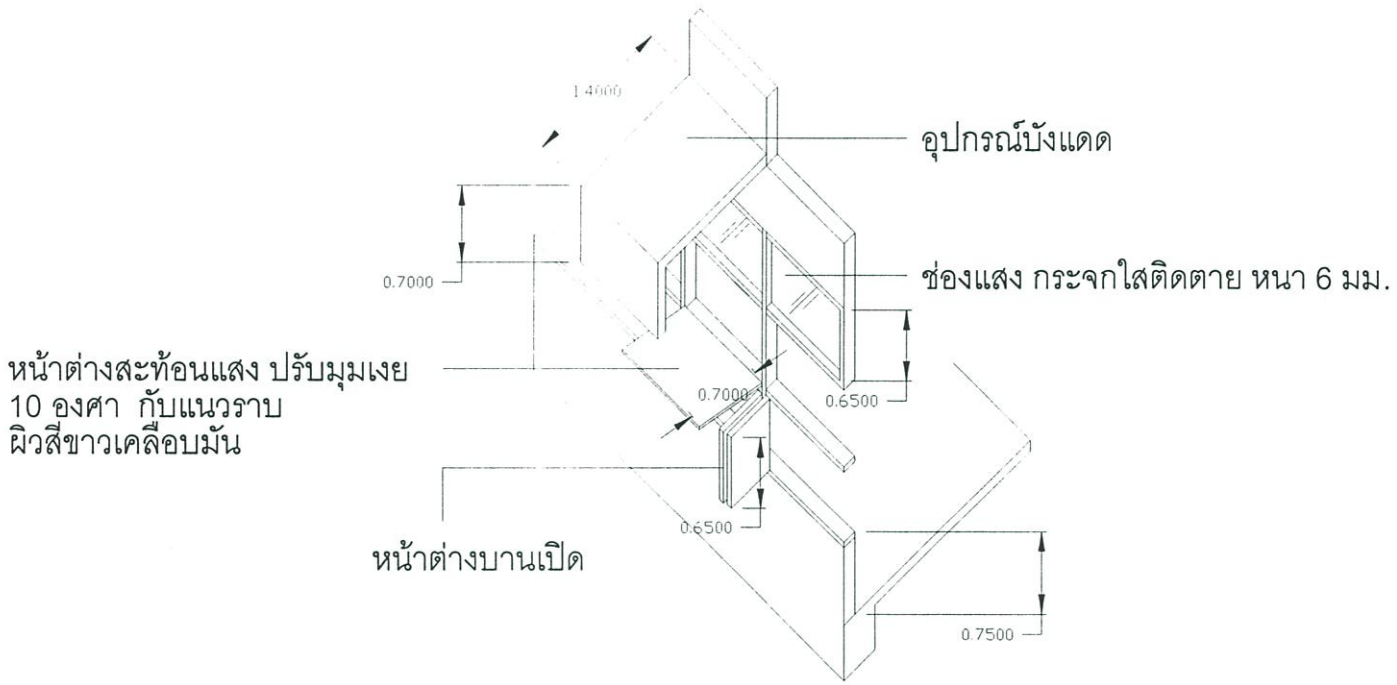
รูปที่ 6.3 แสดงรูปหุ่นจำลองแนวทางการออกแบบห้องเรียน



รูปที่ 6.4 แสดงรายละเอียดแนวทางการออกแบบห้องเรียน



รูปที่ 6.5 แสดงรายละเอียดรูปหุ่นจำลองและแนวทางการออกแบบห้องเรียน



รูปที่ 6.6 แสดงรายละเอียดและแนวทางการออกแบบห้องเรียน

หน้าต่างสะท้อนแสงแบบประยุกต์มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงได้ค่า Daylight Factor แถวในสุด = 2.00 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยสามารถสรุปลักษณะการใช้สอยได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. ใช้แสงธรรมชาติในการให้แสงสว่างโดยไม่พึ่งแสงประดิษฐ์ โดยกำหนดค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ ทั่วทั้งห้อง สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งปีได้ 90.89 % ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก แต่ค่าการกระจายตัวของแสงยังแตกต่างกันมากเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ ค่าความสว่างเฉลี่ยแถวในสุดคิดเป็น 51.02% ของค่าความสว่างแถวริมหน้าต่าง ซึ่งน้อยกว่าที่ควรจะเป็นคือ ต้องไม่น้อยกว่า 70% โดยจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากแต่ส่งผลกระทบต่อภาวะสบายทางสายตาแก่ผู้ใช้สอย

2. ใช้แสงธรรมชาติในการให้แสงสว่างร่วมกับแสงประดิษฐ์ กำหนดให้ใช้แถวที่ 4 ซึ่งมีค่า Daylight Factor เท่ากับ 2.74% โดยกำหนดค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ สามารถใช้แสงธรรมชาติโดยไม่พึ่งแสงประดิษฐ์บริเวณแถวที่ 1 – 4 ตลอดทั้งปีได้ 94.40% ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ส่วนแถวที่ 5 – 8 ให้ใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มค่าความสว่างให้ถึงตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจะทำให้ทั่วทั้งห้องมีค่าความสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ และมีค่าการกระจายแสงที่ดี เกิดภาวะสบายทางสายตาแก่ผู้ใช้สอยและประหยัดพลังงานลงได้อีกด้วย

6.3 ประโยชน์และการนำไปใช้ในการออกแบบ

จากการศึกษาแนวทางในการออกแบบหน้าต่างสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียน กรณีศึกษาอาคารเรียนระดับประถมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าสามารถนำหน้าต่างสะท้อนแสงมาใช้ช่วยในการเพิ่มปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ โดยสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ 94.40% จากช่วงเวลาการใช้งานตลอดทั้งปี ซึ่งก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมภายในที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการเรียนการสอน เกิดภาวะสบายทางสายตาแก่ผู้ใช้สอยและประหยัดพลังงานโดยรวมของประเทศลงได้

นอกจากนั้นผลการวิจัยในครั้งนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับอาคารทุกประเภท เช่น อาคารเรียนระดับต่างๆ อาคารราชการ โรงแรม สำนักงาน อาคารพักอาศัยหรืออาคารประเภทอื่นๆ ซึ่งจะทำให้ช่วยลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าด้านแสงสว่างของประเทศลงได้ในที่สุด

6.4 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้กระทำภายใต้ระยะเวลาอันจำกัด ทำให้มีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่สนใจจะทำการวิจัยในเรื่องเดียวกันนี้หรือเรื่องที่มีความคล้ายคลึงกันดังนี้

1. การทดลองกระทำการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) เท่านั้น การวิจัยครั้งต่อไปควรทำการทดสอบในท้องฟ้าทุกลักษณะ เพื่อข้อมูลที่ได้จะมีความครบถ้วนและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น
2. เนื่องจากระยะเวลาอันจำกัด การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงของหน้าต่างสะท้อนแสงจึงศึกษาเพียงด้านรูปแบบ, ความลึก, ผิวสัมผัสและสีของหน้าต่างสะท้อนแสงเท่านั้น อย่างไรก็ดียังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเช่น รูปทรงโค้งและองศาในการเปิดบานหน้าต่างที่แตกต่างกัน เป็นต้น ในการศึกษาต่อไปจึงควรศึกษาในปัจจัยต่างๆ เหล่านี้
3. การทดลองนี้กระทำในระยะเวลาอันจำกัดโดยทำการหาค่า Daylight Factor เพื่อนำไปเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการใช้สอยตลอดทั้งปีกับข้อมูลแสงสว่างที่เก็บรวบรวมโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย หากมีการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงตลอดทั้งปี จะทำให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

ตรึงใจ บูรณสมภพ. 2539. **การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน** กรุงเทพมหานคร.

ธีรมน ไวโรจนกิจ. 2542. **สภาพแวดล้อมอาคาร.** เอกสารประกอบคำสอนวิชาเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมอาคาร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนิต จินดาวนิต. **เอกสารประกอบการสอนเรื่องพลังงานกับการออกแบบสถาปัตยกรรม.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เรณู ด่านกุล. **"การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร."** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2546. **เครื่องชี้ภาวะสำคัญทางสังคม.** กรุงเทพฯ.

สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541. **การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อานนท์ วัชรพาหะ. **"การออกแบบอาคารสำนักงานโดยการนำแสงธรรมชาติมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ กรณีศึกษา อาคารสำนักงาน กรมการผังเมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร.** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

Egan, D.M. 1983. **Concept in Architectural Lighting.** New York : McGraw – Hill.

Fly, J.E. and Mills s.m. 1962. **Architectural Lighting Graphic.** New York : Reinhold Pushishing Corporation.

Fuller Moore. 1993. **Environmental Control Systems, Heating Cooling Lighting.** New York : McGraw – Hill Inc.

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

H.E. Beckett & J.A. Godfrey. 1974. **Windows Performance,Design & Installation.** New York : Van Nostrand Reinhold Company.

Kaufman, E. et. al. 1985. **IES Lighting Handbook Reference Volumn.** Illuminating

engineering Society of North America. New York.

Lechner, N. 1991. **Heating Cooling Lighting Design Methods for Architect.** Canada : A wile Interscience Publication.

Tongyai Tongyai. 1990. **Programming Guide for Primary School Improvement Programmes.** Thailand : Faculty of Architecture, Silpakorn University.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายทศพล แสงสุวรรณ	
วัน เดือน ปีเกิด	26 มีนาคม 2522	
ที่อยู่	462/5 ถ.พรมประกาย ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2545	ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต (สถ.บ.) สาขาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	พ.ศ. 2547	ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สถ.ม.) สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2547	สถาปนิกฝ่ายขาย บริษัทเรโปรเฮาส์ จำกัด อาคารธารธนา ถ.เพชรบุรี เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร