การให้ความสว่างโดยแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพ สำหรับอาคารหอสมุด

THE EFFECTIVENESS OF DAYLIGHTING FOR A LIBRARY

วีร์ กังวานกิตติ

VEE KUNGWANKITTI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-9709-47-0

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การให้ความสว่างโดยแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพ สำหรับอาคารหอสมุด

THE EFFECTIVENESS OF DAYLIGHTING FOR A LIBRARY

T051577

วีร์ กังวานกิตติ
VEE KUNGWANKITTI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2547
ISBN 974 – 9709 – 47 – 0

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 51577
วัน,เดือน,ปี 23 ก.ค. 2547

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

THE EFFECTIVENESS OF DAYLIGHTING FOR A LIBRALY

VEE KUNGWANKITTI

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 – 9709 – 47 – 0

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

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การให้ความสว่างโดยแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสำหรับอาคารหอสมุด

THE EFFECTIVENESS OF DAYLIGHTING FOR A LIBRARY

ชื่อนักศึกษา นายวีร์ กังวานกิตติ

รหัสประจำตัว 43063108

ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ

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

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 4 พฤษภาคม 2547 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 27 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2547

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การให้ความสว่างโดยแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสำหรับอาคารหอสมุด
นักศึกษา	นาย วีร์ กังวานกิตติ
รหัสประจำตัว	43063108
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. สมชาย ศรีสมพงษ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ. ธีรมน ไวโรจนกิจ

บทคัดย่อ

การแก้ไขปัญหาเรื่องการส่องสว่างที่ไม่เพียงพอในพื้นที่ห้องสมุดโรงเรียนด้วยแสงธรรมชาติ สามารถทำได้ด้วยการออกแบบให้แสงสว่างธรรมชาติเข้าจากทางด้านข้าง โดยช่องเปิดรูปแบบ และขนาดต่าง ๆ กัน เนื่องจากไม่สามารถใช้แสงจากระนาบหลังคาได้เพราะห้องสมุดโรงเรียนโดยส่วนใหญ่เป็นส่วนหนึ่งของอาคารเรียนหรืออาคารอเนกประสงค์ เพื่อให้พื้นที่ใช้งานมีค่าปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) หรือค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมและยอมรับได้ตามมาตราฐาน ในพื้นที่ศึกษาที่ระนาบทำงาน 75 เซนติเมตรจากพื้น (Working plane) ในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์ค่าปริมาณการส่องสว่างที่ 300 – 500 – 750 ลักซ์ (Lux) ที่ค่าความสว่างภายนอกไม่น้อยกว่า 33,333 ลักซ์ (Lux) ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ที่ร้อยละ 1 - 1.5

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาวิธีนำแสงเข้าทางช่องเปิดด้านข้างด้วยรูปแบบและขนาดต่าง ๆ กัน ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสง (Light shelf) แบบ ,ขนาด และวัสดุต่าง ๆ กัน โดยหันช่องเปิดไปทางทิศเหนือและใต้ ทำการทดสอบการออกแบบด้วยหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง โดยใช้หุ่นจำลอง 1 หน่วย ขนาด 0.60 เมตร x 0.60เมตร x 0.30เมตร แทนพื้นที่จริง

จากการวิจัยพบว่า 1) ด้านทิศเหนือ ช่องเปิดแบบ 3 ช่องขนาดช่องละ 1.05เมตร x 3.05เมตร ใช้ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสง (Light shelf) แบบภายนอกวัสดุผิวเป็นอลูมิเนียมช่วยเพิ่มปริมาณความสว่างได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบ สามารถให้ความสว่างได้ในช่วง 300 – 500 – 750 ลักซ์ (Lux) ในระยะห่างจากหน้าต่าง 0.50 เมตร ถึง 3.50 เมตรโดยมีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ไม่น้อย

กว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ใช้งานทั้งหมด 2) ทิศใต้ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง เมื่อใช้ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสง (Light shelf) แบบผสมสามารถช่วยให้แสงมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าแบบอื่นที่ทำการทดสอบ สามารถให้ความสว่างได้ในช่วง 500 – 1000 ลักซ์ (Lux) ตลอดช่วงเวลาที่ใช้งาน 3) ถึงแม้ว่าช่องเปิดทางด้านทิศใต้สามารถให้ความสว่างได้มากกว่าแต่การเปิดช่องเปิดทางทิศนี้ควรมีการระวังป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ด้วย

Thesis Title	The Effectiveness of Daylighting for a Library
Student	Mr. Vee Kungwankitti
Student ID.	43063108
Degree	Master of Architecture
Programme	Master of Architecture in Tropical Architecture
Year	2004
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Somchai Srisompong
Thesis Co-Advisor	Associate Professor. Teeramon Vairojkit

ABSTRACT

Insufficient light in school's libraries can be increased by incorporating daylight into the libraries (in order to save up energy consumption). Since most libraries are located on a lower floor of a building, in stead of on the top, therefore, natural daylight cannot enter through the roof. The best solution is to side-light the libraries through proper forms and various sizes of openings. In this study, illuminance value at the working plane of 75 cm. from the floor is measured at 300 - 500 - 750 lux and daylight factor is 1.5%, which are appropriate and up to the required levels.

In this study, various experiments were carried out. different forms and sizes of openings with different forms, sizes and materials of light shelves were taken in consideration. Openings are located in the north and in the south.

The experiments were conducted outdoor by using a model with aspect ratio of 0.60m x 0.60m x 0.30m : 1. It was found that, 1) the north opening which has 3 column, 1.05m x 3.05m each, used together with an aluminium exterior light shelf gives the maximum illuminance value of 300 - 500 - 750 lux. 2) The 3-column opening in the south when used with a combined light shelf (exterior and interior) are the best to evenly diffuse light and give 500 - 1000 lux level. 3) Although the south opening has higher lux level than the north opening , care should be taken to protect direct radiation from sunlight at the region as well.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ได้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำ, คำปรึกษาและความช่วยเหลือจาก ผศ. ดร. สมชาย ศรีสมพงษ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ. ธีรมน ไวโรจกิจ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ (ร่วม) ผศ.ดร. ชัยยุทธ ศรีเผด็จ และ รศ. สุภาวดี รัตนมาศ ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และน้อง ที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ, คุณน้า และผู้ที่ได้ช่วยในการวิจัยทุกท่าน

ขอขอบคุณสำนักงานนบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงานที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วีร์ กังวานกิตติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... III

กิตติกรรมประกาศ..... IV

สารบัญ.....V

สารบัญตาราง.....XII

สารบัญภาพ.....XIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ขอบเขตของการศึกษา..... 2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง.....4

2.2 สภาพท้องฟ้า.....16

2.3 รูปแบบการนำแสงเข้าสู่อาคาร.....20

2.4 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่ห้องสมุดโดยอาศัยแสงประดิษฐ์ (Artificial Light)……28

2.5 ลักษณะการเปิดช่องเปิดที่มีผลกับแสงสว่างภายใน.....31

2.6 แนวทางการควบคุมแสงจ้า.....33

บทที่ 3 สภาพแสงสว่างในเขตกรุงเทพมหานคร.....34

3.1 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อกรุงเทพ.....34

3.2 ปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ของกรุงเทพฯ.....34

3.3 สภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร.....38

3.4 ค่ามาตราฐานทั่วไป.....39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย.....45

4.1 การออกแบบช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับห้องสมุด.....45

4.2 การวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างภายในอาคาร.....46

4.3 การทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของช่องเปิดสำหรับห้องสมุด.....48

บทที่ 5 ผลการทดลอง.....56

5.1 การทดลองหาลักษณะของ Light shelf และช่องเปิดสำหรับห้องสมุด.....56

5.2 ผลการทดลองเพื่อระดับความสูงของเพดานและความสูงของ Light shelf.....65

5.3 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของช่องเปิดที่เหมาะสม.....68

บทที่ 6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....87

6.1 เกณฑ์ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....87

6.2 วิธีการวิเคราะห์ผลค่าปริมาณการส่องสว่าง.....87

6.3 การแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองแต่ละแบบ.....87

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....137

7.1 สรุปผลจากแต่ละหมวดการทดลอง.....137

7.2 สรุปผลจาก 4 หมวดการทดลอง.....139

7.3 รูปแบบผังเสนอแนะ.....140

7.4 ข้อเสนอแนะ.....142

บรรณานุกรม.....143

ประวัติผู้เขียน.....144

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทต่าง ๆ จากรายงานของ USAID..... 1

2.1 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ ตามมาตราฐานของ CIE.....28

2.2 แสดงแสงจ้าประเภทต่าง ๆ.....33

3.1 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง (Klux).....35

3.2 แสดงค่าความถี่ของความส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของกรุงเทพฯ.....37

3.3 แสดงค่ามาตราฐาน Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ.....39

3.4 แสดงการเปรียบเทียบมาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน.....40

3.5 แสดงการเปรียบเทียบมาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน) 41

3.6 แสดงค่าการสะท้อนและค่าการส่องผ่านของวัสดุ.....42

3.7 แสดงค่าการสะท้อนของวัสดุภายนอกอาคาร.....43

3.8 แสดงค่าการสะท้อนของวัสดุภายในอาคาร.....43

3.9 แสดงค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงที่แนะนำให้ใช้.....44

3.10 แสดงค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงของสีวัสดุ.....44

4.1 อิทธิพลของ Light shelf ในการเพิ่มระดับความสว่าง.....45

4.2 อิทธิพลของช่องเปิดในการเพิ่มระดับความสว่าง.....46

4.3 แสดงค่ามาตราฐานปริมาณการส่องสว่างสำหรับห้องสมุดที่ CIE กำหนด.....47

4.4 แสดงปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกเมื่อคำนวณด้วยค่า DF(%) ที่ต้องการทดลอง.....48

5.1 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม.....57

5.2 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบที่มี Overhang และแบบผสม.....57

5.3 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม.....60

5.4 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม.....60

5.5 แสดงค่า Daylight Factor ของการทดสอบผิววัสดุแบบต่าง ๆ ของ Light shelf 62

5.6 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf ความเอียง 30 องศา และ 90 องศา.....64

5.7 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอกที่ความสูงเพดานต่าง ๆ.....66

5.8 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสมที่ความสูงเพดานต่าง ๆ.....66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.9 แสดงรูปด้านของช่องเปิดที่ทำการทดสอบ....68

5.10 แสดงสภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดสอบ....69

5.11 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6 x 3.05 เมตร....70

5.12 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6 x 3.05 เมตร....70

5.13 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4 x 3.05 เมตร.... 71

5.14 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4 x 3.05 เมตร.... 71

5.15 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 3 x 3.05 เมตร....72

5.16 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 3 x 3.05 เมตร....72

5.17 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.75 เมตร....73

5.18 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.75 เมตร.... 73

5.19 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4 x 2.75 เมตร....74

5.20 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4 x 2.75 เมตร.... 74

5.21 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.5 เมตร....75

5.22 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.5 เมตร....75

5.23 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4 x 2.5 เมตร.... 76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.24 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4 x 2.5 เมตร....76
5.25 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.25 เมตร....77
5.26 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.25 เมตร.... 77
5.27 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.25 เมตร....78
5.28 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของ Light shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.25 เมตร....78
5.29 แสดงรูปด้านรูปแบบช่องเปิดที่ทำการทดสอบ....80
5.30 แสดงสภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดสอบ....81
5.31 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 1 ช่องร่วมกับ Light shelf....82
5.32 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 1+1 ช่องร่วมกับ Light shelf....82
5.33 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 2 ช่องร่วมกับ Light shelf....83
5.34 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 2+1 ช่องร่วมกับ Light shelf....83
5.35 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 3 ช่องร่วมกับ Light shelf....84
5.36 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 3+1 ช่องร่วมกับ Light shelf....84
5.37 แสดงค่าแสดงค่า Daylight Factor ที่แถวสุดท้ายของช่องเปิดแบบต่าง ๆ กับ Light shelf ...85
6.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5% ของ Light shelf รูปแบบต่าง ๆ วันที่ 11, 13 และ 15 ต.ค. 2546....88
6.2 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf รูปแบบต่าง ๆ ในด้านทิศเหนือเมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT....89
6.3 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf รูปแบบต่าง ๆ ในด้านทิศใต้เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT....90
6.4 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายแสงของ Light shelf แต่ละแบบ....91
6.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5% ของ Light shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ 1.20 เมตร วันที่ 11 และ 13 ต.ค. 2546....93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.6 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ 1.20 เมตร ในด้านทิศเหนือเมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT.....94

6.7 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ 1.20 เมตร ในด้านทิศใต้เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT.....94

6.8 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายแสงของ Light shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ 1.20 เมตร..... 96

6.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5% ของ Light shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร วัสดุผิวต่าง ๆ วันที่ วันที่ 11, 13 และ 11 พ.ย. 2546.....99

6.10 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf แบบภายนอกอาคาร วัสดุผิวต่าง ๆ กันในด้านทิศเหนือเมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT.....100

6.11 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf แบบผสม วัสดุผิวต่าง ๆ กัน ในด้านทิศเหนือเมื่อเทียบกับค่าความสว่างของ AIT 101

6.12 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light shelf วัสดุผิวต่าง ๆ กัน.....102

6.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5% ของ Light shelf แบบเอียง 30 องศา และ 90 องศา วันที่ 13 และ 20 ต.ค. 2546.....104

6.14 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf แบบเอียง 30 องศา และ 90 องศาในด้านทิศเหนือเมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT.....105

6.15 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light shelf ความเอียง 30 องศา และ 90 องศา..... 106

6.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5% ของ Light shelf ที่ความสูงเพดานต่าง ๆกัน..... 108

6.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5% ของ Light shelf ที่ความสูงเพดานต่าง ๆกัน (ต่อ).....109

6.18 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf แบบภายนอกที่ความสูงเพดานต่าง ๆ กันในด้านทิศเหนือเมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT.....110

6.19 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light shelf แบบผสมที่ความสูงของเพดานต่าง ๆ กันในด้านทิศเหนือเมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT.....111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.20 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light shelf แบบภายนอกที่ความสูงของเพดานและระดับ Light shelf ต่าง ๆ กัน....112

6.21 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light shelf แบบผสมที่ความสูงของเพดานและระดับ Light shelf ต่าง ๆ กัน....112

6.22 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 5.6 x 3.05 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....116

6.23 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 4 x 3.05 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....117

6.24 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 3 x 3.05 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....118

6.25 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 5.6 x 2.75 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....119

6.26 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 4 x 2.75 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....120

6.27 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 5.6 x 2.5 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....121

6.28 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 4 x 2.5 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....122

6.29 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 5.6 x 2.25 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....123

6.30 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 4 x 2.25 เมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....124

6.31 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 1 ช่อง, แบบ 1 ช่อง + 1 ช่องบนเมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....127

6.32 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 2 ช่อง, แบบ 2 ช่อง + 1 ช่องบนเมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....128

6.33 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 3 ช่อง, แบบ 3 ช่อง + 1 ช่องบนเมื่อใช้ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม....129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.34 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 3 ช่อง.....130

6.35 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 3 ช่อง + 1.....131

6.36 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 2 ช่อง.....132

6.37 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 2 ช่อง + 1.....133

6.38 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 1ช่อง.....134

6.39 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 1 ช่อง + 1.....135

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะสเปกตรัมของพลังงานต่าง ๆ....4

2.2 แสดงหน้าตัดลูกนัยน์ตา....5

2.3 แสดงพฤติกรรมของแสงในรูปแบบการดูดกลืน....6

2.4 แสดงลักษณะการสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา....6

2.5 แสดง Perfect Diffuse Surface....7

2.6 แสดง Semi Diffuse Surface....7

2.7 แสดงการสะท้อนแบบ Combined Specular&Diffuse Reflection....7

2.8 แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งใสแล้วเกิดการหักเหของแสง....8

2.9 แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งแสง....9

2.10 แสดงความสัมพันธ์ของความส่องสว่าง....11

2.11 แสดงค่าระดับความส่องสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน....11

2.12 แสดงลักษณะความสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม....14

2.13 แสดงท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast Sky)....17

2.14 แสดงท้องฟ้าแบบโปร่ง (Clear Sky)....18

2.15 แสดงลักษณะแสงธรรมชาติทางด้านข้างของอาคาร....21

2.16 แสดง Building Footprint.... 22

2.17 แสดงลักษณะแสงธรรมชาติทางด้านบนของอาคาร....22

2.18 แสดงการให้แสงแบบรวม....23

2.19 รูปแบบม่านสะท้อนแสง....24

2.20 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light shelves....24

2.21 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light shelves ที่มีการใช้งานจริง....25

2.22 แสดงลักษณะองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ DF....27

2.23 แสดงการแบ่งส่วนพื้นที่ภายในห้อง....30

2.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของห้องและความสูงของช่องเปิด....31

2.25 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของหน้าต่างที่มีความสัมพันธ์ต่อการส่องผ่านของแสงและ
แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างของหน้าต่าง 2 ด้านที่ความสูงต่างกัน.... 32

2.26 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างจากการปรับเปลี่ยนความยาวของหน้าต่าง....32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.1 แสดงค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยทุก ๆ 1 ชั่วโมง (Klux).....36

3.2 แสดงสภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ย 10 ปี (2533 – 2542).....38

4.1 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ทำการทดสอบ.....50

5.1 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ Light shelf แบบต่าง ๆ.....56

5.2 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light shelf แบบภายนอกและแบบผสม..... 57

5.3 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light shelf แบบที่มี Overhang และแบบผสม.....57

5.4 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ Light shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ 1.20 เมตร.....59

5.5 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร.....60

5.6 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร.....60

5.7 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบวัสดุของ Light shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร.....61

5.8 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบผิววัสดุของ Light shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร.....62

5.9 แสดงสภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดสอบ.....63

5.10 แสดงหุ่นจำลองขณะทดสอบ Light shelf แบบเอียง 30 องศา และแบบตรง.....63

5.11 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light shelf ความเอียง 30 องศาและ 90 องศา.....64

5.12 แสดงสภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดสอบ.....65

5.13 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบหาความสูงของเพดานที่ความสูง 3.50 และ 4.00 เมตร...65

5.14 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบหาความสูงของเพดาน Light shelf สูง 2.00 มตร.....66

5.15 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบหาความสูงของเพดาน Light shelf สูง 3.00 มตร.....66

7.1 แสดงรูปแบบของผังห้องสมุด.....140

7.2 แสดงแบบขยายของหน้าต่างและรูปทรงของ Light shelf ที่เลือกใช้ด้านทิศเหนือ.....141

7.3 แสดงแบบขยายของหน้าต่างและรูปทรงของ Light shelf ที่เลือกใช้ด้านทิศใต้.....141

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

การวิจัยนี้เป็นไปเพื่อการศึกษาหาวิธีการที่จะเพิ่มปริมาณความสว่างให้กับอาคารโดยวิธีให้แสงจากด้านข้าง (Side Lighting) โดยศึกษาร่วมกับการใช้หิ้งสะท้อนแสง (Light shelf) โดยมีวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้กับอาคารห้องสมุดซึ่งเป็นอาคารอเนกประสงค์ของกรมสามัญศึกษาเป็นแบบมาตราฐานนำไปใช้กับโรงเรียนในสังกัดทั่วประเทศโดยด้านล่างเป็นห้องสมุด และชั้นบนเป็นห้องประชุม เนื่องจากห้องประชุมที่อยู่ด้านบนมีขนาดพื้นที่ใหญ่กว่าส่วนห้องสมุดด้านล่างทำให้แสงธรรมชาติที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่อาคารมีระดับความสว่างต่ำ ทำให้พื้นที่ภายในต้องใช้แสงประดิษฐ์เสริมเป็นอย่างมาก เป็นผลให้เกิดการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง

ดังจะเห็นได้จากการที่อาคารเรียนส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้ระบบไฟฟ้าเพื่อสร้างสภาวะความสบายทางด้านแสงสว่าง จากรายงานการศึกษาของ U S A I D เรื่อง Energy Conservation in Commercial Building ได้ทำการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทต่าง ๆ โดยแยกตามประเภทกิจกรรมซึ่งคิดเป็นร้อยละของการใช้งานดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทต่างๆจากรายงานของ U S A I D

ประเภทอาคาร	ระบบความเย็น %	ระบบแสงสว่าง %	อื่นๆ %	รวม %
สำนักงาน	50	25	25	100
โรงแรม	61	15.3	23.7	100
สถานศึกษา	**22.2**	**55.6**	**22.2**	**100**
ศูนย์การศึกษา	60	25	15	100
โรงพยาบาล	77.5	14.7	7.8	100
ภัตตาคาร	27.8	45	27.5	100

จากตารางที่ 1.1 อาคารประเภทสถานศึกษามีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างมากสุดถึง 55.6% เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่น ๆ อาคารประเภทนี้มีแบบมาตราฐานนำไปใช้ทั่วประเทศ การออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่างจึงเป็นสิ่งสำคัญ

การใช้แสงธรรมชาติในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมากในการออกแบบ ซึ่งไม่ใช่เพียงแค่การออกแบบช่องเปิดเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงการให้ความสำคัญตังแต่เริ่มต้น ในเรื่องของรูปทรงของอาคาร ทิศทาง,รูปแบบและขนาดสัดส่วนของช่องเปิดด้วย การใช้แสงธรรมชาติจากด้านข้าง (Side Lighting) ร่วมกับแสงประดิษฐ์สามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้มากกว่า 50% โดยขึ้นอยู่กับปริมาณแสงในแต่ละวัน

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาแนวทางการนำแสงธรรมชาติโดยวิธี (Side Lighting) มาใช้ภายในห้องสมุด

1.2.2 ศึกษาการป้องกันแสงแดดจากการใช้หิ้งสะท้อนแสง (Light shelf) ร่วมกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจากช่องเปิดด้านข้าง (Side Lighting)

1.2.3 ศึกษาการใช้แสงธรรมชาติทางอ้อมจากการสะท้อนของหิ้งสะท้อนแสง (Light shelf) ภายในอาคารร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ เพื่อการประหยัดพลังงาน

1.2.4 นำเสนอรูปแบบช่องเปิดด้านข้างที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พร้อมทั้งนำเสนอการปรับปรุงอาคารให้เหมาะสมกับการออกแบบช่องเปิดด้านข้าง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ขนาดและสัดส่วนของช่องเปิดด้านข้างมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความสว่างภายในอาคาร

1.3.2 ความสูงของหน้าต่างมีผลต่อระดับความสว่างภายในทางลึกมากกว่าความกว้าง

1.3.3 รูปแบบของช่องเปิดมีผลต่อการกระจายแสงและระดับความสว่างภายในอาคาร

1.3.4 ระดับความสูงของเพดานมีผลต่อค่าความสว่างภายใน

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานด้านต่างๆของวิธีการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ห้องสมุด และทฤษฎีของแสง ได้แก่ ธรรมชาติของแสง, ทฤษฎีของแสง

1.4.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความสว่างภายในอาคาร ได้แก่ รูปแบบ, ขนาด, ความเอียง, และวัสดุของ ทั้งช่องแสงและตัวอาคาร

1.4.3 กำหนดขนาดของช่องเปิด ,ช่องแสง ให้สอดคล้องกับการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารระดับที่เหมาะสม

1.4.5 ศึกษาข้อมูลด้านสภาพแสงสว่างของกทม.

1.4.6 ทำการออกแบบทางเลือกโดยใช้หุ่นจำลอง เก็บข้อมูลแสงธรรมชาติภายในอาคารที่ระดับ working plane

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการออกแบบแสงในอาคาร

1.5.2 เป็นการสำรวจ และศึกษาเบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นแนวคิด ทฤษฎี และปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจาะช่องเปิด ศึกษาถึงสาเหตุและตัวแปรที่เกี่ยวเนื่องกับสภาวะสบายทางสายตาโดยอาศัยข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลสถิติของสภาพแสงสว่าง

1.5.3 นำข้อมูลที่ได้ในเบื้องต้น มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการทำการทดลอง

1.5.4 ทำการออกแบบการทดลอง

1.5.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเปรียบเทียบกันในแบบต่างๆ

1.5.6 สรุปผลการทดลอง อันจะนำไปสู่ การออกแบบปรับปรุง

1.5.9 จัดทำเป็นเอกสารรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ข้อสรุปรูปแบบของการออกแบบช่องเปิดด้านข้างสำหรับห้องสมุด เพื่อให้ความสว่างที่เหมาะสมแก่อาคาร

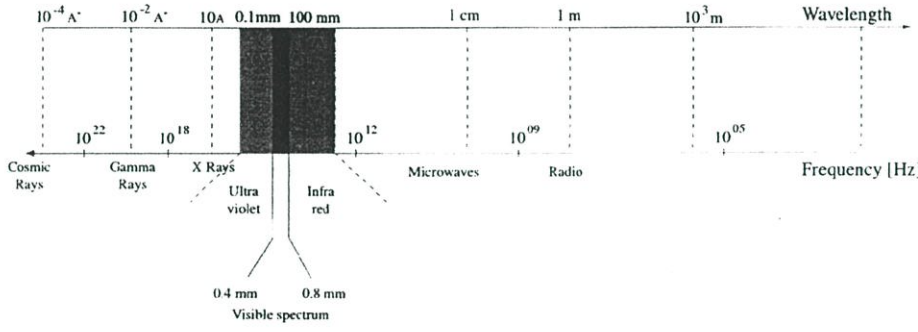
1.6.2 ได้รูปแบบของผังและการจัดพื้นที่ภายในห้องสมุดที่เหมาะสมแก่การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

1.6.3 เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงสว่างมีส่วนเกี่ยวข้องกับมนุษย์โดยตรง ทำให้มนุษย์มองเห็นและสามารถบอกเรื่องราวต่างๆ จากสิ่งที่มองเห็นได้ แสงเป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้ โดยการเคลื่อนที่ของแสงอยู่ในรูปของคลื่น แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยไม่ต้องอาศัยตัวนำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากดวงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะสเปกตรัมของพลังงานต่างๆ

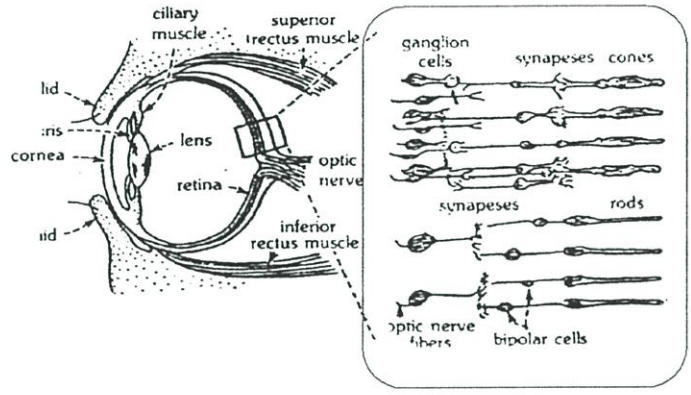
- รังสีแกมมา, เอกซเรย์, อัลตราไวโอเลต รังสีที่อยู่ในย่านความยาวคลื่นนี้ ไม่ตกลงมาถึงพื้นโลกเพราะถูกดูดจากโอโซนในชั้นบรรยากาศ

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในย่าน 290-1400 นาโนเมตร ซึ่งคลื่นในย่านนี้มีทั้งมองเห็นและมองไม่เห็น ในส่วนของคลื่นย่านที่มองเห็นมีความยาวคลื่นในย่าน 380-760 นาโนเมตร โดยคลื่นย่านที่มีความไวต่อสายตามนุษย์มากที่สุดอยู่ที่ย่านความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร ซึ่งคลื่นในย่านความยาวนี้มีลักษณะเป็นแสงสีเหลือง

- คลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1400 นาโนเมตร คลื่นในย่านนี้ถูกดูดด้วยละอองน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

2.1.1 การมองเห็นและการรับรู้

แสงตกกระทบที่วัตถุใด จะเกิดการสะท้อนเข้าสู่กระบอกตาผ่านแก้วตา (Cornea) ลูกตา (Lens) เรตินา (Retina) และสมองตามลำดับ โดยที่กล้ามเนื้อตาทำหน้าที่ขยายหรือหดตัว เพื่อเป็นโฟกัสให้แสงกระทบแก้วตา



ภาพที่ 2.2 แสดงหน้าตัดของลูกนัยน์ตา

เซลล์รับการมองเห็นในตามนุษย์มีสองอย่าง ได้แก่ เซลล์โคน (Cone) และเซลล์รอด (Rod) โดยที่เซลล์รอดมีความไวต่อการรับแสงสว่างแต่ไม่ไวต่อสี นั่นคือในที่มืดมนุษย์สามารถมองเห็นได้ดีสำหรับแสงที่มีความยาวคลื่น 507 นาโนเมตรอยู่ในช่วงแถบสีน้ำเงินและสีเขียว สามารถเห็นได้ง่ายทั้งที่มีแสงน้อย ในส่วนของเซลล์โคนมีความไวต่อการรับสีส้น ซึ่งไวต่อความยาวคลื่นแสงที่ 555 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในย่านสีเหลือง

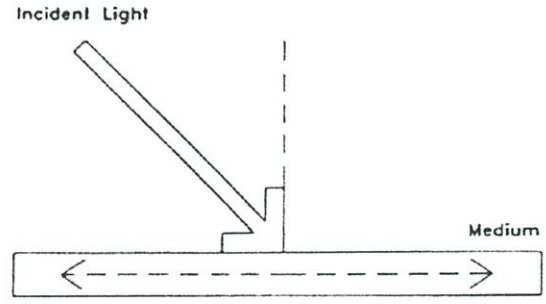
การให้แสงสว่างสำหรับอาคารในทางปฏิบัติต้องพยายามให้แสงสว่างในบริเวณต่างๆ ภายในพื้นที่เดียวกันไม่ให้มีความสว่างแตกต่างกันมาก เนื่องจากตาต้องใช้เวลาในการทำหน้าที่ปรับตัวเพื่อให้มองเห็นได้ง่าย ทำให้เกิดความสบายตา

2.1.2 พฤติกรรมของแสง

พลังงานของแสงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยพลังงานแบบรังสีตรงและแบบรังสีกระจาย เมื่อแสงส่องผ่านอนุภาคของชั้นบรรยากาศของโลก จะเกิดการหักเหและการสะท้อนก่อนที่จะส่องลงมายังผิวโลก แสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งเดินผ่านออกสู่ตัวกลางชนิดต่างๆ จำพวกอากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งใส และวัตถุทึบ ซึ่งแสงมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถจำแนกพฤติกรรมของแสงได้ดังนี้

2.1.2.1 **การดูดกลืน** (Absorption)

เป็นพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบวัตถุแล้วถูกดูดกลืนหายไปในวัตถุ ทำให้เกิดปรากฏการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงาน โดยทั่วไปพลังงานที่เกิดจากการดูดกลืนของแสงเข้าสู่ตัวกลางจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน



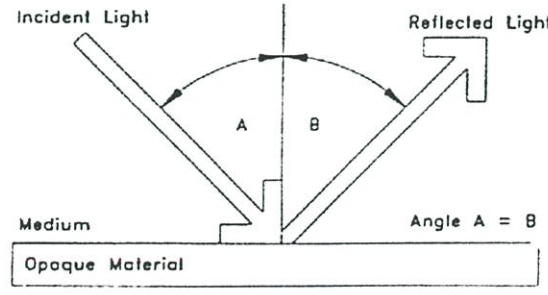
ภาพที่ 2.3 แสดงพฤติกรรมของแสงในรูปแบบการดูดกลืน

2.1.2.2 **การสะท้อน** (Reflection)

เป็นพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบวัตถุหรือตัวกลางแล้วการสะท้อนออกไปโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสะท้อนมีรูปเบ้หลายประเภทโดยจำแนกเป็น

<u>การสะท้อนเหมือนกระจกเงา (Specular reflection)</u>

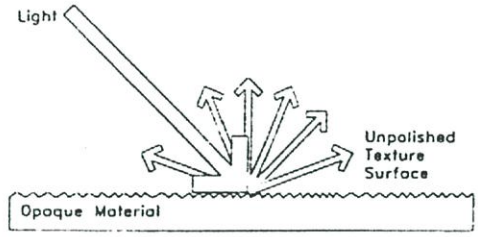
เป็นพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบวัตถุที่มีลักษณะทึบแสง (Opaque material) ที่มีลักษณะพื้นผิวเรียบขัดมัน โดยที่ลักษณะของการสะท้อนแสงมีมุมกระทำของการสะท้อนออกเท่ากับมุมที่แสงตกกระทบ (Angel of Reflection)



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะการสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา

การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse reflection)

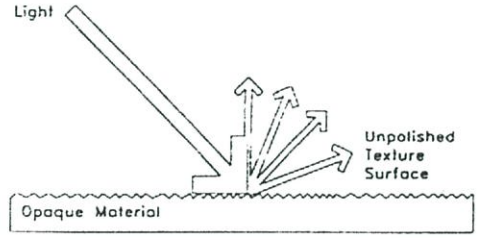
เป็นพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบพื้นที่ผิวของวัตถุที่ไม่ราบเรียบ การสะท้อนของแสงจะถูกสะท้อนออกมาหลายทิศทาง ถ้าพื้นที่ผิวของวัตถุนั้นมีลักษณะไม่ราบเรียบแบบสม่ำเสมอ มุมการสะท้อนของแสงก่อให้เกิดการกระจายแสงเท่ากันทุกมุมสะท้อน แต่ถ้าวัตถุมีพื้นผิวแบบไม่เรียบแบบสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Surface) แสงที่สะท้อนออกมามีลักษณะเป็นแบบกระจายแสงแบบสมบูรณ์



ภาพที่ 2.5 แสดง Perfect Diffuse Surface

การสะท้อนแบบไม่สม่ำเสมอ (Semi Diffusing Surface)

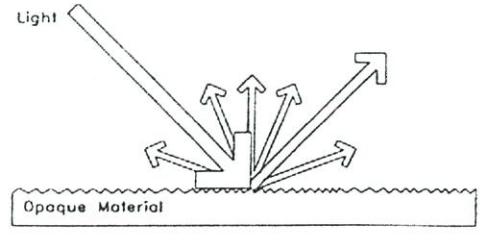
เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่าๆ กันในทุกมุมสะท้อน แต่หากผิววัตถุไม่เรียบ (Semi Diffusing Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย



ภาพที่ 2.6 แสดง Semi Diffusing Surface

การสะท้อนของแสงผสม (Combined Specular&Diffuse Reflection)

โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะมีลักษณะผสมกันระหว่างการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา และการสะท้อนแบบกระจาย



ภาพที่ 2.7 แสดงการสะท้อนแบบ Combined Specular&Diffuse Reflection

2.1.2.3 **การส่องผ่าน** (Transmission)

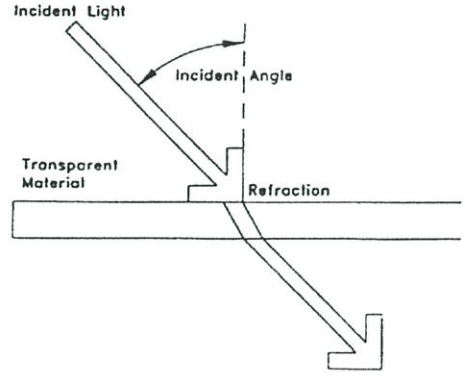
เป็นพฤติกรรมของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบกับตัวกลางที่เป็นวัตถุแล้วเกิดการทะลุผ่านไปยังวัตถุอีกด้านหนึ่ง เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่ส่องผ่านได้ แสงบางส่วนถูกดูดกลืนภายในวัตถุ และถูกสะท้อนออก แสงส่วนที่เหลืออยู่เป็นส่วนที่ทะลุผ่านมาได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณของแสงทั้งหมดที่ตกกระทบวัตถุในส่วนหนึ่ง เป็นการประกอบกันตามพฤติกรรมการตกกระทบของแสง ซึ่งประกอบไปด้วย การดูดกลืน, การสะท้อน, และการส่องผ่านของแสง

$$\text{Absorptance} + \text{Reflection} + \text{Transmittance} = 1$$

คุณสมบัติการส่องผ่านของแสง โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับตัวกลางที่ถูกส่องผ่าน ซึ่งทำให้ลักษณะของแสงที่ทะลุผ่านตัวกลางแตกต่างกันออกไป ตัวกลางที่มีผลต่อการส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

<u>ตัวกลางโปร่งใส (Transparent medium)</u>

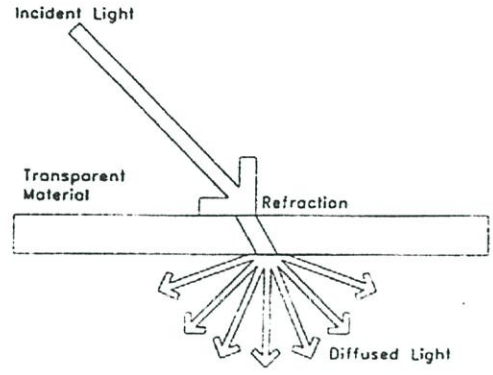
การส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางประเภทนี้ ทำให้เกิดการหักเห (refrected) หรือการเปลี่ยนทิศทาง แล้วจึงทะลุผ่าน ทั้งนี้เกิดการเบี่ยงเบนขนาดใดย่อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางนั้น ลักษณะของตัวกลางประเภทนี้เช่น กระจกใส เป็นต้น



ภาพที่ 2.8 แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งใสแล้วเกิดการหักเหของแสง

ตัวกลางโปร่งแสง (Translucent medium)

ลักษณะของแสงที่ส่องผ่านตัวกลางประเภทนี้มีลักษณะการส่องผ่านของแสงแบบกระจาย (diffuse transmission) และไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 2.9 แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งแสง

2.1.3 เกณฑ์การวัดความสว่าง (Measurement of light)

การวัดค่าปริมาณของแสงมีมานานแล้ว ตั้งแต่ยังไม่กำเนิดหลอดไฟฟ้า ในการวัดความสว่างของแสงมีลักษณะเป็นการอ้างอิงเปรียบเทียบกับวัตถุที่มีความสว่างอื่น โดยที่วัตถุที่ใช้อ้างอิงในยุคนั้นใช้เทียนไขเป็นสิ่งเทียบเคียง ทำให้เกิดเป็นหน่วยของแสงขึ้นมาและใช้ต่อมาจนกระทั่งปัจจุบัน เช่น แรงเทียน (Candlepower), แคนเดลา (Candela,cd) และหน่วยอื่นๆ แคนเดลาเป็นแหล่งกำเนิดแสงซึ่งสามารถวัดค่าได้ โดยที่สามารถบอกความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous intensity) หรือบางทีเรียกได้ว่า กำลังส่องสว่าง (Candlepower) ซึ่งมีหน่วยเป็นแคนเดลา ความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับ ความเข้มของแสงจากเทียน 1 เล่ม ที่ส่องอยู่ในบริเวณที่มืดสนิท และเทียน 1 เล่มที่ส่องให้พื้นที่รอบเทียนมีความสว่าง 1 ตารางฟุต สามารถเรียกระดับความสว่างในระดับนี้ได้ว่ามีค่า 1 ฟุตแคนเดิล ซึ่งหน่วยของแสงดังกล่าวยังนิยมใช้กันอยู่โดยเฉพาะประเทศในแถบสหรัฐอเมริกา

2.1.3.1 ปริมาณแสง (Luminous flux,F)

เป็นปริมาณแสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง หรือตกลงบนพื้นที่รับแสง ซึ่งการวัดเป็นการบอกค่าพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ มีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen, lm) เช่น เทียนไข 1 เล่ม สามารถให้แสงเปล่งออกมาประมาณ 12.57 ลูเมน

ในการนำเอาแหล่งกำเนิดแสงซึ่งมีขนาดเล็กมาก มีลักษณะเหมือนจุด (point source) และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา (เทียนไข 1 เล่ม) วางอยู่ในศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย โดยที่มีปริมาณแสงพุ่งออกมาและตกกระทบบนพื้นทุกๆ 1 ตารางหน่วย พื้นที่ทรงกลมในส่วนนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน แต่พื้นที่รอบผิวทรงกลมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 12.56 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา สามารถเปล่งแสงออกมาได้เป็นปริมาณเท่ากับ 12.57 ลูเมน

2.1.3.2 **โซลิด แองเกิล** (Solid angle)

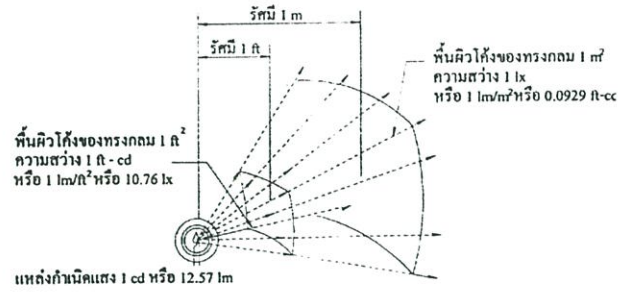
เป็นการวัดสัดส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลม ที่ถูกครอบครองด้วยพื้นที่สมมุติทรงกรวย ที่มีส่วนแหลมสุดของทรงกรวยอยู่บริเวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางของทรงกลม กล่าวคืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวในส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้นยกกำลังสองมีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (Steradian)

2.1.3.3 **ความเข้มแห่งการส่องสว่าง** (Luminous intensity,I)

แหล่งกำเนิด (ในที่นี้เปรียบเป็นจุดศูนย์กลางวงกลม) จะปล่อยปริมาณแสงออกมาทุกทิศทาง ดังนั้นความเข้มแห่งการส่องสว่าง คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดเมื่อวัดในโซลิดแองเกิลใดๆ ในทิศทางหนึ่ง ความเข้มแห่งการส่องสว่างสามารถเรียกอีกอย่างว่า กำลังส่องสว่าง (Candlepower) โดยมีหน่วยเป็นลูเมนต่อสเตอเรเดียน (Lumen per steradian) หรือที่เรียกว่า แคนเดลาซึ่งค่านี้สามารถบอกถึงความมากน้อยของปริมาณแสงในทิศทางต่างๆ ของแหล่งกำเนิดแสง

2.1.3.4 **ความสว่าง** (Illuminance,E)

เมื่อมีปริมาณแสงตกกระทบลงบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆ จะได้ความส่องสว่างมีหน่วยเป็นลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Lumen per unit area) หากพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงในศูนย์กลางของวงกลม เมื่อทรงกลมนี้มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่พุ่งออกไปตกกระทบพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม จะได้ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (Footcandle,fc) ในกรณีเดียวกันถ้ารัศมีของทรงกลมมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตาตารางเมตร หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า 1 ลักซ์ (Lux,lx)



ภาพที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ของความส่องสว่าง

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , page 915

2.1.3.5 การส่องสว่าง (Illumination)

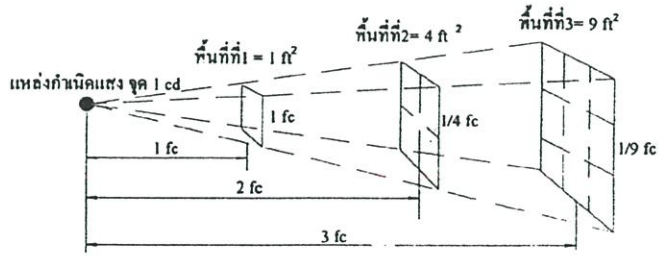
ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง และแปรผกผันกับระยะทางระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสงยกกำลังสองโดยที่เรียกความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) ซึ่งมีหน่วยเป็นลักซ์ (lx) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc) โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = I/d^2$$

E คือปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็นลักซ์ (lx) หรือฟุตแคนเดิล (fc)

I คือความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งสู่พื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็น แคนเดลา (cd)

D คือ ระยะระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสงมีหน่วยเป็น เมตร (m) หรือฟุต (ft)



ภาพที่ 2.11 แสดงค่าระดับความส่องสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน

2.1.4 คุณสมบัติของแสง

แสงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มความชัดเจนแก่การมองเห็นของมนุษย์ ถ้าแสงมีปริมาณน้อยเกินไปสายตาของมนุษย์ย่อมมองเห็นได้ไม่ชัดเจน แต่ถ้ามีปริมาณแสงมากเกินไปก็ทำให้สายจาของมนุษย์เกิดการพร่ามัวหรือเกิดอาการแสบตาจนไม่สามารถลืมตาได้ ด้วยเหตุผลนี้เองมนุษย์จึงต้องการปริมาณแสงที่เหมาะสมสำหรับการมองเห็น คุณสมบัติต่างๆของแสงจึงมีผลต่อการรับรู้ของมนุษย์ โดยแบ่งประเภทของคุณสมบัติของแสงดังนี้

2.1.4.1 ความส่องสว่าง (Luminance;L)

ความส่องสว่าง หมายถึง ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุโดยมีหน่วยเป็น แคนเดลา/เมตร^2 หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert;FL) แสงที่มีปริมาณเดียวกันที่ตกกระทบพื้นที่ผิวที่มีสีต่างกันจะมีการสะท้อนกลับออกมาต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดความสว่างต่างกัน

การมองเห็นวัตถุได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความสว่างหรือแสงที่มาเข้าในตา ซึ่งในกรณีนี้ลักษณะแสงที่เข้ามาตกกระทบกับตามีส่วนสำคัญในประสิทธิภาพของการมองเห็น ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ วัตถุที่มีผิวด้าน สามารถมองเห็นได้ดีกว่าวัตถุที่มีผิวมัน เนื่องจากวัตถุที่มีผิวมันเมื่อแสงเข้ามาตกกระทบ แสงจะถูกสะท้อนไปในทางเดียวและไม่เข้าตา ทำให้มองไม่เห็นวัตถุ หรือถ้ามองเห็นแสงจะถูกสะท้อนเข้าสู่ตาโดยตรงทำให้เกิดแสงบาดตา วัตถุสีขาวมองเห็นได้ดีกว่าวัตถุสีดำ เพราะแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุสีขาวเข้าสู่ตาได้มากกว่าการสะท้อนของแสงของวัตถุสีดำ

ความส่องสว่าง เรียกได้อีกอย่างว่า ความจ้า (Brightness) แต่พิจารณาในแง่ของการตอบสนองทางด้านความคิด (Subjective respose) ต่อความสว่างในพื้นที่ที่มองเห็น (Field of view) ซึ่งขึ้นอยู่กับการปรับสภาพของดวงตาของแต่ละบุคคล ซึ่งเป็นข้อจำกัดของระบบการมองเห็น (Visual system) ตามการตอบสนองทางกายภาพ (physiologically response) กับการกระจายความสว่าง (Luminance distribution) บนพื้นที่ภาพที่มองเห็น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณความสว่าง (Luminance) ขึ้นอยู่กับค่าการส่องสว่าง (Illuminance) และค่าสะท้อนแสงของพื้นที่ผิว ซึ่งปริมาณเหล่านี้สามารถวัดค่าได้ (Objective quantity) โดยการคำนวณ และการวัดค่าโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ แต่ไม่มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับการตอบสนองทางด้านความคิดที่มีผลต่อความจ้า ซึ่งเป็นสิ่งที่ตามองเห็นและสมองร่วมกันสร้างภาพให้เรารับรู้ แต่อย่างไรก็ตามความสว่างก็เป็นคุณ

ลักษณะที่สำคัญทางด้านกายภาพที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่างกับความจ้าที่ปรากฏ (Apparent brightness) บนผืนภาพที่มองเห็น

2.1.4.2 **สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ** (Reflectance, ρ)

สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาพื้นที่ผิวของวัตถุ ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ผิวของวัตถุนั้น ซึ่งค่าที่ได้นี้ไม่มีหน่วยแต่มีการเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

2.1.4.3 **สัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงของวัสดุ** (Transmittance, τ)

สัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงของวัสดุ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่านพื้นผิว ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้น ซึ่งค่าค่าที่ได้นี้ไม่มีหน่วยแต่มีการเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

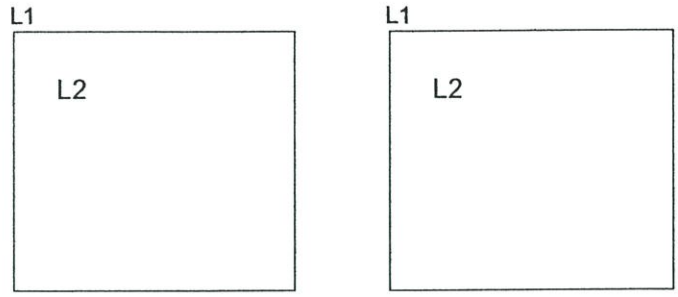
2.1.4.4 **ความเปรียบต่าง** (Contrast)

ความเปรียบต่างคือความสว่างของวัตถุที่ไม่ต้องการมองเทียบกับความส่องสว่างรอบข้าง ถ้ามีความเปรียบต่างมากจะสามารถมองเห็นวัตถุได้ง่ายขึ้น กล่าวคือ วัตถุสีขาวบนพื้นสีดำสามารถมองเห็นได้ง่ายกว่าวัตถุสีดำบนพื้นสีดำ แต่ถ้าวัตถุมีความเปรียบต่างมากเกินไป ทำให้การจ้องมองมากจนเกินไปทำให้สายตาล้าได้ โดยที่ความเปรียบต่างกำหนดได้ด้วยอัตราส่วนของความแตกต่างของความสว่างของวัตถุ และความส่องสว่างของสภาพแวดล้อม ดังสมการ

$$\text{Contrast} = (L2-L1)/L1$$

โดยที่ L1 = ความสว่างของสภาพแวดล้อม

L2 = ความสว่างของวัตถุ



(ก) (ข)

หมายเหตุ; L1 = ความสว่างของสภาพแวดล้อม

L2 = ความสว่างของวัตถุ

ภาพที่ 2.12 แสดงลักษณะความสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม

(ก) ความสว่างของวัตถุและสภาพรอบข้างใกล้เคียงกันทำให้มองเห็นยาก

(ข) ความสว่างของวัตถุและสภาพรอบข้างต่างกันทำให้มองเห็นวัตถุได้ง่าย

2.1.4.5 **แสงบาดตา** (glare)

แสงบาดตาหมายถึงแสงที่เข้าตาทำให้มองเห็นวัตถุได้ยากหรือมองไม่เห็นเลย ทำให้เกิดความไม่สบายทางสายตา โดยทั่วไปแสงบาดตา แบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (Disability glare) และแสงบาดตาแบบไม่สบายตา (Discomfort glare) แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้ เป็นแสงบาดตาประเภทที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้เลย เช่น มีแสงส่องผ่านเข้ามามากจนไม่สามารถมองเห็นวัตถุ ส่วนแสงบาดตาแบบไม่สบายตา เป็นแสงประเภทที่มองเห็นวัตถุได้ แต่มองเห็นด้วยความยากลำบาก หรือเกิดมีความจ้ามากเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมทั่วไป

แสงจากแหล่งกำเนิดทำมุมแนวดิ่งเข้ามาสู่ดวงตาเกินกว่า 45องศาขึ้นไป ทำให้เกิดแสงบาดตา แต่ถ้าปริมาณของแสงมีไม่มากเกินไปสามารถมองเห็นวัตถุโดยไม่ลำบาก ซึ่งกรณีนี้สามารถบอกได้ว่าแสงบาดตาไม่สร้างปัญหาแก่การมองเห็น

2.1.4.6 **ประสิทธิภาพแสงหรือประสิทธิผล** (Luminous efficiecy)

ประสิทธิภาพแสงหรือประสิทธิผล หมายถึง ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง เมื่อเทียบกับพลังงานทางไฟฟ้า ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดแสงย่อมมีประสิทธิผลแตกต่างกัน เช่น

- หลอดอินแคนเดสเซนต์หรือหลอดไส้ทั่วไปมีค่าประสิทธิผลประมาณ10-15ลูเมน/วัตต์
- หลอดฟลูออเรสเซนต์มีค่าประสิทธิผลประมาณ 50-80 ลูเมน/วัตต์
- แสงธรรมชาติ มีค่าประสิทธิผลประมาณ 110-115

การให้แสงสว่างสำหรับความต้องการประหยัดพลังงาน ควรเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มีค่ามีประสิทธิผลมาก เนื่องจาก ถ้าค่าประสิทธิผลมีค่าสูง ปริมาณแสงจะถูกปลดปล่อยออกมามาก เมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้ไปน้อย

2.1.5 **แสงธรรมชาติ** (Daylighting)

แสงธรรมชาติ เป็นแสงที่ให้พลังงานคลื่นแสงครบทุกช่วงคลื่น วัตถุที่อยู่ภายใต้การส่องสว่างของแสงธรรมชาติจึงมีสีตรงกับความเป็นจริงไม่เกิดสีที่ผิดเพี้ยนไปจากความจริง เนื่องจากแสงประดิษฐ์ทั่วไปไม่สามารถให้พลังงานของคลื่นแสงได้ครบ โดยทั่วไปแสงธรรมชาติมีองค์ประกอบหลักสองส่วน ได้แก่

- แสงแดด (sunlight)
- แสงจากท้องฟ้า (skylight)

2.1.5.1 **ลักษณะทางกายภาพของแสงธรรมชาติ**

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สำคัญที่สุด การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นในรูปของรังสีคลื่นสั้น (Short wave radiation) ประกอบด้วยคลื่นรังสีอุลตราไวโอเลต (Ultra violet) คลื่นรังสีที่ตามองเห็น(Visible light) และคลื่นรังสีใกล้อินฟาเรด (Near infrared) เมื่อแสงส่องผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดการสะท้อนกลับและถูกดูดซับบางส่วน โดยรังสีของแสงที่เหลือจะเกิดการหักเหและกระจายผ่านชั้นบรรยากาศและชั้นเมฆลงสู่พื้นโลก ซึ่งรังสีที่ตกกระทบสู่พื้นโลกแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทได้แก่

- รังสีตรงของดวงอาทิตย์ (direct solar radiation,ID)
- รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ (diffuse solar radiation,Id)
- รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์ (reflected solar radiation,Ir)
- รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์ (total or global solar radiation, IT)

โดยที่รังสีรวมของดวงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับผลรวมของรังสีทั้งหมดที่ตกกระทบผิวโลก เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$IT = ID + Id + Ir \qquad \text{(มีหน่วยเป็น BTU/Hr.Sq.ft)}$$

โลกหมุนรอบตัวเองทำให้เกิดปรากฏการณ์กลางวันและกลางคืน ในขณะเดียวกันโลกมีการหมุนโคจรรอบดวงอาทิตย์ และแกนของโลกเอียงโดยมีมุมเอียง $23^{\circ}27'$ ทำให้เกิดฤดูที่แตกต่างกันในรอบหนึ่งปีหรือการโคจรครบรอบดวงอาทิตย์ในหนึ่งรอบ เมื่อแกนโลกเบนเข้าหาดวงอาทิตย์ทำให้เกิดเป็นฤดูร้อน และเมื่อเบนออกจากดวงอาทิตย์ทำให้เกิดเป็นฤดูหนาว ลักษณะของการโคจรรอบดวงอาทิตย์และการหมุนของโลกมีผลเป็นอย่างมากกับฤดูกาลของโลก โดยมีการกำหนดช่วงหรือวันที่แบ่งลักษณะการแตกต่างของฤดูกาลได้ ดังต่อไปนี้

วันที่ 21 มิถุนายน (Summer Solstice) ซีกโลกเหนือจะเบนตัวเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด กำหนดว่าเป็นฤดูร้อน และเป็นวันที่กลางวันมีระยะเวลายาวนานที่สุด

วันที่ 23 กันยายน (Autumn Equinox) เป็นช่วงเวลาที่มีความสมดุล แกนโลกไม่ได้เบนเข้าหรือออกจากดวงอาทิตย์ ทำให้มีช่วงระยะเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากัน

วันที่ 22 ธันวาคม (Winter solstice) เป็นวันที่ซีกโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด กำหนดว่าเป็นฤดูหนาว และเป็นวันที่กลางคืนมีระยะเวลายาวนานที่สุด

วันที่ 21 มีนาคม (Spring Equinox) เป็นช่วงเวลาที่มีความสมดุล แกนโลกไม่ได้เบนเข้าหรือออกจากดวงอาทิตย์ ทำให้มีช่วงระยะเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากัน

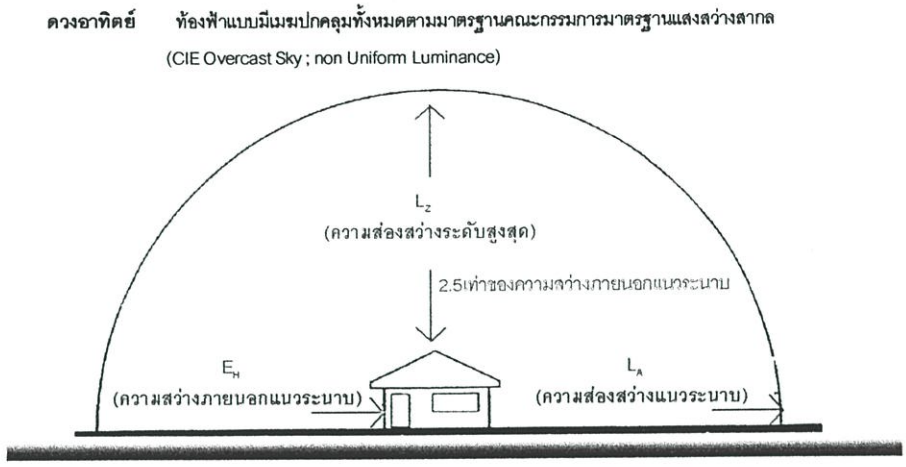
2.2 สภาพท้องฟ้า

มีลักษณะของการแปรเปลี่ยนตลอดเวลา เช่นฝุ่นละอองไอน้ำ หรือเมฆในชั้นบรรยากาศ โดยทั่วไปสามารถแบ่งการพิจารณาลักษณะท้องฟ้าออกเป็น 3 ลักษณะดังนี้

2.2.1 สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสง (Overcast Sky หรือ CIE Overcast Sky)

ท้องฟ้าในลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่าง (Non Uniform Luminance) ซึ่งมีความส่องสว่างในระดับสูงสุด (Zenith Luminance) ที่ส่องพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าความสว่างมากกว่าความสว่างในระนาบ (Horizon Luminance) ที่ส่องกระทบพื้นที่ผิว มีค่าเป็น 3 เท่า

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 2.13 แสดงท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทั้งหมด Overcast Sky

ลักษณะของท้องฟ้าประเภทนี้สามารถหาค่าความสว่างที่จุดใดๆ ได้จากสมการดังนี้

$$L_A = L_Z(1+2\sin A)/3$$

โดยที่ L_A คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่ง A องศาเหนือแนวระนาบในทุกทิศทุกทาง

L_Z คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งจุดสูงสุด

ดังนั้น ความสว่างที่ตำแหน่งแนวระนาบ หรือที่มุม A = 0 องศา มีค่าเท่ากับ L_Z /3 ในส่วนของความสว่างในแนวระนาบภายนอก (Exterior Horizon Illuminance) มีค่ามากกว่าระดับความสว่างในแนวตั้ง (Exterior Vertical Illuminance) ประมาณ 2.5 เท่า โดยพิจารณาจากสมการ

$$E_H = 300 + 21000\sin A$$

โดยที่ E_H คือ ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบ มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux)

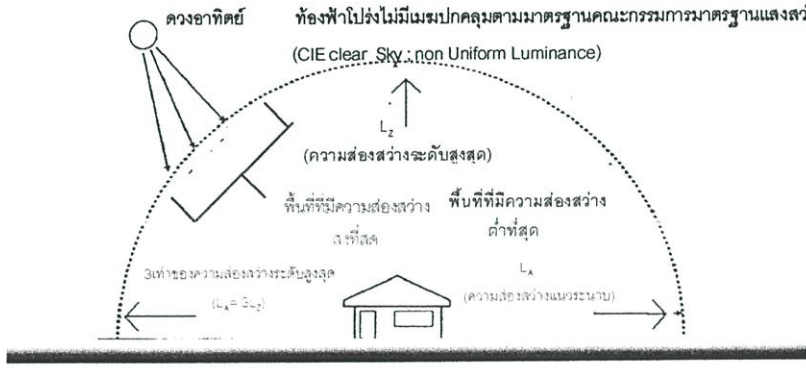
A คือ มุมของดวงอาทิตย์ที่ทำกับพื้นราบ เป็นมุมในระนาบตั้งฉาก(Solar Altitude)

2.2.2 **สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม** (Clear Sky)

ความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้ เกิดจากองค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบ ได้แก่แสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse Illumination) และแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun) ซึ่งปริมาณความสว่างของทั้งสององค์ประกอบนั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยที่ ความสว่างของท้อง

51577

ฟ้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบมีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง ประมาณ 3 เท่า ในกรณีนี้ยังไม่นับรวมกับความสว่างที่เกิดจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ความสว่างของพื้นผิวในแนวระนาบเนื่องจากแสงกระจายของท้องฟ้า พิจารณาเพียงครึ่งส่วนของท้องฟ้า (Half Sky) โดยจะมีค่าความส่องสว่างอยู่ในระหว่าง 3000-20000 ลักซ์ และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10000 ลักซ์



ภาพที่ 2.14 แสดงท้องฟ้าแบบโปร่ง (Clear Sky)

จากการวิจัยของ มูนและฮอพคินสัน (Moon and Hopkinson, 1968) พบว่าค่าระดับความสว่างของท้องฟ้าประเภทนี้มีการแบ่งแยก การวิเคราะห์เป็น สองส่วนอย่างชัดเจน โดยสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

- ความส่องสว่างที่เกิดจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว

$$E_H = 1345 + 14795 \sin A$$

โดยที่ E_H คือ ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบ มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux)

A คือ มุมของดวงอาทิตย์ที่ทำกับพื้นราบ เป็นมุมในระนาบตั้งฉาก(Solar Altitude)

- ความส่องสว่างที่เกิดจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

$$\text{Log}E_H = 4466 + 0.31\text{log}A$$

โดยที่ E_H คือ ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบ มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux)

A คือ มุมของดวงอาทิตย์ที่ทำกับพื้นราบ เป็นมุมในระนาบตั้งฉาก(Solar Altitud)

ความสว่างของพื้นผิวในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับ มุมของดวงอาทิตย์ในระนาบนอนโดยอ้างอิงจากทิศใต้ (Azimuth) และมุมแนวตั้งของดวงอาทิตย์ จึงมีผลต่อความสว่างที่เกิดขึ้นและมีความสว่างสูงในกรณีที่อยู่ในทิศทางเดียวจากดวงอาทิตย์ และมีค่าความสว่างต่ำเมื่ออยู่ด้านตรงข้ามดวงอาทิตย์ (ดวงอาทิตย์มีตำแหน่งอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดหรือมุมดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิดมีค่ามากกว่า 90 องศา) ซึ่งในกรณีนี้ต้องคำนึงถึงลักษณะพื้นผิวของวัตถุในสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการสะท้อนแสงเข้ามาภายในด้วย

2.2.3 สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

การวิเคราะห์ค่าความสว่างที่เกิดภายใต้ท้องฟ้าประเภทนี้ทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพท้องฟ้าอยู่ตลอดเวลาและมีระดับความสว่างแตกต่างกันจากการวิจัยของครอชแมน (Krochman, 1968) พบว่าค่าความสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570A$$

โดยที่ E_{HP} คือค่าความสว่างที่ระดับระนาบภายใต้ท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน มีหน่วยเป็นลักซ์

A คือ มุมของดวงอาทิตย์ที่ทำกับพื้นราบเป็นมุมในระนาบตั้ง (Solar Altitude)

ในกรณีที่ท้องฟ้ามีสภาพของเมฆปกคลุมหนาแน่น หรือเป็นเมฆฝนที่มีสีเข้ม จะทำการปิดกั้นแสงกระจายที่สะท้อนมาจากท้องฟ้า และแสงตรงจากดวงอาทิตย์ แสงจึงถูกดูดกลืนเป็นผลทำให้ความสว่างมีค่าน้อยลง ในกรณีศึกษาของ อีลีกราด และ สโจสเตรดส์ (Elegard and Sjostedt) เกี่ยวกับการหาความสัมพันธ์ของความส่องสว่างที่เกิดจากแสงตรงของดวงอาทิตย์ และแสงกระจายของท้องฟ้า ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้สามารถมาหาค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของระนาบในแนวนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง และแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 0.35\, E_S + 0.89\, E_C$$

โดยที่ E_H คือ ค่าความสว่างที่ระดับภายใต้ท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน มีหน่วยเป็นลักซ์

E_S คือ ค่าความสว่างที่ได้จากแสงตรงของดวงอาทิตย์

E_C คือ ค่าความสว่างที่ได้จากแสงกระจายภายใต้ท้องฟ้าที่ปลอดโปร่ง

การแบ่งสภาพท้องฟ้าโดยทั่วไป ใช้การพิจารณาตามสภาพของเมฆ โดยอาศัยข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-10 แสดงได้ดังนี้

- ค่าระหว่าง 0-3 จัดเป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม
- ค่าระหว่าง 3-7 จัดเป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน
- ค่าระหว่าง 7-10 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก

2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (The Relationship between Daylight and Solar Radiation)

ประสิทธิภาพความส่องสว่างต่อพลังงานที่ตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ในแนวระนาบ(Treado and Gillete, 1983) พบว่า รังสีกระจายของดวงอาทิตย์มีค่า 14 ลูเมนต์ต่อวัตต์ รังสีตรงของดวงอาทิตย์มีค่า 105 ลูเมนต์ต่อวัตต์ และรังสีรวมของดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 119 ลูเมนต์ต่อวัตต์ จากการวิจัยของ ฮอพคินสัน พบว่าปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 117 ลูเมนต์ต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25 องศา และในส่วนของมุมดวงอาทิตย์ที่อยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 25 องศา มีค่าเท่ากับ 90 ลูเมนต์ต่อวัตต์ ความสัมพันธ์ของปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ กับปริมาณความสว่างจากดวงอาทิตย์แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = 104.8 + 31.007 \times I$$

โดยที่ E คือ ปริมาณความสว่างจากแสงสว่างของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

I คือ ปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบมีหน่วยเป็น BTU/Hr.SQ.FT

2.3 รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร

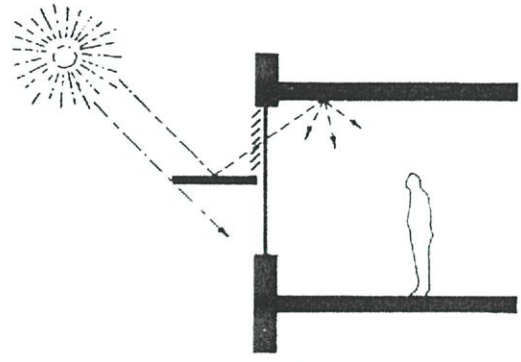
รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารมีหลายวิธีโดยการพิจารณาจากลักษณะทางสถาปัตยกรรม ลักษณะกิจกรรมและช่วงเวลาที่ใช้อาคาร เช่น อาคารประเภทเก็บสินค้า โรงงาน หรืออาคารสาธารณะที่มีความสูงมาก หรือมีโถงสูง เหมาะสมกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาทางด้าน

บน(Top-lightingTechniques) ส่วนอาคารประเภทการศึกษา สำนักงาน ที่อยู่อาศัย อาคารที่มีความสูงหลายชั้นหรืออาคารที่แสงสว่างธรรมชาติไม่สามารถส่องเข้าไปได้ถึงส่วนในสุด ส่วนมากจะเหมาะการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางด้านข้าง (Side-lighting Techiques) เป็นต้น การนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร มีจุดประสงค์ในการเพิ่มความสว่างให้แก่อาคาร โดย
ทั่วไปการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารจำแนกได้ 3 รูปแบบ

2.3.1 **แสงธรรมชาติด้านข้างของอาคาร** (Side lighting)

แสงธรรมชาติทางด้านข้างของอาคารผ่านเข้ามาทางช่องหน้าต่างช่วยเพิ่มความสว่างให้แก่อาคารและช่วยเปิดมุมมองออกสู่ภายนอกอาคาร แสงธรรมชาติที่เหมาะสมแก่การใช้งานควรเป็นแสงที่ผ่านช่องเปิดด้านทิศเหนือ และทิศใต้ของอาคาร เนื่องจากสามารถป้องกันแสงตรงจากดวงกาทิตย์ได้ง่าย ซึ่งแสงตรงจากดวงอาทิตย์นี้ ที่ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในอาคาร ทำให้เพิ่มภาระการทำความเย็น (Cooling Load) โดยรวมของอาคาร

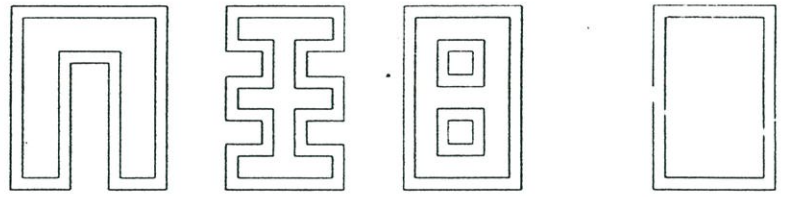
การนำแสงธรรมชาติเข้าด้านข้างมาใช้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือรูปแบบของช่องเปิด ขนาดความสูงและความกว้างของช่องเปิด โดยที่ตำแหน่งของช่องเปิดยิ่งสูงมากแสงธรรมชาติก็สามารถเข้าไปได้ลึกขึ้นและมีการกระจายแสงได้ทั่วถึงซึ่งรวมเป็นข้อพิจารณาเรียกว่า Window Concepts



ภาพที่ 2.15 แสดงลักษณะแสงธรรมชาติทางด้านข้างของอาคาร

แสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาทางด้านข้างของอาคาร เป็นแสงที่มีปริมาณความสว่างที่เหมาะสมและมีคุณภาพเพียงพอต่อการใช้งาน แต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการออกแบบอาคารเพื่อต้องการนำแสงธรรมชาติมาใช้โดยเฉพาะ ไม่เช่นนั้นแล้วการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารจะไม่มีคุณภาพและความสว่างที่พอเพียงต่อการใช้งานในอาคาร ข้อด้อยของแสงธรรมชาติด้านข้างของอาคารอยู่ที่ระยะของความสว่างที่เหมาะสมอันเกิดจากแสงธรรมชาติภายในอาคาร ซึ่งจะลดความสว่างลงตาม

ระยะห่างจากช่องเปิด ซึ่งถ้าความลึกของห้องยิ่งมากแสงสว่างธรรมชาติก็ยิ่งเข้าไปได้น้อย ด้วยเหตุนี้ ความลึกที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมในลักษณะผังพื้นรูป E, H, F, L, U และ O



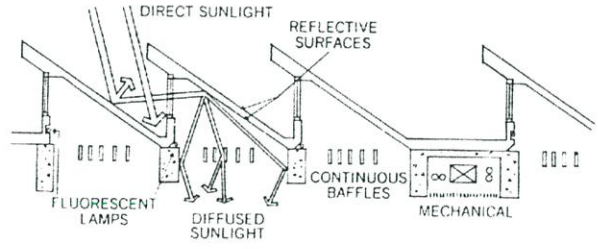
Typical building plan
Footprints for daylighting

Block building reqiure
fluoresscent lighting

ภาพที่ 2.16 แสดง Building Footprint

2.3.2 **แสงธรรมชาติด้านบนของอาคาร** (Top lighting)

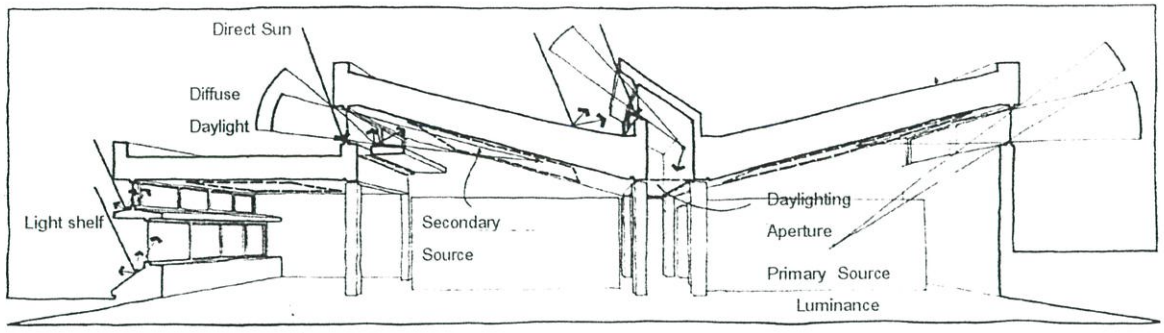
แสงธรรมชาติด้านบนของอาคารมีการออกแบบได้หลายแบบเหมาะกับอาคารที่มีลักษณะกว้าง แสงธรรมชาติทางด้านข้างให้ความสว่างในปริมาณพื้นที่น้อย การเปิดรับแสงธรรมชาติทางด้านบนของอาคาร จึงช่วยเพิ่มความสว่างให้แก่ส่วนลึกของอาคาร แต่สำหรับการนำแสงธรรมชาติที่มีคุณภาพเหมาะสมผ่านเข้าทางด้านบนของอาคาร ไม่เหมาะกับอาคารที่สูงมากนัก เนื่องจากยากแก่การควบคุมปริมาณแสงที่เข้ามา



ภาพที่ 2.17 แสดงลักษณะแสงธรรมชาติทางด้านบนของอาคาร

2.3.3 **การให้แสงแบบรวม** (Combined lighting)

การให้แสงแบบรวมจะมีการเปิดช่องเปิดทั้ง ผนัง และเพดาน ในพื้นที่ภายในไม่แบ่งชัดว่าเป็นผนัง หรือเพดาน, เราพิจารณาเป็น การให้แสงด้านข้างถ้าหากว่าช่องเปิดต่ำกว่า 2.5m ,อย่างไรก็ตาม การให้แสงแบบรวม ความเสมอกันของความสว่าง ถูกกำหนดโดยผลของรอยต่อของการให้แสงด้านข้าง และแสงด้านบน ความสว่างที่เกิดขึ้น คือผลรวมของความสว่างโดยแสงด้านข้าง และด้านบน การให้แสงแบบรวมสามารถตอบสนองความต้องการของการให้ความสว่างที่มีความสม่ำเสมอกันได้

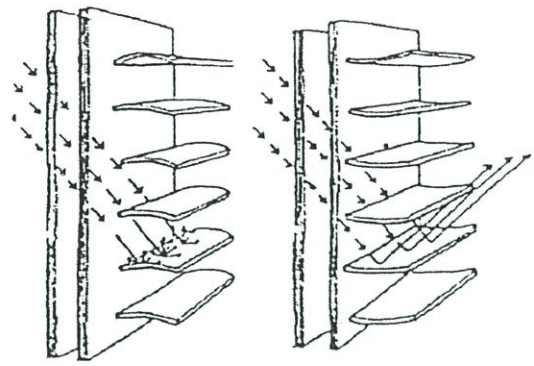


ภาพที่ 2.18 แสดงการให้แสงแบบรวม

จากรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของระดับความสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารจากช่องเปิดด้านบน และช่องเปิดด้านข้างของอาคาร ซึ่งแสงด้านบนของอาคารมีระดับความสว่างที่เหมาะสมแก่การใช้งานสำหรับพื้นที่ส่วนในของอาคารแต่ช่องที่เปิดรับแสงธรรมชาติทางด้านข้างของอาคาร มีระดับมีระดับความสว่างที่เหมาะสมแก่การใช้งานในส่วนด้นข้างของอาคาร แต่จุดประสงค์สำคัญของการใช้งานจากแสงธรรมชาติ เน้นถึงคุณภาพของแสงที่เหมาะสมแก่การใช้งาน แสงธรรมชาติจากด้านบนของอาคารจะมีระดับความสว่างที่สม่ำเสมอในระดับที่เหมาะสมกว่า แสงธรรมชาติจากด้านข้าง ซึ่งระดับความสว่างของแสงที่ได้จากด้านข้างจะลดลงตามระยะที่ห่างออกจากหน้าต่าง ซึ่งความเป็นไปได้ของการให้แสงธรรมชาติทางด้านข้างขึ้นอยู่กับทิศทางของหน้าต่างด้วย

2.3.4 **แนวความคิดของหิ้งสะท้อนแสง** (Light Shelve Concept)

จากแนวคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างบทบาทของช่องเปิดกับปัจจัยภายนอกนั้น พบว่าปัญหาในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางด้านข้างขึ้นอยู่กับความลึกของห้องเป็นสำคัญ ทำให้ต้องหาแนวทางในการแก้ปัญหา เช่น การใช้ Clerestories window เป็นต้น แต่การแก้ปัญหาด้วยวิธีดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดปัญหาด้านความไม่สบายในการมองจากแสงจ้า (Glare) และความไม่สม่ำเสมอของแสง (Non – Uniformity) ซึ่งเป็นผลให้เกิดความเมื่อยล้าทางสายตา (Eye Fatigue) เพราะเมื่อเพิ่มพื้นที่ของช่องเปิดก็จะทำให้ระดับความสว่างบริเวณใกล้ช่องเปิดมีค่าสูงกว่าบริเวณที่ลึกเข้าไป อีกทั้งแสงสว่างตรงจากดวงอาทิตย์ก้ทำให้เกิดภาวะความไม่สบายทางสายตา จึงมีผู้คิดค้นรูปแบบในการปรับปรุงคุณภาพของแสงสว่าง เช่นการใช้ม่านสะท้อนแสง (Refleced Blinds)

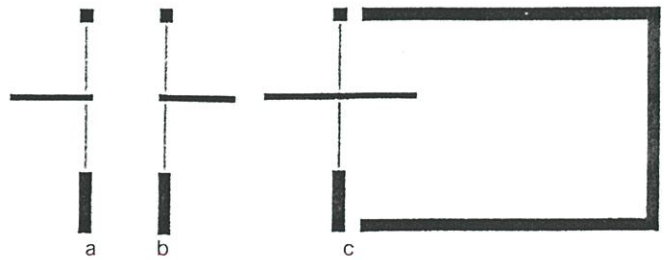


ภาพที่ 2.19 รูปแบบของม่านสะท้อนแสง

2.3.5 **รูปแบบทั่วไปของ** Light Shelve

การใช้ Light Shelve เป็นการเพิ่มการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้ลึกขึ้น และในขณะเดียวกันก็ช่วยลดแสงบาดตาลงได้ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติจาก Light Shelve จากสภาพท้องฟ้าทั่วไปมีปริมาณและคุณภาพดีกว่าแสงสว่างที่ส่องผ่านเข้ามาโดยรอบกรอบอาคาร (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)



ภาพที่ 2.20 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve

(a) Exterior Light Shelf (b) Interior Light Shelf (c) Combined Light Shelf

ที่มา : Claude (1986 : 121)

โดยรูปแบบทั้งหมดนั้นแต่ละแบบจะมีความเหทาะสมในแต่ละภูมิประเทศแตกต่างกันไป โดยที่ Light Shelve ภายในอาคารและ Light Shelve แบบผสม จะเหมาะสมในภูมิอากาศเขตหนาวเนื่องจากเมื่อแสงตรงส่องมากระทบ หรือส่องผ่านกระจกแล้วกระทบตัว Light Shelve จะเกิดการนำความร้อน การสะสมและแผ่รังสีความร้อนทำให้เกิดปรากฏการณ์รังสีความร้อนคลื่นยาวก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ในอาคารได้

2.3.6 ประโยชน์ของ Light Shelve

A การเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติให้สามารถเข้าไปได้ลึกมากขึ้น

B การเพิ่มความสม่ำเสมอของความสว่างของแสงธรรมชาติภายในและการลดแสงบาดตา

C การป้องกันแสงแดดตรงเข้าสู่อาคาร

D การลดภาระการทำความเย็น และภาระแสงสว่างในอาคาร

E การลดการใช้พลังงานในอาคาร

ภาพที่ 2.21 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve ที่มีการใช้งานจริง

ที่มา : Claude (1986 : 121)

2.3.7 การประเมินผลเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

การประเมินค่าความสว่างภายในอาคาร มีหลายวิธี โดยทั่วไปมีวิธีที่นำมาใช้ 3 วิธีการ ได้แก่ การคำนวณ, การทำหุ่นจำลองทดสอบ และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการประเมินผล สำหรับการศึกษานี้ทำการประเมินผลโดยการใช้หุ่นจำลองทดสอบและใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการประเมินผล เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่งสำหรับการออกแบบแสงธรรมชาติ ด้วนเหตุผลหลายๆอย่าง

- เพราะว่าลักษณะทางกายภาพของแสงนั้นจะไม่มีข้อผิดพลาด โดยขึ้นอยู่กับ ขนาด และสภาพของหุ่นจำลองว่าทำได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเพียงใด รูปที่ถ่ายจากหุ่นจำลองที่มีความเที่ยงตรงสามารถที่จะแสดงรูปแบบของแสงในพื้นที่ได้

- ไม่ว่าแบบจะมีความซับซ้อนเพียงใด หุ่นจำลองก็จะสามารถทำนายผลได้อย่างแม่นยำและแบบที่เป็นทางเลือกก็สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ง่าย ซึ่งในจุดนี้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ หรือเทคนิคทางกราฟิกไม่สามารถทำได้

- หุ่นจำลองสามารถแสดงถึงคุณภาพของแสงรวมไปถึงปริมาณโดยจะขึ้นอยู่กับระบบของแสง ทั้งนี้การเกิด glare ก็ยังเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากกว่าระดับความส่องสว่าง

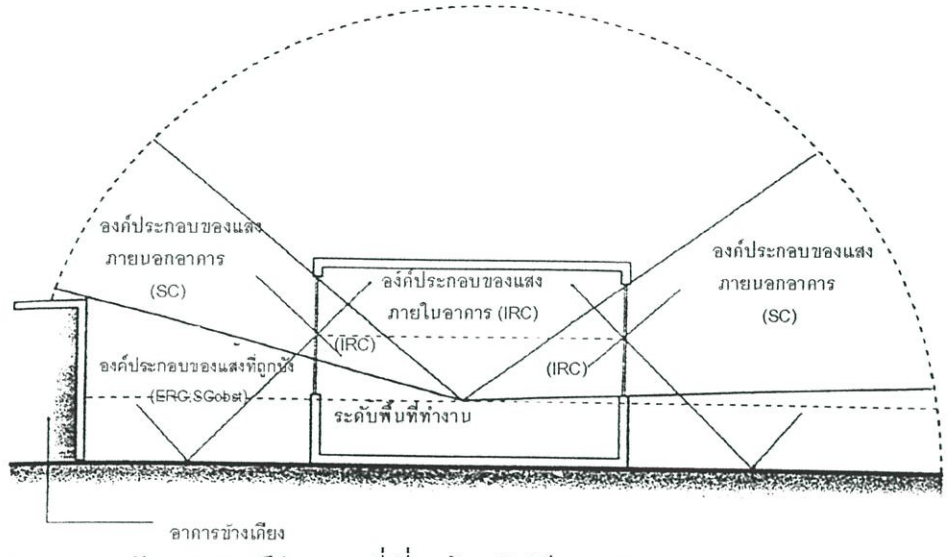
- การใช้หุ่นจำลองนั้นมีความเหมาะสมเป็นอย่างมาก ต่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรม

2.3.7.1 การคำนวณ

โดยทั่วไปแล้วการคำนวณหาค่าความส่องสว่างจากสภาพท้องฟ้าประเภทท้องฟ้าโปร่ง และท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน ไม่นิยมทำการคำนวณกันเนื่องจาก การคำนวณมีความยุ่งยากและมีความยืดหยุ่นต่ำ คือมีองค์ประกอบที่ผันแปรตลอดเวลา โดยทั่วไปการคำนวณหาปริมาณความสว่างภายในอาคารทั่วไป เป็นการคำนวณความสว่างของแสงธรรมชาติภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทั้งหมด ซึ่งผลจากการคำนวณมีค่าได้มาตรฐานและสามารถนำมาใช้ในการอ้างอิงได้ แต่ทั้งนี้ช่องเปิดของอาคารต้องมีการป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์ เพื่อนำมาอ้างอิงกับสภาพท้องฟ้าประเภทอื่น สำหรับการคำนวณหาปริมาณแสงภายในอาคารมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีวิธีการแตกต่างกันออกไป โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการเดไลท์ แฟคเตอร์ (Daylight Factor Method)

วิธีการเดไลท์ แฟคเตอร์ (Daylight Factor Method;ต่อจากนี้เขียนแทนว่าDF)

เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลักซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่แต่ละที่ (Altitude, Azimuth) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน การคำนวณหาค่าความสว่างของแสงธรรมชาติภายในอาคารใช้หลักการพิจารณาโดยใช้อัตราส่วนของระดับความสว่างภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative Illuminance) ภายใต้ท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทั้งหมด ค่าที่ได้แสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา หรือทิศทางของแสง ซึ่งค่าที่ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของความสว่างที่เหมาะสมต่ออาคาร โดยทั่วไปอาคารสำนักงานตามมาตราฐาน IES กำหนดไว้ให้ภายในสำนักงานมีค่า DF ไม่น้อยกว่า 3 %



ภาพที่2.22 แสดงลักษณะองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ DF

องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อปริมาณความสว่างภายในอาคารมี3องค์ประกอบหลักดังนี้

- องค์ประกอบหลักของแสงจากท้องฟ้า (Sky Component) หรือ SC
- องค์ประกอบจากภายนอกอาคาร (External Reflected Component) หรือ ERC
- องค์ประกอบจากภายในอาคาร (Internal Reflected Component) หรือ IRC

การคำนวณวิธี DF จากสมการโดยตรงทำได้ยาก โดยทั่วไปแล้วใช้เป็นการประเมินผลเชิงเปรียบเทียบเป็นอัตราของระดับความสว่างภายในต่อภายนอกมากกว่า โดยพิจารณาได้ดังนี้

DF = (ค่าความสว่างภายในอาคาร/ค่าความสว่างแนวระนาบภายนอกอาคาร) / 100%

ซึ่งค่าที่ได้ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อเทียบถึงปริมาณและคุณภาพของแสงที่เหมาะสมภายในอาคาร ถึงแม้ว่า Daylight Factor นั้นไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของแสงที่แน่นอน แต่ก็สามารถชี้ได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ มีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่มี การกำหนดค่าของ DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆตามมาตราฐานของ CIE

การใช้งาน	DF (%)
การอ่านหนังสือหรือการทำงานปกติ	1.5 - 2.5
การอ่านหนังสือหรือการที่ต้องใช้สายตามาก	2.5 - 4.0
การทำงานที่ต้องควบคุมความละเอียดสูงหรือการใช้เครื่องจักร	4.0 – 8.0

2.4 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่ห้องสมุดโดยอาศัยแสงประดิษฐ์ (Artificial Light)

สำหรับอาคารห้องสมุดแสงประดิษฐ์นับว่ามีความจำเป็นในการใช้งาน โดยเฉพาะในส่วนอ่านหนังสือ ซึ่งต้องใช้ความสว่างที่พอเพียงในการอ่าน แสงประดิษฐ์มีส่วนได้เปรียบแสงธรรมชาติในส่วนของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ค่อนข้างจะคงที่และสม่ำเสมอ ถ้าได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม แต่ต้องมีการสูญเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้พลังงาน ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูง การนำแสงธรรมชาติเข้ามาช่วยเพิ่มความสว่างภายในอาคารจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานได้มากขึ้น แต่การใช้แสงธรรมชาติสำหรับการส่องสว่างภายในยังมีข้อด้อยอยู่บ้าง โดยเฉพาะในส่วนลึกของอาคารแสงประดิษฐ์จึงช่วยให้การใช้แสงภายในอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น

โดยทั่วไปมีวิธีการคำนวณความสว่างแก่อาคารอยู่ 2 วิธีได้แก่ วิธีแรกเรียกว่า Zonal Cavity Method เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งห้อง วิธีที่ 2 เรียกว่า วิธีคำนวณแบบจุดต่อจุด (Point-by- Point Method) เป็นวิธีการหาค่าระดับความสว่างจุดใดจุดหนึ่ง โดยอาศัยกราฟแสดงการกระจายของกำลังเทียนและกฎกำลังสองผกผันหาค่าระดับความสว่างที่พิจารณา สำหรับการวิจัยนี้เลือกใช้แบบ Zonal Cavity Method

Zonal Cavity Method เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งห้อง ที่พิจารณาจากระดับความส่องสว่าง

$$E = L / A$$

เมื่อ L คือปริมาณแสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากดวงโคม (ลูเมน)

A คือพื้นที่ที่ต้องการการพิจารณาระดับการส่องสว่าง (ตารางเมตร)

เนื่องจากเป็นการพิจารณาค่าเฉลี่ยแสงที่เปล่งออกมาจากดวงโคมกระจายทั่วห้อง บางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนถูกสะท้อน โดยฝ้าเพดาน ผนัง พื้น และวัสดุภายในห้อง ดังนั้นควรพิจารณา 2 องค์ประกอบหลัก คือองค์ประกอบที่มีผลให้ปริมาณแสงลดลงของดวงโคม (Light Loss Factor) และองค์

ประกอบที่มีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากค่าดูดกลืนการสะท้อนของวัตถุรอบๆ พื้นที่ที่พิจารณา (Coefficient of Utilization)

<u>องค์ประกอบที่มีผลให้ปริมาณแสงลดลงของดวงโคม (LLF)</u> มีหัวข้อพิจารณาดังนี้

A ฝุ่นหรือความสกปรกของ

- ความสกปรกของห้อง (Room Surface Dirt Depreciation) หรือ RSDD
- ความสกปรกของหลอด (Luminaure Dirt Depreciation) หรือ LDD
- ความสกปรกของโคม (Luminaure Surface Depreciation) หรือ LSD

B อายุการใช้งานของหลอดไฟ (Lamp Lumen Depreciation) หรือ LLD

C บัลาสต์ (Luminaure Ballast Factor) หรือ LBF

D อุณหภูมิโดยรอบหลอด (Luminaure Ambient Temperature Factor) หรือ LAT

E ระดับแรงดันกำลังไฟฟ้าของหลอด (Voltage to Luminaure Factor) หรือ VLF

F การจุดติดของหลอด (Lamp Burnout Factor) หรือ LBO

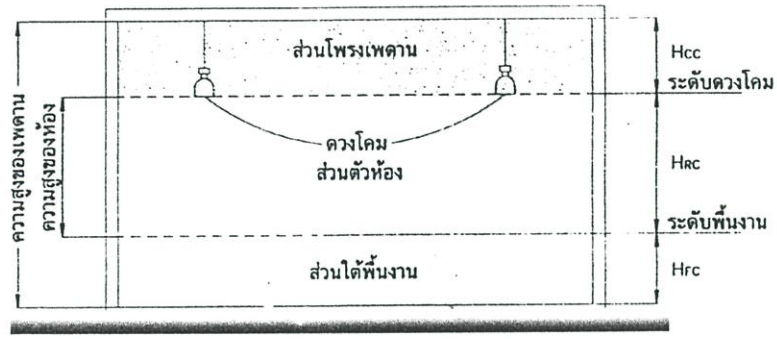
$$LLF = RSDD \times LDD \times LSD \times LBF \times LAT \times VLF \times LBO$$

โดย RSDD, LDD, LLD เป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ (LBF, LAT, VLF, LBO, LSD)

<u>องค์ประกอบที่มีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยน (CU)</u>

เป็นค่าที่แสดงการนำแสงสว่างมาใช้งานจริง ซึ่งขึ้นอยู่กับความกว้าง, ยาว, สูงและคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของเพดาน, ผนัง, พื้น (ตาราง CU) พิจารณาโดยแบ่งพ้องที่ต้องการออกเป็นสามส่วน (Zonal Cavity) ดังนี้

- ส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity) หรือ Hcc คือส่วนตั้งแต่เพดานถึงระดับดวงโคม (Luminare Plane)
- ส่วนตัวห้อง (Room Cavity) หรือ Hrc คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับดวงโคมลงมาถึงระดับพื้นที่ใช้งาน (Work Plane) เรียกความสูงของระยะนี้ว่าความสูงของห้อง (Room Cavity Hight)
- ส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน (Floor Cavity) หรือ Hfc คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับพื้นที่ใช้งานลงมาถึงพื้นห้อง เรียกความสูงของระยะนี้ว่า ความสูงของพื้นงาน (Floor Cavity Hight)



ภาพที่ 2.23 แสดงการแบ่งส่วนพื้นที่ภายในห้อง

ที่มา : พิบูลย์ ดิษฐอุดม (2544 : 82)

โดยที่อัตราส่วนโพรงแต่ละค่าคำนวณได้จากความสูงของแต่ละส่วนที่สัมพันธ์กับความกว้าง (W) ยาว (L) ของห้อง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$CCR = 5\ hcc\ (W + L) / W \times L$$

$$RCR = 5\ hrc\ (W + L) / W \times L$$

$$FCR = 5\ hfc\ (W + L) / W \times L$$

เมื่อ CCR คืออัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity Ratio)

RCR คืออัตราส่วนตัวห้อง (Room Cavity Ratio)

FCR คืออัตราส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน (Floor Cavity Ratio)

การคำนวณหาค่า CU มีขั้นตอนดังนี้

1. หาค่า CCR, RCR และ FCR
2. หาค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน (Hcc) ผนัง (Hrc) และพื้น (Hfc)
3. หาค่า CU เพื่อหาค่า ดังนั้นสมการที่ได้คือ

$$E = L / A \times LLF \times CU$$

2.5 ลักษณะการเปิดช่องเปิดที่มีผลกับสภาพแสงสว่างภายใน

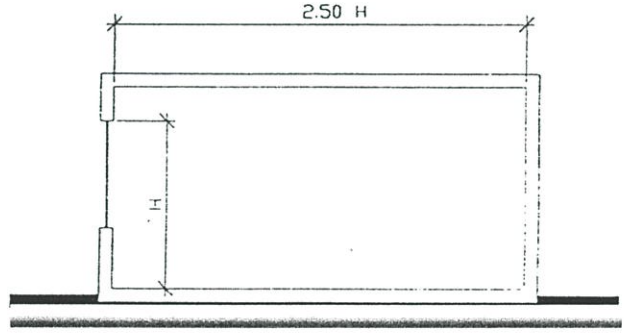
การกำหนดความกว้างและความสูงของช่องเปิดนั้น จะมีผลกับปริมาณแสงสว่างที่เข้าสู่ภายในอาคาร ถ้าหากช่องเปิดมีความสูงมากก็จะช่วยให้แสงสว่างส่องเข้าไปในพื้นที่ที่ลึกได้ ส่วนความกว้างของช่องเปิดที่มีความกว้างมากก็จะช่วยให้อาคารได้รับแสงสว่างจากภายนอกได้มากกว่าช่องเปิดที่แคบและเล็ก ดังนั้นการที่จะให้พื้นที่ด้านในสุดได้รับแสงสว่างในระดับมาตรฐาน ความลึกของห้องจึงเป็นสัดส่วนแปรผันตามขนาดความสูงของช่องเปิด

2.5.1 ความสัมพันธ์ของช่องเปิดที่มีผลต่อสภาพการส่องสว่างภายใน

โดยลักษณะทั่วไป สัดส่วนของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับลักษณะการส่องสว่าง 2 กรณี

A. สัดส่วนของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายใน

B. สัดส่วนของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับลักษณะการกระจายแสง ที่ส่องผ่านเข้ามาพื้นที่ภายใน ในลักษณะแนวกว้าง, แนวยาวและแนวตั้ง โดยความลึกของห้องไม่ควรเกิน 2.5 H คือ ความสูงของช่องเปิด

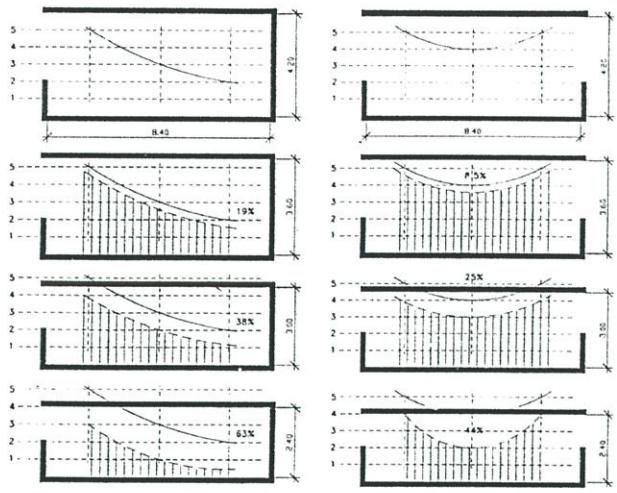


ภาพที่ 2.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของห้องและความสูงของช่องเปิด

ที่มา : Egan (1983 : 169)

2.5.2 ความสูงและความกว้างของหน้าต่าง (Windows Height and Windows Width)

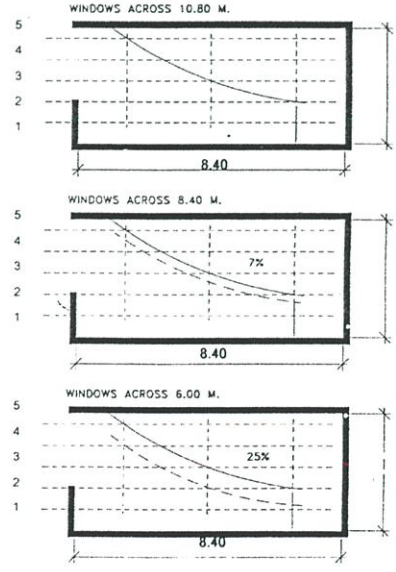
ขนาดของหน้าต่าง และ ความสูงของหน้าต่างโดยมีระดับที่อยู่เหนือระดับการทำงาน (Work Plane) จะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบแสงสว่างจากธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติรูปแบบของหน้าต่างที่มีขนาดใหญ่จะยอมให้ปริมาณแสงส่องผ่านเข้ามาได้มาก แต่ความสูงของหน้าต่างจะเป็นตัวแปรสำคัญมากกว่า โดยที่ความสูงของหน้าต่างจะมีผลต่อความลึกในการส่องสว่างของแสงที่ผ่านเข้ามาภายใน หน้าต่างที่กว้างยาวจะมีประสิทธิภาพในการส่องสว่างที่ดีกว่าหน้าต่างที่แคบดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 2.25 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของหน้าต่างที่มีความสัมพันธ์ต่อการส่องผ่านของแสง และแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างของหน้าต่าง 2 ด้านที่ความสูงต่างกัน

จากภาพที่ 2.11 ประสิทธิภาพในการส่องสว่างเข้ามาภายในจะมีปริมาณลดน้อยลง 19% 38% และ 63% ตามลำดับจากบริเวณด้านหลังของห้อง โดยขนาดของช่องเปิดจะมีการแปรเปลี่ยนขนาดลง แต่ความลึกของห้องคงที่คือ 28 ฟุต (8.40 เมตร)

และจากภาพ แสดงการเปรียบเทียบของปริมาณการส่องสว่างของแสงโดยมีหน้าต่างทั้ง 2 ด้าน ปริมาณการส่องสว่างจะมีแนวโน้มที่ลดลงในบริเวณส่วนกลางของห้องจากระดับ 8.5% 25% 44% โดยที่ขนาดของหน้าต่างมีการแปรเปลี่ยน แต่ขนาดความลึกของห้องคงที่คือ 28 ฟุต



ภาพที่ 2.26 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างจากการปรับเปลี่ยนความยาวของหน้าต่าง

จากรูปที่ 2.12 ปริมาณการส่องสว่างของแสงที่ส่องผ่านเข้ามาภายในจะมีขนาดที่ลดลง จากการแปรเปลี่ยนความยาวที่แตกต่างกัน36 ฟุต (10.80 เมตร) 28 ฟุต (8.40 เมตร) และ20 ฟุต(6.00 เมตร) ประสิทธิภาพในการส่องสว่างจะลดลง 7% และ 25% จากจุดที่อยู่บริเวณด้านหลังของห้อง

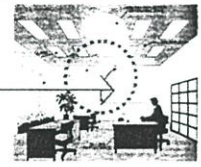
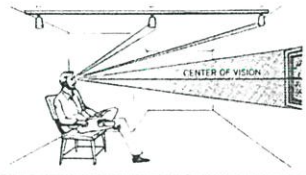
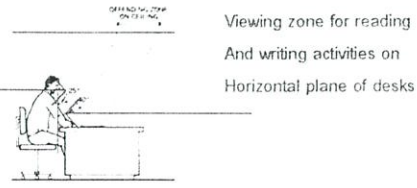
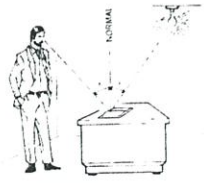
2.6 แนวทางการควบคุมแสงจ้า (Glare)

แสงจ้านับเป็นปัญหาสำคัญของช่องเปิดด้านข้าง กล่าวโดยสรุปคือ แสงจ้าจะเกิดรุนแรงหรือไม่มาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- ความแตกต่างของความจ้าระหว่างแหล่งกำเนิดกับสภาพทั่วไป
- ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง
- ตำแหน่งของวัตถุในขอบเขตมุมมอง
- ความสามารถในการปรับสายตาของผู้มอง

โดยแสงจ้าสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงประเภทต่างๆ ของแสงจ้า

ประเภทของแสงจ้า	รายละเอียด
A Disability Glare 	เป็นแสงจ้าที่จะทำลายความสามารถในการมองเห็นของผู้มองทำให้ตาพร่าและมองไม่เห็นไปชั่วขณะ
B Discomfort Glare 	เป็นแสงจ้าที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตาในการมองโดยมีแหล่งกำเนิดแสงอยู่บริเวณรอบของการมองอาจเกิดภายหลัง Disability Glare
C Veiling Glare 	เป็นแสงจ้าที่เกิดจากการสะท้อนของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องลงบนวัตถุที่มองซึ่งมีค่าการส่องสว่างที่น้อยกว่า เช่น เงาสะท้อนของดวงอาทิตย์เกิดขึ้นบนจอคอมพิวเตอร์
D Reflected Glare 	เป็นแสงจ้าที่เกิดจากการมองวัตถุที่ได้รับแสงจากแหล่งกำเนิดแล้วสะท้อนเข้าตาถ้าปริมาณแสงเข้ามามากเกินไปเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแสงจ้าประเภทนี้ได้

บทที่ 3
สภาพแสงสว่างในเขตกรุงเทพมหานคร

3.1 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อกรุงเทพมหานคร

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี ในขณะที่โคจรไปก็จะหมุนรอบตัวเองไปพร้อมกันแกนของโลกที่เอียง 23.5° กับแนวโคจรรอบดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 มิถุนายน บริเวณเส้นรุ้งที่ 23.5°
เหนือจะเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด เมื่อเทียบกับจุดอื่นๆบนโลกในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อนเข้าสู่ฤดูฝน จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์ไม่ได้อยู่ตรงศีรษะแต่เอียงไปทางทิศเหนือเป็นมุม 23.5° สำหรับกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่ที่เส้นรุ้ง13° 44' เหนือนั้นเอียงทำมุมกับทิศเหนือ (23.5° - 13.4°) = 10.1°

ในวันที่ 21 ธันวาคม บริเวณเส้นรุ้งที่ 23.5°ใต้จะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดเมื่อเทียบกับจุดอื่นๆบนโลก ในเขตกรุงเทพมหานครจะเป็นช่วงฤดูหนาวซึ่งจะเห็นดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เอียงไปทางทิศใต้เป็นมุม 23.5° สำหรับในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่ที่เส้นรุ้ง13° 44' เหนือนั้นเอียงทำมุมกับทิศใต้ (13.4° - (-23.5°) = 36.9° ดวงอาทิตย์จะอ้อมใต้

ในวันที่ 21 มีนาคมและวันที่ 21 กันยายน บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดเทียบกับจุดอื่นๆบนโลกของทุกปี จะสังเกตเห็นว่าเวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดี

ตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ ณ เขตกรุงเทพมหานคร ในวันและเวลาต่างๆของปีดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าช่วงกลางเดือนเมษายนถึงกลางเดือนสิงหาคม ดวงอาทิตย์จะเยื้องไปทางเหนือโดยจะอ้อมทางเหนือสุดในวันที่ 22 มิถุนายน นอกนั้นเวลาส่วนใหญ่ 8 เดือนจะเยื้องไปทางทิศใต้โดยจะอ้อมใต้สุดวันที่ 22 ธันวาคม

3.2 ปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ของกรุงเทพฯ

(Radiation and Illuminance)

จากการที่กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ที่ละติจูดที่ 13° 44' เหนือ และลองติจูดที่ 100° 33' ตะวันออก ซึ่งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical Zone) ทำให้มีปริมาณรังสีและปริมาณแสงสว่างที่จ้าเกือบตลอดทั้งปี โดยปกติแล้วปริมาณจากรังสีดวงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแสงสว่าง ถ้าปริมาณของรังสีมากปริมาณแสงสว่างก็จะมีค่าของความส่องสว่างมากด้วย ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของรังสีจากดวงอาทิตย์และปริมาณของแสงสว่างจะมีการแปรเปลี่ยนตลอดเวลาในแต่ละช่วงวัน เดือน ปี จากการศึกษาสถิติการวัดค่าปริมาณ

ปริมาณแสงสว่างและรังสีของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี (มกราคม ถึงเดือน ธันวาคม 2542-2543) ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเอเชีย AIT โดยเก็บข้อมูลสถิติของค่าความส่องสว่างและค่าปริมาณรังสีแบบแนวโคจรของดวงอาทิตย์ (Solar time) และแบบตามช่วงเวลาปกติ (Local time) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 – 3.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

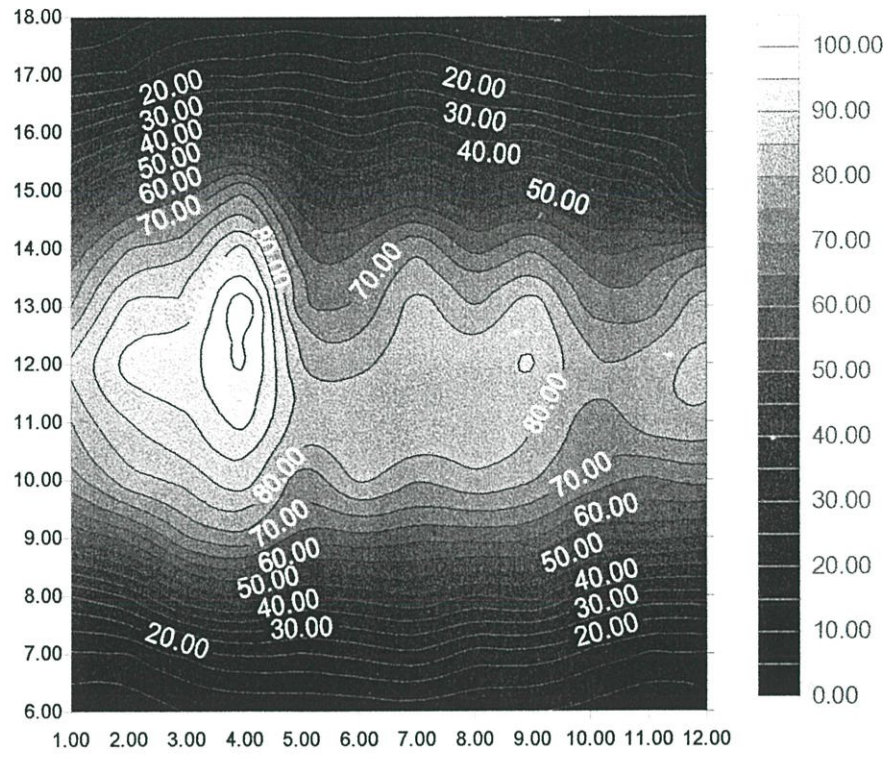
3.2.1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครปีพ.ศ 2542-2543

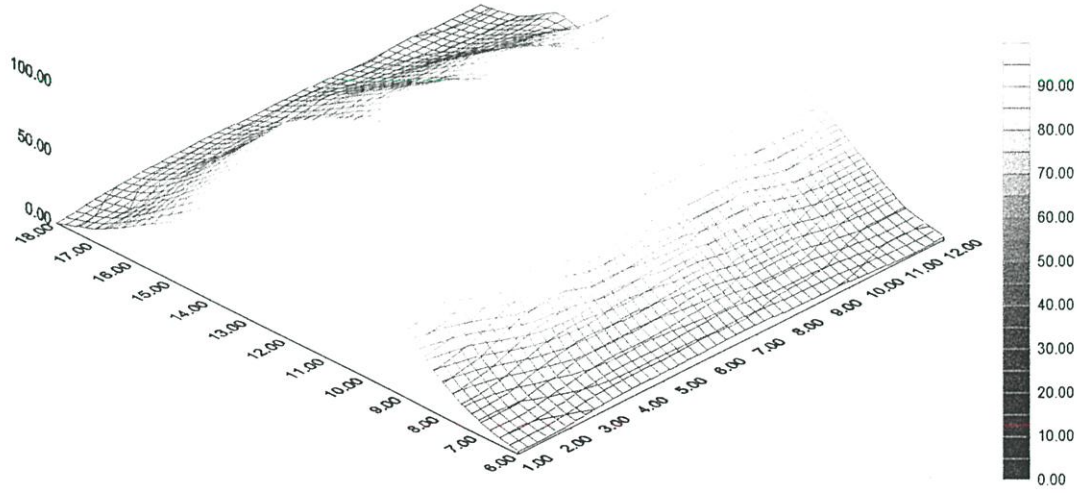
Hourly mean values of global illuminance (Klux) by calendar month (Solar time)

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง (Klux)

Solar time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	2.2	5.26	6.04	6.11	6.39	7.32	5.71	5.39	3.55	0	0
7	9.34	9.78	16.21	20.49	19.48	21.63	23.96	17.73	18.25	13.45	9.53	9.63
8	24.8	30.51	44.57	48.39	39.71	41.79	44.83	39.48	42.16	33.26	28.3	28.47
9	50.63	56.49	69.8	73.46	62.66	63.68	61.05	61.58	60.65	50.96	51.14	49.11
10	67.83	77.97	81.38	87.76	70.95	81.41	75.07	78.93	75.6	68.19	64.1	66.85
11	74.78	84.77	88.62	96.43	82.01	85.56	82.81	83.52	80.66	72.19	77.65	78.86
12	81.01	92.07	92.42	100.9	79.38	78.52	83.65	81.71	85.84	75.67	77.1	81.66
13	69.46	86.52	85.58	104.69	70.41	70.93	82.38	74.36	83.13	67.75	66.76	78.02
14	60.64	75.1	77.58	91.82	64.44	64.76	74.75	62.5	69.77	58.82	60.68	66.3
15	42.47	57.07	62.31	75.03	52.45	50.39	55.42	47.65	51.97	44.22	41.35	17.42
16	25.41	32.44	41.39	44.25	39.6	33.85	38.81	32.29	32.53	26.5	23.79	25.81
17	9.63	10.74	18.39	18.96	20.62	17.34	21.35	16.51	14.06	10.44	9.56	8.76
18	0	3.7	5.99	6.74	7.38	6.01	6.6	5.56	4.35	5.84	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Hourly mean values of global illuminance (Klux) by calendar month (Solar time)





ภาพที่ 3.1 แสดงค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยทุกๆ 1 ชั่วโมง (Klux)

3.2.2 ค่าความถี่ของความส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของกรุงเทพมหานคร

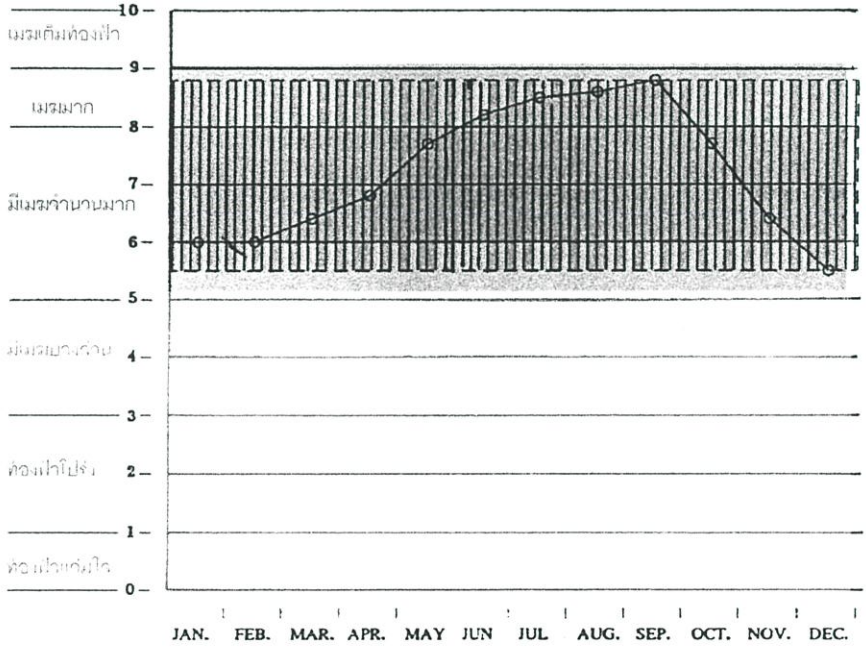
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความถี่ของควมส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของกรุงเทพฯ (1999-2000)

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
90000-95000	126	3.45	5.26
95000-100000	106	2.90	0.50
100000-105000	111	3.04	0.48
105000-110000	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 45000 – 55000 Lux โดยที่สภาพของท้องฟ้าจะมีลักษณะแบบมีเมฆมาก (Parthly Cloudy Sky) ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงปริมาณแสงที่เกิดขึ้นโดยส่วนมากเป็นสำคัญ

3.3 สภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร

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



ภาพที่ 3.2 แสดงสภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ย 10 ปี (2533-2542)

3.4 ค่ามาตราฐานทั่วไป

3.4.1 มาตราฐานค่า

ค่า Daylight Factor (D.F.) เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นถึงความเหมาะสมสำหรับพื้นที่หรือการทำงานชิ้นใดๆ มีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ มีการกำหนดช่วงค่า DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงมาตราฐานค่า Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ

การใช้งาน	ค่า Daylight Factor (%)
- การอ่านหนังสือ การทำงานปรกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง	1.5-2.5
- การอ่านหนังสือ หรือการใช้สายตาในที่ๆหนึ่งในช่วงเวลานานพอสมควร	2.5-4.0
- การทำงานที่ต้องมีความละเอียดสูง	4.0-8.0

ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 1997)

3.4.2 มาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES

ในการกำหนดระดับความส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่างๆ นั้นมีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES, (USA), IES, (BS) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกันส่วนมาตราฐานที่กำหนดเป็นมาตราฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งได้แก่ CIE (International Commission on Illuminance) กำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่นๆ คืออาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ

ตารางที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบมาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน

พื้นที่ใช้งาน(ก)	CIE (Lux)	IES (Lux)	พื้นที่ใช้งาน(ข)
ทางเดิน , พื้นที่ทำงานภายนอก	20 – 30 – 50	20 – 30 – 50 (a)	Public space with dark Syrrounding
ทางเดินภายในและการแวะผ่านระยะสั้น	50 – 75 - 100	**50 – 75 - 100** (a)	Simple orientation for shot tempory
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100 – 150 - 200	100- 150 – 200 (a)	Working space where visual tasks are only occasionally performed
งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น โรงงาน , งานชิ้นใหญ่	200 – 300 – 500	**200 – 300 – 500** (b)	Performance of visual tasks of hight contrast or large size
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300 – 500 - 750	500 – 750 - 1000(b)	Performance of visual tasks of medium contrast or small size
งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียน	500 – 750 - 1000		
งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน	750 – 1000 - 1500	1000 – 1500 – 2000(b)	Performance of visual tasks of low contrast or very small size
งานที่ใช้สายตาเป็นพิเศษ	1000 – 1500 - 2000	2000 – 3000 – 5000(x)	Performance of visual tasks of low contrast or very small size, Prolonged period
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด	มากกว่า 2000	5000 – 7500 - 10000(x)	Performance of very prolonged and exacting
		10000 up (x)	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)

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็นบักซ์หรือฟุตแคนเดิลแล้วการกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตราฐานเป็นค่า Daylight Factor โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์(%)

ตารางที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบมาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) และมาตราฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (Lux) ตามมาตราฐาน CIE (ก)	ค่าการส่องสว่าง (Lux) ตามมาตราฐาน 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	2	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	Vertica
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)

3.4.3 มาตราฐานค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่องผ่านของวัสดุ

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่องผ่านของวัสดุ

Material	Mathoas of production	Finishes	Optical characteristic	Optical properties	
				Transmission factor	Reflection faction
Plastics Acryiics	Sheet,formed,blown machined, injection moulded	Clear	High tranmission		
		Colored	Direct or diffusing		
		Opal, Various densities	Up to almost complete diffusion	92-9	5.-81
Polystyrene	Extruded, injection moulded	Opal	High tranmission	90	
		Opaque	Good diffusion	54	
Vinyl P.V.C.	Sheet corrugated vacuum Formed, vinyl sanwich(acoustic),twin layer vinyl(acoustic)	Opal	Good diffusion	88-50	7.-45
		Opaque		0	
Polyester	Laminated	Opal		65	
		Opaque		0	
Urea formaldehyde	Mouaed	Opal		65	
		Opaque		0	
Glass	Sheet moulded, blow	Clear	High tranmission, may be Polished for optical systems	90	4
		Pot opal	Very good diffusion	12.-40	
		Flashed opal	Good diffusion	30-60	
		Sandblasted	Fair diffusion		
		Pattemed			
	Silverblacked		Hig reflection factor, very smooth mirror surface: many diffusion methods can be used	0	87
Metal: Sheet steel	Fabricate	Stove Enameled	Diffusing		75
		Vitreous Enameled	Mainly diffusing		80
		Chromium Plate	Specular, but reflection factor not high		65
		Stainless steel			60
Aluminum	Fabricated, Extruded, injection	Stove Enameled	Diffusing		75
		Anodized 1. Specula 2. Mat			80 75

ที่มา : Neufert Architects'data. (1982 : 25)

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายนอกอาคาร

Material	Reflectance (%)
Asphalt (free form dirt)	7
Bluestone, sandstone	18
Blick:	
Light buff	48
Dark buff	40
Dark red glazed	30
Cement	27
Concrete	55
Earth (moist cultivated)	7
Granite	40
Granolite pavement	17
Glass (dark green)	6
Gravel	13
Macadam	18
Marble (white)	45
Paint (white)	
New	75
Old	55
State (dark clay)	8
Snow	
New	74
Old	64
Vegetation (mean)	25

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในอาคาร

Building Finishes	App. Reflectance (%)
Ceiling:	
White paint (plan plaster surface)	80
White paint on acoustic title	70
White paint on smooth concrete	60
White paint on rough concrete	50
Walls:	
White paint on plaster tiles	80
Medium blue - gray, yellow - gray	50
Light gray concrete	40
Bricks (other than rough gray)	30
Unfinished cement, rough tile	25
Wood panel (lightr)	25
Wood panel (dark)	20
Rough brick	15
Floors:	
Light wood	35
Medium wood	25
Dark wood	20
Light tile	30
Darktiles	20
Light carpet (gray, orange, medium - blue)	20
Dark carpet (dark gray, brown)	15

ที่มา : Neufert Architects'data. (1982 : 25)

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงที่แนะนำให้ใช้

พื้นที่	พื้นผิว	ช่วงของตัวประกอบการสะท้อนแสง(%)
ทั่วไป	เพดาน	70 – 90
	ผนัง	40 – 50
	เครื่องแต่งเรือน	25 – 45
	พื้น	20 - 50
สำนักงาน	เพดาน	80 – 90
	ผนัง	40 – 60
	เครื่องแต่งเรือน	25 – 45
	อุปกรณ์สำนักงาน	25 – 45
	พื้น	20 - 40
ที่อยู่อาศัย	เพดาน	60 90
	ผ้าม่าน (ผืนใหญ่)	35 – 60
	ผนัง	35 – 60
	พื้น	15 - 35
โรงเรียน	เพดาน	70 – 90
	ผนัง	40 – 60
	กระดานดำ	สูงถึง 20
	พื้น	30 - 50
อุตสาหกรรม	เพดาน	80 – 90
	ผนัง	40 – 60
	อุปกรณ์และพื้นโต๊ะ	25 – 45
	พื้น	20 ขึ้นไป

ที่มา : พิบูลย์ ดิษฐอุดม (2544 : 101)

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงของสีและวัสดุ

สีและวัสดุ	เปอร์เซนต์การสะท้อนแสง	สีและวัสดุ	เปอร์เซนต์การสะท้อนแสง
ขาว	75 – 85	แดงอ่อน	45 – 55
เทาอ่อน	40 – 60	แดงแก่	15 – 20
เทาแก่	10 – 15	ดำ	2 – 5
น้ำเงินอ่อน	40 – 50	ไม้สีอ่อน	25 – 35
น้ำเงินแก่	15 – 20	ไม้สีแก่	10 – 15
เขียวอ่อน	45 – 55	หินอ่อน	30 – 70
เขียวแก่	15 – 20	ปูบฉาบ	40 – 45
เหลืองอ่อน	60 - 70	คอนกรีต	20 – 30
น้ำตาล	20 - 30	ดินเผา	10 - 15

ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติหน้า (4 – 5)

บทที่ 4
การดำเนินการวิจัย

4.1 การออกแบบช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับห้องสมุด

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของช่องเปิดในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารห้องสมุดโดยทำการทดสอบเปรียบเทียบและสรุปรูปแบบที่เหมาะสมในการออกแบบ เนื่องจากการออกแบบช่องเปิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ ต้องคำนึงถึงการป้องกันแสงแดดควบคู่ไปด้วย จึงประยุกต์การใช้หิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) เพื่อช่วยในการป้องกันแสงแดดและเพิ่มระดับความสว่างกับประสิทธิภาพในการกระจายแสงเข้าสู่ภายในอาคาร

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร โดยหลีกเลี่ยงแสงตรงอันจะทำลายหนังสือ และก่อให้เกิดความไม่สบายทางด้ายสายตา จึงเลือกช่องเปิดแบบด้านข้าง(Side Lighting) ประกอบกับการไม่สามารถใช้แสงผ่านทางช่องเปิดด้านบนได้ เนื่องจากตัวอาคารมีการใช้งานร่วมกับอาคารอื่นอันจะทำให้เกิดข้อจำกัดทางประโยชน์ใช้สอยและโครงสร้าง

ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของ light-shelf ในการเพิ่มระดับความสว่าง

ปัจจัยกายภาพของ light-shelf	รายละเอียดที่จะทำการศึกษา
1.รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf)	ทำการออกแบบทั้งภายนอก และภายใน
2.ระดับความสูงของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf)	ออกแบบโดยคำนึงถึงมุมมองทางสายตาและความปลอดภัย จึงกำหนดให้ระดับความสูงอยู่ที่ 2.00 เมตร
3.ความลึกของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf)	ออกแบบโดยคำนึงถึงมุม Profile angle ที่มีมุมต่ำที่สุดที่สามารถป้องกันแสงแดดได้ และมีประสิทธิภาพในการกระจายแสงตามเกณฑ์
4.รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf)	พิจารณาทั้งแบบตรง, แบบเอียง เพื่อผลในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
5. วัสดุและสีของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf)	เลือกใช้ให้มีค่าการสะท้อนแสงที่ดีและเหมาะสมกับห้องสมุด

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของช่องเปิดในการเพิ่มระดับความสว่าง

ปัจจัยทางกายภาพของ ช่องเปิด	รายละเอียดที่จะทำการศึกษา
1. ขนาดของช่องเปิด	ช่องเปิดควรมีขนาดเท่าไรของพื้นที่ผนังจึงจะเหมาะสมโดยได้ความสว่างตามเกณฑ์ และมีความร้อนเข้ามาน้อยที่สุด
2. รูปแบบของช่องเปิด	ช่องเปิดที่มีขนาดพื้นที่เท่ากันช่องเปิดแบบใดมีการกระจายแสงที่ดีที่สุด ทั้งค่าเฉลี่ยและความสว่างสูงสุด
3. สัดส่วนของช่องเปิด	ทำการวัดที่ระดับของ Working-Plane คือ 0.75เมตร

แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วนหลักดังนี้

1. **การศึกษาคุณสมบัติของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) ที่เหมาะสม**
   - 1.1 การศึกษารูปแบบ Light Shelf
   - 1.2 การศึกษาความลึกของ Light Shelf
   - 1.3 การศึกษาวัสดุและสีของ Light Shelf
   - 1.4 การศึกษาอิทธิพลของความเอียงของ Light Shelf ที่มีผลต่อการเพิ่มค่าความสว่าง
2. **การศึกษาระดับความสูงของเพดานและความสูงของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) ที่เหมาะสม**
3. **การศึกษาคุณสมบัติของช่องเปิดที่เหมาะสม**
   - 3.1 การวิเคราะห์หาขนาดของช่องเปิดที่เหมาะสม
   - 3.2 การวิเคราะห์หารูปแบบของช่องเปิดที่เหมาะสม
4. **การทดสอบเพื่อนำไปสู่การออกแบบ**

4.2 การวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างภายในอาคาร

เกณฑ์มาตราฐานในการวัดค่าความสว่างภายใน

ในการให้แสงสว่างธรรมชาติในพื้นที่ใช้งานต้องมีปริมาณความสว่างที่เหมาะสมต่อกิจกรรม ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้มาตราฐานของ CIE ได้กำหนดค่าการส่องสว่างเป็น 3 ช่วงและกำหนดค่าเดไลท์แฟคเตอร์เป็น 2 ช่วง ดังแสดงในจากตาตรางที่ 3.6 ซึ่งมุ่งประเด็นในเรื่องกิจกรรม ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ามาตราฐานปริมาณการส่องสว่างสำหรับห้องสมุดที่ CIE กำหนด

กิจกรรม	ค่าการส่องสว่าง (ลักซ์) ตามมาตรฐาน CIE	ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (ร้อยละ) เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
หิ้งหนังสือ	150-200-300	5	1.5	
โต๊ะอ่านหนังสือ	**300-500-750**	**5**	**1.5**	**ระดับทำงาน** (0.75 เมตร)
เคาน์เตอร์	200-300-500	5	2	ระดับทำงาน

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3 จะพบว่าการกำหนดค่าปริมาณการส่องสว่างและค่าเดไลท์แฟคเตอร์ตามมาตราฐานของ CIE เป็นค่าที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากวิธีคิดในการกำหนดค่ามาตราฐานนั้นมาจากประเทศในแถบยุโรป ซึ่งมีลักษณะท้องฟ้าเป็นเมฆปกคลุมทึบ ซึ่งโดยปกติจะมีค่าการส่องสว่างตลอดปีไม่สูงนัก เนื่องจากท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมทึบ เป็นแสงลักษณะกระจาย (Diffused Light) มองไม่เห็นดวงอาทิตย์ และไม่เห็นแสงแดดตรง (Direct Sunlight) ดังนั้นค่ามาตราฐานของ CIE มีค่าเฉลี่ยสูงสุดมาไม่เกิน 50,000 ลักซ์ ซึ่งต่างจากสภาพท้องฟ้าในประเทศไทย ที่ตั้งอยู่แถบศูนย์สูตร มีสภาพท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) หรือ (Intermediate Sky) มีสภาพแสงแดดและการส่องสว่างที่แรง มีแสงแดดตรง และมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง ในบางฤดู มีสภาพของเมฆบนท้องฟ้าเฉลี่ยประมาณ 5.5 ในช่วงเดือน มกราคมถึง เมษายน ,ประมาณ 7.5 ในช่วงเดือน พฤษภาคมถึง พฤษจิกายน และประมาณ 6.5 ในช่วงเดือน ธันวาคม โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ 6.8 (ข้อมูลจาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

จากรายงานการบันทึกผลข้อมูล โครงการวิจัยแสงธรรมชาติด้วยการตรวจวัดปริมาณแสงธรรมชาติตลอดทั้งปี พ.ศ. 2542 ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี พบว่าปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2542—2543 มีค่าสูงสุดถึง 104,690 ลักซ์ ในช่วงเวลา 13:00 น.ของเดือนเมษายน ซึ่งแสดงไว้ในตาราง 3.1

เมื่อพิจารณาเวลาในการใช้งานของพื้นที่ศึกษา คือเวลา 9:00 ถึง 16:00 น.ของช่วงเวลาการศึกษาแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตราฐานการส่องสว่างสำหรับห้องสมุดตามตารางที่ 4.3 และนำค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่มาตราฐาน CIE กำหนด สูงสุดที่ร้อยละ 5 และต่ำสุดที่ร้อยละ 1.5 มาใช้ นอกจากนี้ทดลองใช้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่ร้อยละ 1,2 และ 0.45 เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความต้องการส่องสว่างจากภายนอก ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกเมื่อคำนวณด้วยค่า DF (%) ที่ต้องการทดลอง

ค่า DF (%)	ค่ามาตราฐานปริมาณการส่องสว่างของห้องสมุด				
	150 Lux	200 Lux	300 Lux	500 Lux	750 Lux
0.45	33,333.33	44,444.44	66,666.66	111,111.11	166,666
1.0	15,000	20,000	30,000	50,000	75,000
1.5	10,000	13,333.33	20,000	33,333.33	50,000
2.0	7,500	10,000	15,000	25,000	37,500
2.5	6,000	8,000	12,000	20,000	30,000
3.0	5,000	6,666.66	10,000	16,666.66	25,000
5.0	3,000	4,000	6,000	10,000	15,000

พิจารณาตารางที่ 4.3 และ 4.4 ค่ามาตราฐานที่จะใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ควรใช้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่ร้อยละ 1.5 เนื่องจากค่าปริมาณแสงสว่างที่ได้จากตารางที่ 3.1 มีค่าพอเพียงที่จะทำให้พื้นที่ภายในมีค่าปริมาณการส่องสว่างได้ทั้ง 3 ค่า คือ 300 - 500 - 750 ลักซ์ เมื่อพิจารณากิจกรรมที่โต๊ะอ่านหนังสือซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ปริมาณการส่องสว่างมากที่สุด โดยที่ 300 ลักซ์ ในช่วงเวลา 9:00 –16:00น. , 500ลักซ์ ในช่วงเวลา 9:00 –15:00น. และค่า 750 ลักซ์ ในช่วงเวลา 9:00 –14:00น.

ดังนั้นค่ามาตราฐานต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบในการวิจัยครั้งนี้มีดังนี้

- ค่าปริมาณการส่องสว่างที่ระดับทำงานไม่ควรต่ำกว่า 500 ลักซ์
- ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่ยอมรับได้ในพื้นที่ศึกษาคือ ร้อยละ 1.5 ที่ความสว่างภายนอกไม่น้อยกว่า 20,000 ลักซ์

4.3 การทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของช่องเปิดสำหรับห้องสมุด

4.3.1 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) ที่เหมาะสม

4.3.1.1 การทดลองเพื่อเลือกรูปแบบของ Light Shelf ที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบรูปแบบหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในห้องสมุด

แบ่งรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) ได้ 4 รูปแบบดังนี้

1 Light Shelf ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf)

2 Light Shelf ภายในอาคาร (Interior Light Shelf)

3 Light Shelf แบบผสม (Combined Light Shelf)

สมมติฐาน รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) น่าจะมีผลต่อค่าความสว่างภายใน จากการวิเคราะห์รูปแบบของ Light Shelf พบว่าแบบที่2 Light Shelf ภายในอาคาร (Interior Light Shelf) ให้ผลในการกระจายแสงเข้าสู่พื้นที่ภายในได้น้อยที่สุดการวิจัยนี้จึงเลือกทดลองเพียง 3 แบบ โดยมีตัวแปรในการทดลองดังนี้

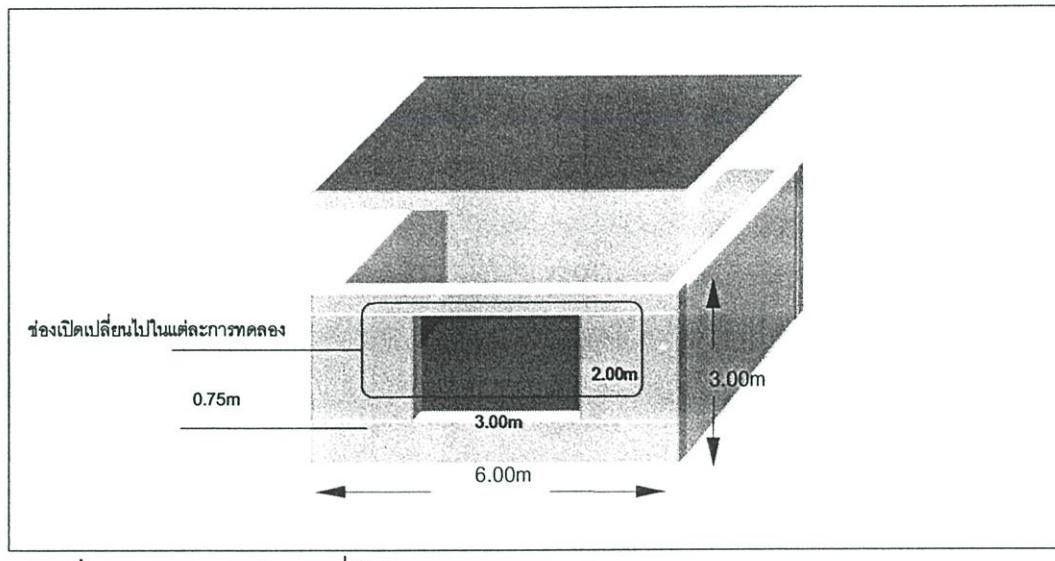
ตัวแปรอิสระ คือตัวแปรที่ทำการทดสอบคือรูปแบบของ Light Shelf แบบต่าง ๆ ดังนี้

1. Light Shelf ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf) ความลึก 1.50 เมตร
2. Light Shelf แบบผสม (Combined Light Shelf) โดยที่ภายนอกมีความลึก 1.50 เมตร และภายใน 1.00 เมตร
3. Light Shelf ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf) ความลึก 1.50 เมตรและ Overhang อยู่ด้านนอกความลึก 1.50เมตร
4. Light Shelf ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf) ความลึก 1.50 เมตร, Overhang อยู่ด้านนอกความลึก 1.50เมตร และ Light Shelf ภายในอาคาร ความลึก 1.00เมตร

ตัวแปรตาม ได้แก่ค่าความสว่างภายในที่เปลี่ยนแปลงไป

ตัวควบคุมคงที่ เพื่อป้องกันตัวแปรที่อาจส่งผลต่อการทดลองได้แก่

1. สภาพแวดล้อมที่ตั้งหุ่นจำลองเป็นพื้นที่โล่งโดยรอบทำการทดลองที่บริเวณสนามฟุตบอลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ทำการทดสอบในช่วงเวลา 10:00-11:00น.และ13:00-14:00น
3. หุ่นจำลองมาตราส่วน 1:10 ขนาดกว้าง 6.00เมตร ยาว 6.00เมตร สูง 3.00เมตร
4. ลักษณะของพื้นผิวภายในหุ่นจำลอง
5. กำหนดให้หันช่องเปิดไปสู่ทิศเหนือ และใต้
6. ขนาดของช่องแสงที่ทำการทดลองเป็น1/3ของพื้นที่ผนังด้านที่เปิดช่องแสงโดยมีขนาด กว้าง 3.00 เมตร * สูง 2.00 เมตร โดยเปิดที่ระดับใช้งานความสูง 0.75เมตร โดยมีรายละเอียดของหุ่นจำลองดังนี้



ภาพที่ 4.1 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ทำการทดสอบ

1. หุ่นจำลองขนาด 6.00*6.00*3.00 (กว้าง*ยาว*สูง) ความสูงจากพื้นถึงฝ้า 3.00 เมตร

2. เปิดช่องเปิดที่ผนังเพียงด้านเดียวเพื่อที่จะได้วัดค่าความสว่างของแสงที่ มาจากหน้าต่างเพียงอย่างเดียว

3. ผนังด้านในทาสีดำเพื่อจะได้ไม่มีการสะท้อนจากผนัง ฉะนั้นค่าความสว่างที่วัดได้จะเป็นค่าความสว่างที่มาจากช่องเปิดจริงๆ

4. เพดานกับพื้นให้เป็นสีเดียวกับผนังด้านที่มีช่องเปิด เพราะทั้งสองอย่างทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการกระจายแสง โดยกำหนดให้เพดานมีค่าการสะท้อนที่มากกว่า โดยที่เพดานควรมีค่าการสะท้อนไม่เกินร้อยละ 70, ผนังไม่เกินร้อยละ 60 และผนังไม่เกินร้อยละ 20

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. Lux meter ใช้สำหรับวัดค่าความสว่างและเก็บข้อมูล
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

<u>หมายเหตุ</u>

ในสภาพความเป็นจริง พื้นที่ห้องสมุดขนาดกว้างและลึกมาก การทดสอบจึงสร้างหุ่นจำลอง1 หน่วย แทนพื้นที่จริง มีช่องเปิดด้านข้าง 1 ด้าน ผนังภายในด้านซ้าย,ขวาและหลังทาสีดำ เป็นการตัดตัวแปรแสงสะท้อนเข้าสู่ภายใน

วิธีดำเนินการทดสอบ

1. ทำการวัดความสว่างภายในหุ่นจำลองทีละตำแหน่ง โดยใช้ Lux meter 2 ตัว ในการวัดค่าความสว่างทั้งภายนอกและภายในพร้อมกันในแต่ละจุดโดยกำหนดจุดในการวัดทั้งหมด 1 แถว 6 จุด จากบริเวณกึ่งกลางช่องเปิด ถึงผนังด้านใน ให้แต่ละจุดอยู่ห่างเท่ากัน หันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ

2. เมื่อวัดค่าความสว่างในทิศเหนือเสร็จแล้วให้หันช่องเปิดวัดความสว่างทางทิศ ใต้ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันทำการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบค่าความสว่างที่เกิดขึ้นจากทิศที่แตกต่างกัน

3. บันทึกสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เมฆและท้องฟ้า

4. หลังจากทดสอบ Light Shelf ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf) ความลึก 1.50 เมตร แล้ว ทำการทดสอบซ้ำตามข้อ1-3 โดย ใช้ชุดทดสอบที่เหลือ ได้แก่ Light Shelf แบบผสม (Combined Light Shelf), Light Shelf ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf)+ overhang อยู่ด้านนอก และ Light Shelf ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf)+ Overhang อยู่ด้านนอก+ Light Shelf ภายในอาคาร

5. วิเคราะห์ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบค่าความสว่างระหว่างจุดในชุดการทดลองเดียวกัน / เปรียบเทียบค่าต่างชุดกัน

6. สรุปรูปแบบที่ดีที่สุด

4.3.1.2 การทดสอบระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf)

วัตถุประสงค์ เพื่อหาขนาดระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) ที่เหมาะสม

สมมติฐาน ความลึกของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) มีผลต่อค่าความสว่างภายในอาคาร

ตัวแปรอิสระ คือ ขนาดความลึกของ Light Shelf

1. Light Shelf ความลึก 1.50 เมตร
2. Light Shelf ความลึก 1.20 เมตร

ตัวแปรตาม ได้แก่ค่าความสว่างภายในที่เปลี่ยนแปลงไป

ตัวควบคุมคงที่ สีและชนิดของวัสดุ , (photoboard) ค่าการสะท้อน 58.83 %

วิธีดำเนินการทดสอบ ทำวิธีเดียวกับการทดลองที่ 4.3.1.1 แต่เปลี่ยนตัวแปรทดสอบได้แก่ Light Shelf ความลึก 1.50 เมตร และ 1.20 เมตร

4.3.1.3 การทดสอบหาวัสดุและสีของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf)

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบค่าการสะท้อนของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) เมื่อเปลี่ยนวัสดุและสี

สมมติฐาน วัสดุที่ต่างกันมีผลต่อค่าความสว่างภายใน

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ผิววัสดุ Light Shelf ได้แก่

1. Light Shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร (photoboard) ค่าการสะท้อน 58.83 %
2. Light Shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร (กระดาษขาว) ค่าการสะท้อน 68.24 %
3. Light Shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร (aluminium) ค่าการสะท้อน 71.97 %

ตัวควบคุมคงที่ ระยะยื่น ของ Light Shelf 1.20 เมตร

ตัวแปรตาม ได้แก่ค่าความสว่างภายในที่เปลี่ยนแปลงไป

วิธีดำเนินการทดสอบ ทำวิธีเดียวกับการทดลองที่ 4.3.1.1 โดยมีตัวแปรทดสอบตามข้อ 1-3 (ตัวแปรอิสระ)

4.3.1.4 การทดสอบหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) แบบเอียง 30 องศา

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความสามารถในการกระจายแสงของ Light Shelf แบบเอียง ว่าให้ค่าความสว่างเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับแบบตรง

สมมติฐาน ความเอียงของ Light Shelf น่าจะมีผลต่อค่าความสว่างภายใน

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ หิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) แบบเอียง 30องศา และแบบตรงแนวนอน 90องศา

ตัวควบคุมคงที่ เหมือนกับการทดลองที่ 4.3.1.1

วิธีดำเนินการทดสอบ ทำเหมือนกับการทดลองที่ 4.3.1.2

4.3.2 การทดลองเพื่อหาระดับความสูงของเพดานและความสูงของ light shelf

วัตถุประสงค์ เพื่อหาระดับความสูงของเพดานที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารได้มากที่สุด

สมมติฐาน

1. ความสูงของเพดานน่าจะมีผลต่อค่าความสว่างภายใน
2. ความสูงของเพดานน่าจะส่งร่วมกับผลต่อการสะท้อนแสงของ Light Shelf เข้าสู่อาคาร

3 ระดับความสูงของ Light Shelf น่ามีผลต่อค่าความสว่างภายใน

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ระดับความสูงของเพดานและระดับความสูงของ Light Shelf

1. ความสูงของเพดาน 3.50 เมตร

1.1 ความสูงของเพดาน 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2 เมตร

1.2 ความสูงของเพดาน 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3 เมตร

1.3 ความสูงของเพดาน 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2 เมตร + Light Shelf ด้านใน

1.4 ความสูงของเพดาน 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3 เมตร + Light Shelf ด้านใน

2. ความสูงของเพดาน 4.00 เมตร

2.1 ความสูงของเพดาน 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2 เมตร

2.2 ความสูงของเพดาน 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3 เมตร

2.3 ความสูงของเพดาน 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2 เมตร + Light Shelf ด้านใน

2.4 ความสูงของเพดาน 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3 เมตร + Light Shelf ด้านใน

ตัวแปรตาม ได้แก่ค่าความสว่างภายในที่เปลี่ยนแปลงไป

ตัวควบคุมคงที่ เหมือนกับการทดลองที่ 4.3.1.1แต่เปลี่ยนขนาดของหุ่นจำลองเป็น 1:15 โดยมีรายละเอียดของหุ่นจำลองเหมือนกับการทดลองที่4.3.1.1

วิธีดำเนินการทดสอบ ทำวิธีเดียวกับการทดลองที่ 4.3.1.1 โดยมีตัวแปรตามเหมือนกับการทดลองที่ 4.3.1.1

4.3.3 การศึกษาคุณสมบัติของช่องเปิดที่เหมาะสม

4.3.3.1 การหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ หาขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่เหมาะสมเพื่อให้มีขนาดเล็กที่สุดที่เป็นไปได้แต่มีค่าความสว่างได้ตามเกณฑ์

สมมติฐาน การเปลี่ยนแปลงความสูงของหน้าต่างน่าจะมีอิทธิพลต่อระดับความสว่างภายในทางลึกมากกว่าการเปลี่ยนความกว้าง

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ขนาดของช่องเปิดที่เปลี่ยนแปลงไป

1. ความสูง 3.05 เมตร กว้าง 5.6 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 71.167% ของผนัง
   กว้าง 4.0 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 50.83% ของผนัง
   กว้าง 3.0 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 38.125% ของผนัง
2. ความสูง 2.75 เมตร กว้าง 5.6 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 64.16% ของผนัง
   กว้าง 4.0 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 45.83% ของผนัง
3. ความสูง 2.50 เมตร กว้าง 5.6 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 58.33% ของผนัง
   กว้าง 4.0 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 41.66% ของผนัง
4. ความสูง 2.25 เมตร กว้าง 5.6 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 52.5% ของผนัง
   กว้าง 4.0 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 37.5% ของผนัง

ตัวแปรตาม ได้แก่ค่าความสว่างภายในที่เปลี่ยนแปลงไป

ตัวควบคุมคงที่

1. เพดานความสูง 4.00เมตร
2. ระดับ light-shelf ทั้งภายนอกและภายในอยู่ที่ระดับสูงจากพื้น 2.00เมตร
3. การทดลองส่วนที่เหลือเหมือนกับการทดลองที่4.2

วิธีดำเนินการทดสอบ

1. ทำการวัดความสว่างภายในหุ่นจำลองทีละตำแหน่ง โดยใช้ Lux meter 2ตัวใน ในการวัดค่าความสว่างทั้งภายนอกและภายในพร้อมกันในแต่ละจุดโดย กำหนดจุดในการวัดทั้งหมด 6 แถว 36 จุด โดยให้แต่ละจุด อยู่ห่างเท่ากันหมด ทำการวัดในช่วงเวลา 10:00-11:00น.และ13:00-14:00น หันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ

2. เมื่อวัดค่าความสว่างในทิศเหนือเสร็จแล้วให้หันช่องเปิดวัดความสว่างทางทิศ ใต้ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันทำการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบค่าความสว่างที่เกิดขึ้นจากทิศที่แตกต่างกัน

3. บันทึกสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เมฆและท้องฟ้า

4. เปลี่ยนชุดการทดลองตามตัวแปรที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น

5. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความสว่างระหว่างจุดในชุดการทดลองเดียวกัน / เปรียบเทียบค่าต่างชุดกัน

6. สรุปรูปแบบที่ดีที่สุด

7. นำผลที่ได้ไปใช้ในการทดลองที่ 4.3.3.2

4.3.3.2 การทดลองเพื่อหารูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ เพื่อหารูปแบบของช่องเปิดที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพของการกระจายแสงเข้าสู่อาคารได้ดีที่สุด (คือมีความสม่ำเสมอ และแสงเข้ามาได้ลึกที่สุด)

สมมติฐาน

1. ช่องเปิดแบบต่างๆกัน น่าจะมีการกระจายของแสงที่แตกต่างกัน
2. ช่องเปิดแบบที่มีช่องแสงด้านบนน่าจะช่วยให้แสงเข้ามาได้ลึกขึ้น

ตัวแปรอิสระ ได้แก่รูปแบบของช่องเปิดต่างๆ

1. ช่องเปิดแบบ1ช่อง
2. ช่องเปิดแบบ1ช่อง + 1ช่องด้านบน
3. ช่องเปิดแบบ2ช่อง
4. ช่องเปิดแบบ2ช่อง + 1ช่องด้านบน
5. ช่องเปิดแบบ3ช่อง
6. ช่องเปิดแบบ3ช่อง + 1ช่องด้านบน

ตัวแปรตาม ได้แก่ค่าความสว่างภายในที่เปลี่ยนแปลงไป

วิธีดำเนินการทดสอบ ทำแบบเดียวกับการทดลองที่ 4.3.3.1

4.3.4 การทดสอบเพื่อนำไปสู่การออกแบบ

วัตถุประสงค์ เป็นการนำรูปแบบที่ดีที่สุดมาทำการทดสอบเพื่อให้ค่าที่ได้มีความแน่นอนขึ้น

ตัวควบคุมคงที่ เหมือนกับการทดลองที่ 4.3.3.2

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เหมือนกับการทดลองที่ 4.3.3.2

วิธีดำเนินการทดสอบ เหมือนกับการทดลองที่ 4.3.3.2

บทที่ 5
ผลการทดลอง

5.1 การทดลองหาลักษณะของ light-shelf และช่องเปิดสำหรับห้องสมุด

ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของ light shelf แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดดังนี้

5.1.1 ผลการทดลอง เพื่อเลือกรูปแบบของ Light shelf ที่เหมาะสม

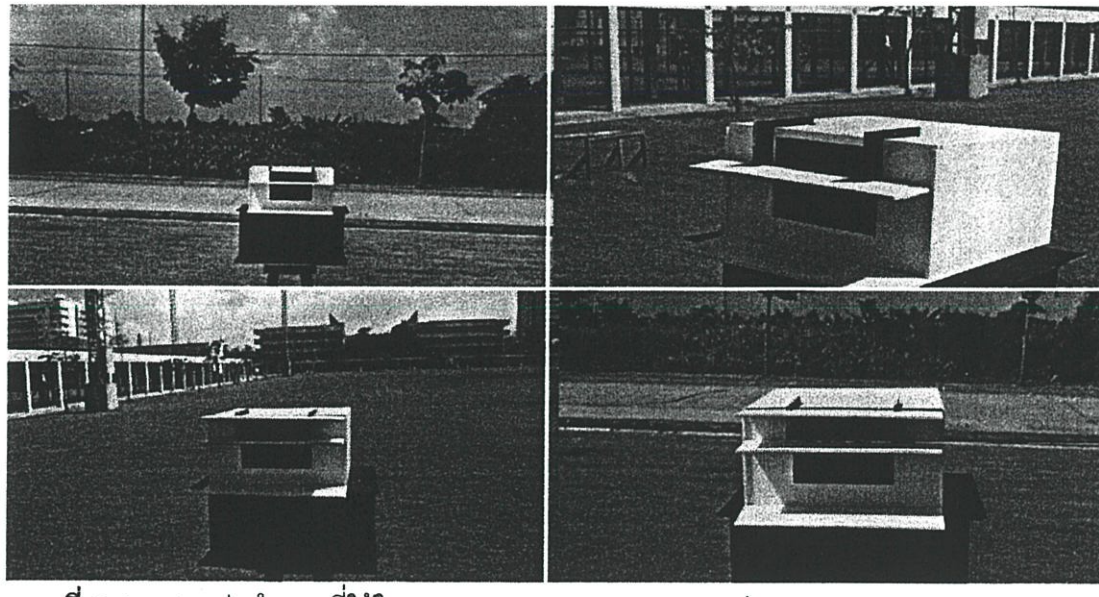
วัตถุประสงค์ เพื่อนำหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกานำแสงธรรมชาติเข้ามาในห้องสมุด

วันที่ทำการทดสอบ

วันที่11,13และ15 ตุลาคม พ.ศ.2546 ในช่วง เวลา10:00-11:00น.และ13:00 -14:00น

สภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (partly cloudy sky) โดยเมฆลอยอยู่ในระดับต่ำ



ภาพที่ 5.1 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ Light Shelf แบบต่างๆ

จากผลการทดลองวัดการกระจายแสงของรูปแบบ Light Shelf ทั้ง 4 รูปแบบในหุ่น จำลองโดยมีตัวแปรตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีค่า daylight factor มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ภาพที่ 5.2 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม

ระยะห่างจากหน้าต่าง หน่วยเป็นเมตร	รูปแบบของ light shelf ความลึก 1.50 เมตร							
	1. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)				2. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)			
	10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00	
	ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	4.232	10.240	3.880	8.665	2.514	5.415	2.786	5.891
1.50	3.368	5.197	2.346	8.045	1.492	3.492	1.593	3.306
2.50	1.664	2.974	0.938	4.848	1.104	2.451	1.101	2.411
3.50	0.945	1.771	0.885	2.825	0.724	1.454	0.725	1.404
4.50	0.598	1.110	0.551	1.669	0.499	0.930	0.474	0.851
5.50	0.395	0.673	0.360	1.019	0.328	0.555	0.313	0.579

ภาพที่ 5.3 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light Shelf แบบที่มี Overhang และแบบผสม

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบที่มี Overhang และแบบผสม

ระยะห่างจากหน้าต่าง หน่วยเป็นเมตร	รูปแบบของ light shelf ความลึก 1.50 เมตร							
	3. light-shelf แบบที่มี overhang ด้านนอก				4. light-shelf แบบผสม + overhang ด้านนอก			
	10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00	
	ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	5.779	7.101	2.027	3.639	2.163	6.970	2.839	5.333
1.50	3.169	3.929	1.548	2.529	0.935	2.949	1.116	2.547
2.50	1.863	2.411	0.947	1.552	0.481	1.529	0.607	1.148
3.50	1.396	0.996	0.578	0.897	0.316	0.926	0.396	0.664
4.50	0.804	0.642	0.417	0.574	0.228	0.434	0.262	0.449
5.50	0.175	0.398	0.267	0.389	0.166	0.295	0.211	0.319

ผลการทดลองเลือกรูปแบบของ Light shelf ที่เหมาะสม

จากการทดลองพบว่า

1. Light Shelf แบบภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf) ความลึก1.50เมตรให้ค่า Daylight Factor มากที่สุดและแสงเข้ามาได้ลึกที่สุด ทิศใต้ให้ค่า Daylight Factor มากกว่าทิศเหนือ

1.1 การกระจายแสงพิจารณาจากค่า Daylight Factor ใน แถวสุดท้ายทั้งค่าเฉลี่ยและค่าที่มากที่สุด

1.2 มีค่า Daylight Factor เฉลี่ยมากสุดที่ทิศเหนือเท่ากับ 1.867 ส่วนค่าสูงสุดเท่า กับ 4.232

1.3 ทิศใต้มีค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor มากสุด เท่ากับ3.661 ส่วนค่ามากสุดเท่ากับ 10.240

1.4 ทิศเหนือจะมีค่า Daylight Factor ลดลงในช่วงบ่าย ส่วนทิศใต้จะมีค่าเพิ่มขึ้น

เนื่องจาก Light Shelf แบบภายนอกอาคาร(Exterior Light Shelf) มีการกระจายแสงดีที่สุด จากการที่พื้นที่ใช้งานแถวลึกสุดจากระยะขอบหน้าต่างมีค่า Daylight Factor มากที่สุด โดยมีค่า 0.395 ด้านทิศเหนือและ 1.019 ด้านทิศใต้ จึงนำใช้ในการทดลองเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพต่อไป

2. เมื่อพิจารณาที่ทิศใต้พบว่าค่า Daylight Factor ที่สูงเกินความต้องการในช่วง 2 เมตรแรกที่ห่างจากหน้าต่าง นั้นมีค่าลดลงเมื่อใช้ Light Shelf แบบผสม (Combined light-shelf) คือLight Shelf 1.50 เมตรด้านนอกและ Light Shelf 1.00 เมตรด้านใน จึงพิจารณาใช้ Light Shelf แบบผสม(Combined light-shelf) ในการทดลองต่อไป

5.1.2 ผลการทดลอง เพื่อหาระยะยื่นของ Light Shelf ที่เหมาะสม

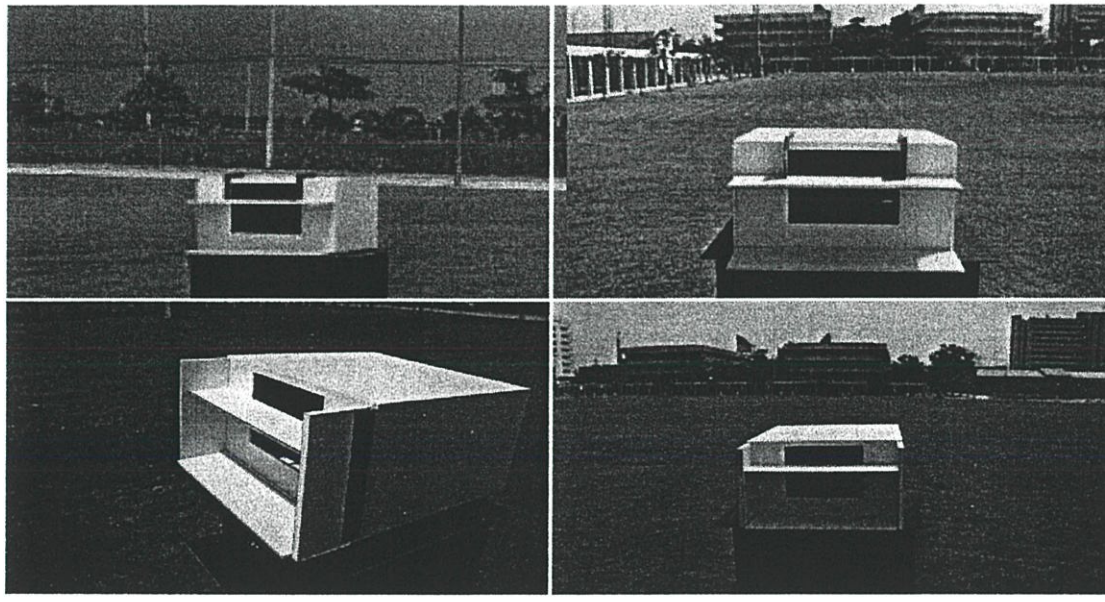
วัตถุประสงค์ เพื่อหาระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf)

วันที่ทำการทดสอบ

วันที่11และ 13 ตุลาคม พ.ศ.2546 ในช่วง เวลา 10:00-11:00 น.และ13:00 -14:00 น

สภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (partly cloudy sky)



ภาพที่ 5.4 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ Light Shelf ระยะยื่น1.50 เมตร และ1.20 เมตร

ผลการทดลองวัดการกระจายแสงของ Light Shelf ทั้ง 2 ระยะยื่นในหุ่นจำลองโดยมีตัวแปรตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีค่า daylight factor มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ภาพที่ 5.5 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light Shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf ภายนอกอาคาร และ Light Shelf แบบผสม

ระยะห่างจากหน้าต่าง หน่วยเป็นเมตร	**รูปแบบของ light shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร (กระดาษขาว)**							
	1. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)				2. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)			
	10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00	
	ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	6.364	15.782	4.540	10.138	4.449	10.127	3.260	6.893
1.50	3.742	9.314	2.745	9.413	3.195	7.723	1.864	3.869
2.50	1.923	5.157	1.097	5.673	2.563	4.821	1.289	2.821
3.50	1.061	3.044	1.035	3.305	1.263	2.913	0.848	1.643
4.50	0.708	1.693	0.644	1.953	0.579	1.926	0.555	0.996
5.50	0.464	1.149	0.422	1.192	0.366	1.146	0.366	0.677

ภาพที่ 5.6 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light Shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร

ตารางที่ 5.4 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf ภายนอกอาคาร และ Light Shelf แบบผสม

ระยะห่างจากหน้าต่าง หน่วยเป็นเมตร	**รูปแบบของ light shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร (กระดาษขาว)**							
	1. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)				2. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)			
	10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00	
	ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	4.449	12.782	6.000	9.626	3.405	8.665	3.745	7.234
1.50	3.195	8.976	3.475	6.551	2.125	5.852	2.337	4.544
2.50	1.935	5.000	1.972	3.978	1.323	3.842	1.455	3.042
3.50	0.964	2.581	1.125	2.224	0.877	2.604	0.964	1.780
4.50	0.644	1.556	0.668	1.162	0.616	1.692	0.678	1.113
5.50	0.422	0.983	0.444	0.903	0.415	1.210	0.456	0.738

ผลการทดลองหาระยะยื่นของ Light Shelf

จากการทดลองพบว่า

1. Light Shelf ภายนอกอาคาร และ Light Shelf แบบผสมที่มีวัสดุแบบเดียวกันที่ระยะยื่น ของ Light Shelf 1.50 เมตร กับ 1.20 เมตรมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก คือในด้านทิศเหนือมีค่า Daylight Factor ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ใน 3 เมตรแรกที่ห่างจากหน้าต่างทั้ง 2 แบบ

2. เมื่อพิจารณาตามสภาพความเป็นจริง Light Shelf ระยะยื่น 1.20 เมตรสร้างได้ง่าย และประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าและให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันจึงเลือก Light Shelf ที่ ระยะยื่น 1.20เมตร ใช้ในการทดลองที่4.1.3 เป็นต้นไป

5.1.3 ผลการทดลอง การทดสอบหาวัสดุและสีของ Light Shelf ที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบค่าการสะท้อนของ Light Shelf เมื่อเปลี่ยนวัสดุและสี

วันที่ทำการทดสอบ

วันที่11, 13 ตุลาคม และ 11 พฤษจิกายน พ.ศ.2546 ในช่วง เวลา10:00 -11:00 น.และ 13:00 -14:00 น.

สภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

ภาพที่ 5.7 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบวัสดุของ Light Shelf ระยะยื่น1.20 เมตร

จากผลการทดลองวัดการกระจายแสงของ Light Shelf ทั้ง 3 วัสดุในหุ่นจำลองโดยมีตัวแปรตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีค่า Daylight Factor มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ภาพที่ 5.8 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบผิววัสดุของ Light Shelf ระยะยื่น 1.20 เมตร

ตารางที่ 5.5 แสดงค่า Daylight Factor ของการทดสอบผิววัสดุแบบต่างๆของ Light Shelf

ระยะห่างจากหน้าต่างหน่วยเป็นเมตร	1. light shelf ภายนอกอาคาร (exterior light shelf)						2. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)					
	10:00-11:00						10:00-11:00					
	photoboard		กระดาษขาว		อลูมิเนียม		photoboard		กระดาษขาว		อลูมิเนียม	
	DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	3.647	12.93	4.449	15.78	5.428	19.25	2.061	7.890	3.067	9.626	3.405	11.74
1.50	2.619	7.357	3.195	8.976	3.898	10.95	1.221	4.796	1.818	5.852	2.125	7.139
2.50	1.586	4.098	1.935	5.000	2.341	6.05	0.904	3.149	1.323	3.842	1.335	4.649
3.50	0.790	2.115	0.964	2.581	1.157	3.097	0.593	2.135	0.877	2.604	0.869	3.125
4.50	0.528	1.275	0.644	1.556	0.766	1.852	0.410	1.387	0.616	1.692	0.595	2.013
5.50	0.346	0.805	0.422	0.983	0.494	1.15	0.269	0.992	0.415	1.210	0.384	1.415

ผลการทดลองหาวัสดุและสีของ Light Shelf

จากการทดลอง พบว่า

วัสดุแต่ละประเภทให้ค่าความสว่างแตกต่างกัน วัสดุผิวเป็นอลูมิเนียมทำให้ค่า Daylight Factor ดีที่สุด รองลงมาคือ กระดาษขาว และ Photoboard ตามลำดับ โดยผิวที่เป็นอลูมิเนียมให้ค่า Daylight Factor เพิ่มขึ้นจากแบบที่เป็นกระดาษขาวประมาณ 20 % จึงพิจารณาเลือกผิวอลูมิเนียมใช้ในการทดลองต่อไปตั้งแต่การทดลองที่ 4.3 เพื่อหาขนาดของช่องเปิด

5.1.4 ผลการทดลอง การทดสอบ Light Shelf แบบเอียง 30 องศา

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความสามารถในการกระจายแสงของ Light Shelf แบบเอียง ว่าให้ค่าความสว่างเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับแบบตรง

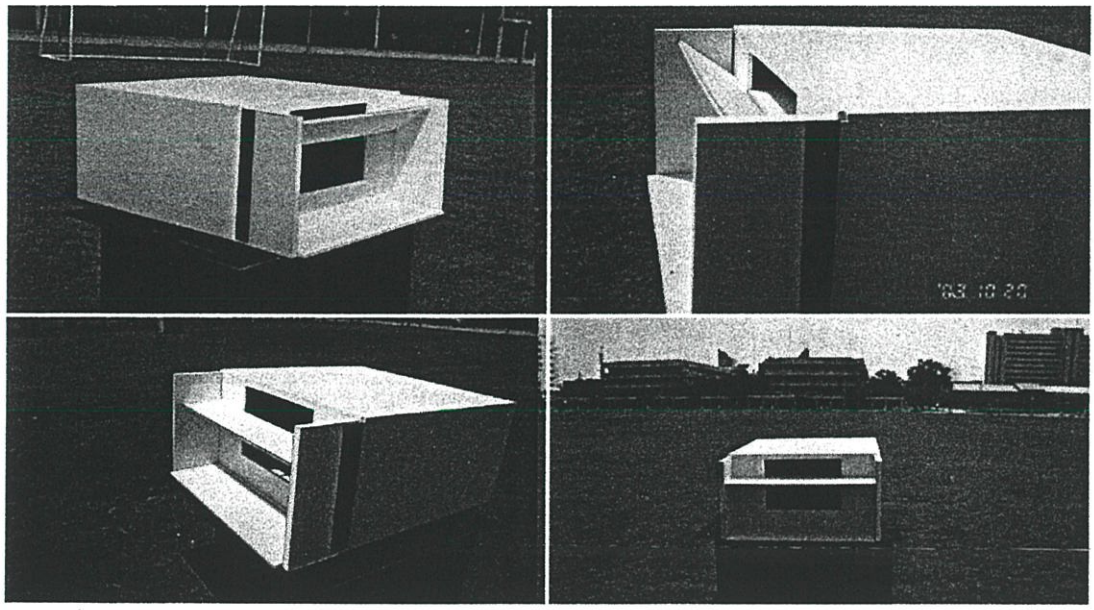
วันที่ทำการทดสอบ

วันที่13 และ 20ตุลาคม พ.ศ.2546 ในช่วง เวลา 10:00-11:00 น.และ 13:00 -14:00 น.

สภาพท้องฟ้า

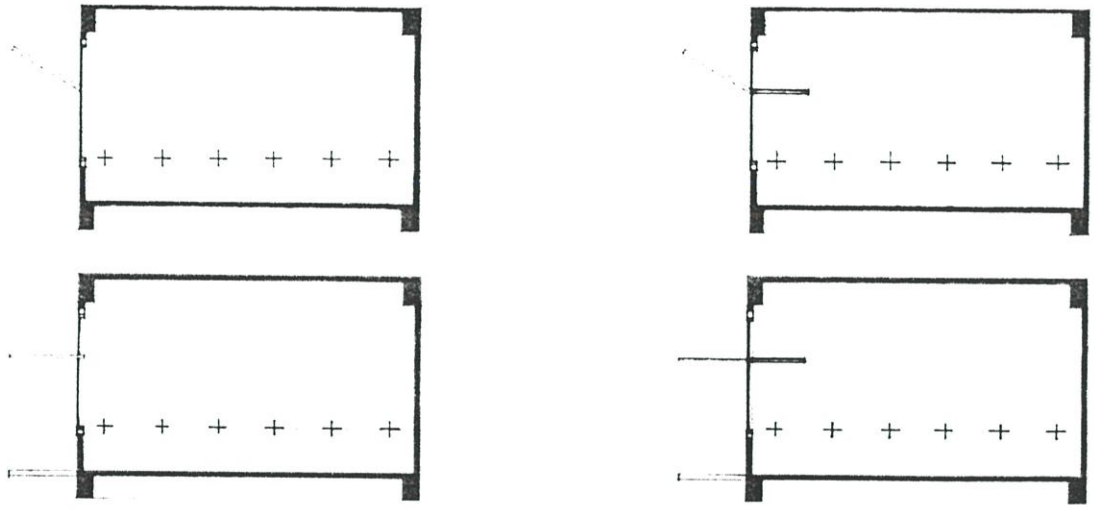
สภาพท้องฟ้ามีเมฆกระจายเกือบทั่วท้องฟ้า

ภาพที่ 5.9 แสดงสภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดสอบ



ภาพที่ 5.10 แสดงหุ่นจำลองขณะทดสอบ Light Shelf แบบเอียง 30 องศา และแบบตรง

จากผลการทดลองวัดการกระจายแสงของ Light Shelf ทั้ง 2 ความเอียงในหุ่นจำลองโดยมีตัวแปรตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีค่า Daylight Factor มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5.11 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ Light Shelf ความเอียง 30 องศาและ 90 องศา

ตารางที่ 5.6 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf ความเอียง 30 องศาและ 90 องศา

ระยะห่างจากหน้าต่างหน่วยเป็นเมตร	Light shelf ภายนอก 30°				Light shelf ภายนอก 90°				Light shelf แบบผสม 30°				Light shelf แบบผสม 90°			
	10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00	
	DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	5.03	17.2	6.4	19.3	4.45	15.8	6.00	20.4	3.40	13.3	3.33	11.0	3.41	9.63	3.75	7.23
1.50	3.30	10.6	4.14	8.30	3.2	8.98	3.48	6.55	2.39	6.08	2.19	5.43	2.13	5.85	2.34	4.54
2.50	2.04	5.58	2.47	4.82	1.94	5.00	1.97	3.98	1.66	3.73	1.80	3.47	1.32	3.84	1.46	3.04
3.50	1.41	3.19	1.38	2.86	0.96	2.58	1.13	2.22	1.06	2.44	1.11	2.12	0.88	2.60	0.96	1.78
4.50	1.04	1.97	0.96	2.23	0.64	1.56	0.67	1.16	0.90	1.47	0.84	1.46	0.62	1.69	0.68	1.11
5.50	0.79	1.39	0.65	1.42	0.42	0.98	0.44	0.90	0.66	1.31	0.70	0.93	0.42	1.21	0.46	0.74

ผลการทดลองทดสอบ Light Shelf แบบเอียง 30 องศา

จากการทดลองพบว่า

1. เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่างโดยใช้ค่า Daylight Factor พบว่า Light Shelf แบบเอียง 30 องศามีค่าความสว่างภายในมากกว่า และแสงเข้าไปได้ลึกกว่าจากค่า Daylight Factor ที่แถวลึกสุดจากระยะขอบหน้าต่างมากว่าแบบ 90 องศา ประมาณ 41.488% เมื่อหันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ

2. เมื่อเปรียบเทียบแบบเดียวกันที่ทิศใต้พบว่าค่า Daylight Factor ของLight Shelf แบบเอียง 30 องศา ไม่แตกต่างกับแบบเอียง 90 องศามาก ประมาณ 22%

5.2 ผลการทดลองเพื่อหาระดับความสูงของเพดานและความสูงของ Light shelf

5.2.1 ผลการทดลองเพื่อหาระดับความสูงของเพดานและความสูงของ Light shelf

วัตถุประสงค์ เพื่อหาระดับความสูงของเพดานที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ ภายในอาคารได้มากที่สุด

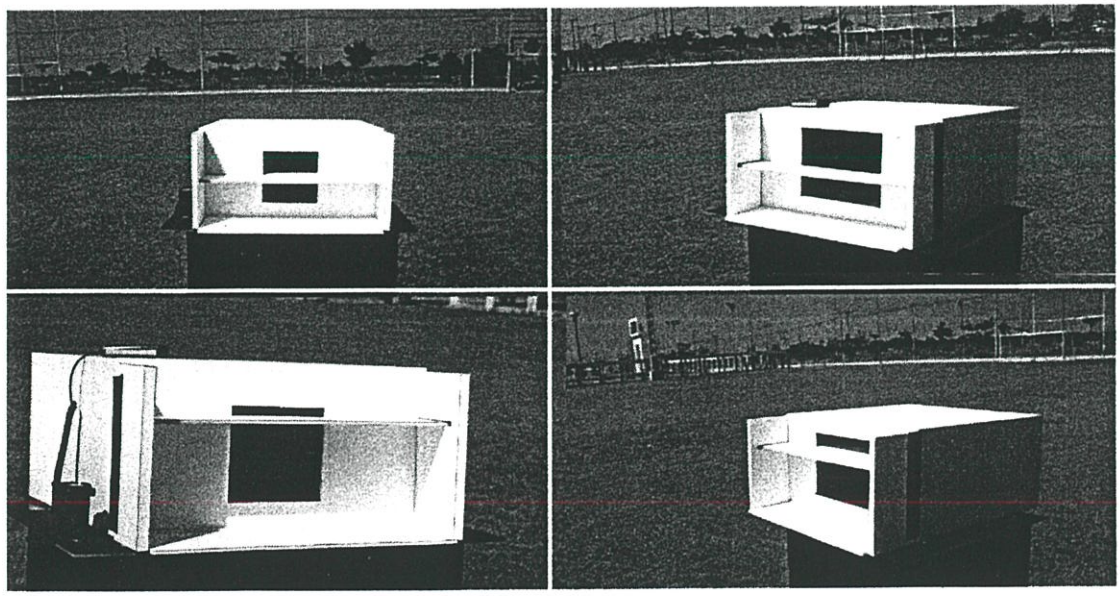
วันที่ทำการทดสอบ

วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ.2546 ในช่วง เวลา10:00 - 11:00 น.และ13:00 - 14:00 น.

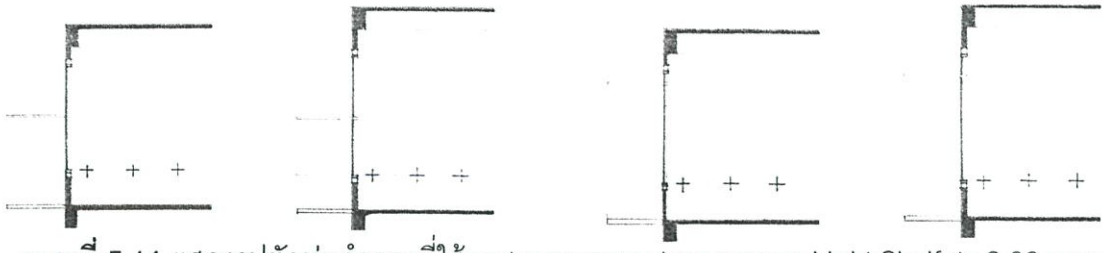
สภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้ามีเมฆกระจายเป็นวงกว้างสลับกับท้องฟ้าโปร่งเป็นบางช่วง

ภาพที่ 5.12 แสดงสภาพท้องฟ้าในวันทำการทดสอบ



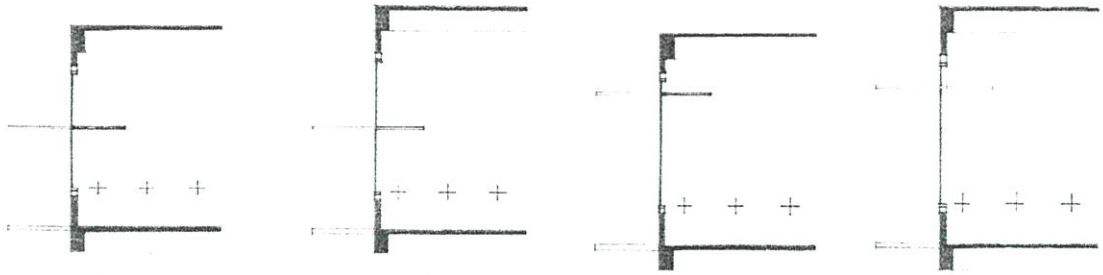
ภาพที่ 5.13 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบหาความสูงของเพดานที่ความสูง 3.50 และ 4.00 เมตร



ภาพที่ 5.14 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบหาความสูงของเพดาน Light Shelf สูง 2.00 เมตร

ตารางที่ 5.7 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอกอาคารที่ความสูงเพดานต่างๆ

ระยะห่างจากหน้าต่างหน่วยเป็นเมตร	light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)				light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)			
	light-shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร				light-shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร			
	เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร		เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร	
	daylight factor (%)		daylight factor (%)		daylight factor (%)		daylight factor (%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	3.246	18.256	3.386	18.917	2.932	15.131	2.866	15.696
1.50	1.840	8.631	2.277	10.217	1.540	7.419	1.932	9.424
2.50	1.102	5.876	1.599	7.441	0.941	4.592	1.319	6.740
3.50	0.755	4.053	1.100	5.705	0.625	2.988	0.957	5.004
4.50	0.505	2.891	0.790	4.375	0.423	1.984	0.706	3.593
5.50	0.382	2.072	0.602	3.283	0.320	1.396	0.543	2.697



ภาพที่ 5.15 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบหาความสูงของเพดาน Light Shelf สูง 3.00 เมตร

ตารางที่ 5.8 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสมที่ความสูงเพดานต่างๆ

ระยะห่างจากหน้าต่างหน่วยเป็นเมตร	light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)				light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)			
	light-shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร				light-shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร			
	เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร		เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร	
	daylight factor (%)		daylight factor (%)		daylight factor (%)		daylight factor (%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	2.087	8.761	2.502	7.759	1.391	12.622	1.536	14.378
1.50	1.306	6.774	1.123	5.566	0.980	6.558	1.183	8.128
2.50	0.927	5.307	0.996	4.268	0.696	3.351	1.007	5.508
3.50	0.658	3.540	0.784	2.841	0.462	2.219	0.687	3.717
4.50	0.443	2.350	0.592	1.899	0.326	1.463	0.481	2.738
5.50	0.313	1.299	0.459	1.659	0.238	1.019	0.337	2.007

ผลการทดลองหาระดับความสูงของเพดานและความสูงของ Light shelf

จากการทดลองพบว่า

1. เมื่อเพิ่มระยะความสูงของเพดานจาก 3.00 เมตรเป็น 4.00 เมตรทำให้ค่า เพิ่มขึ้น Daylight Factor เมื่อพิจารณาที่ความสูงของ Light Shelf เท่ากัน

2. เมื่อเพิ่มระยะความสูงจากพื้นของ Light Shelf จาก2.00 เมตรเป็น 3.00 เมตร ค่า Daylight Factor ไม่เพิ่มขึ้นแต่ลดลง ดังนั้นจึงใช้ความสูงเพดาน 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

5.3 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของช่องเปิดที่เหมาะสม

แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดดังนี้

5.3.1 ผลการทดลองหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ เพื่อหาขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่เหมาะสม

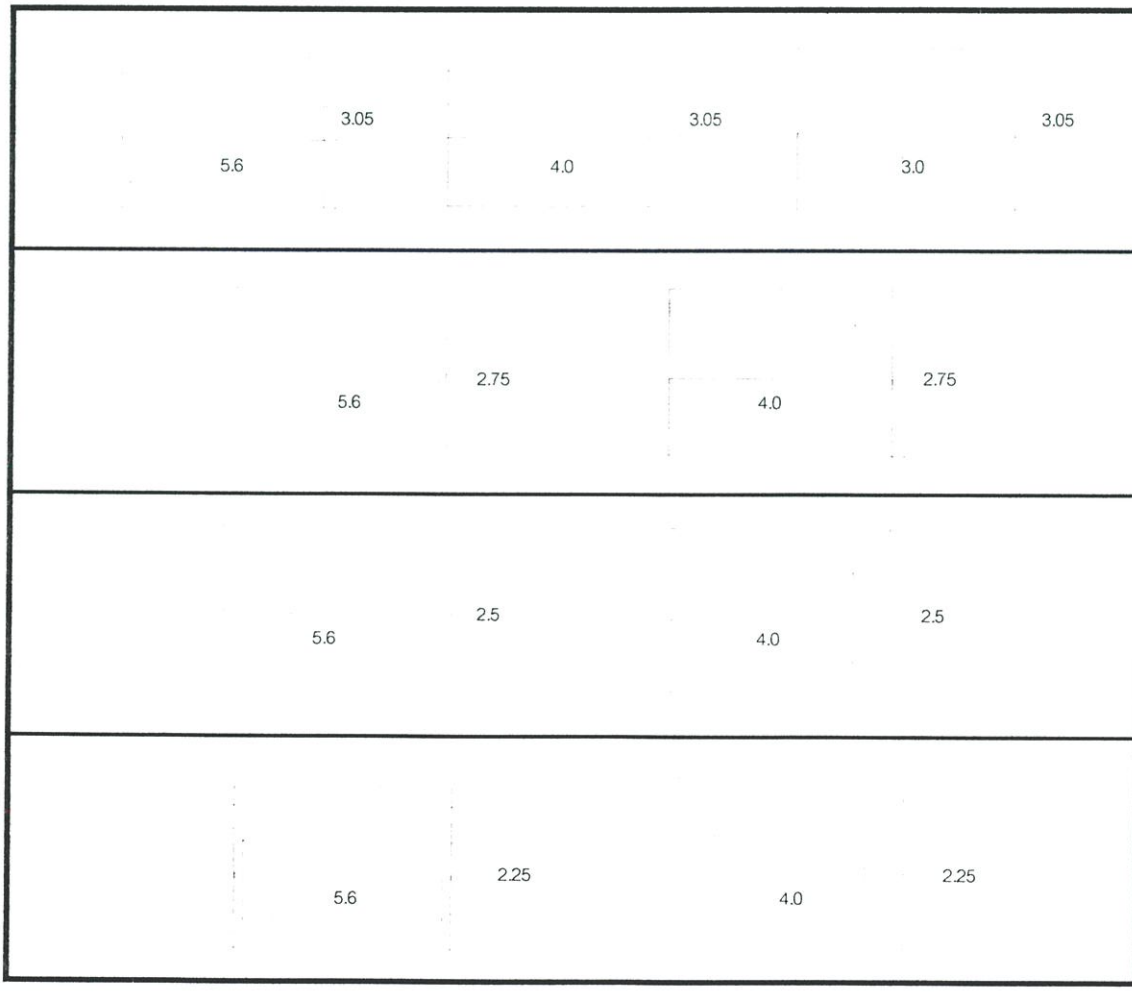
วันที่ทำการทดสอบ

วันที่12,17,18,19,20 และ 21 พฤษจิกายน พ.ศ.2546 ในช่วง เวลา10:00 - 11:00 น. และ13:00 -14:00น

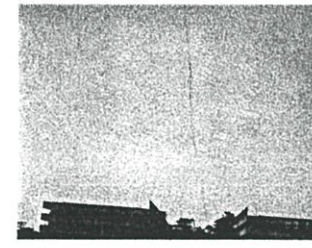
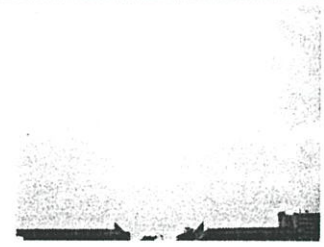
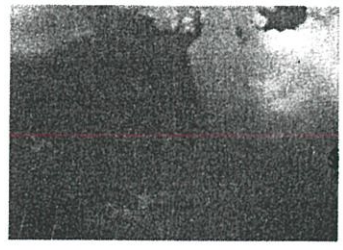
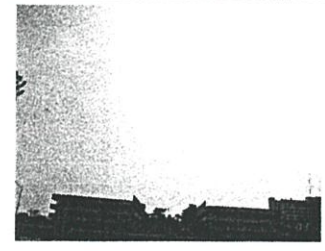
สภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (partly cloudy sky) สลับกลับมีเมฆกระจายทั่วท้องฟ้า

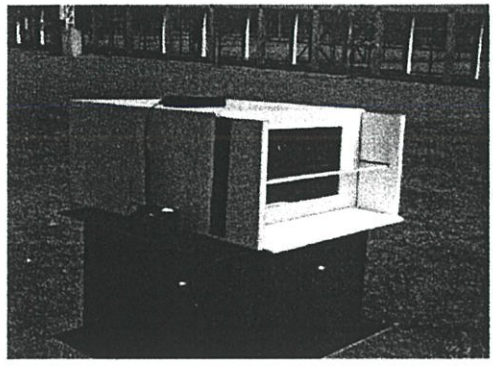
ตารางที่ 5.9 แสดงรูปด้านของช่องเปิดที่ทำการทดสอบ

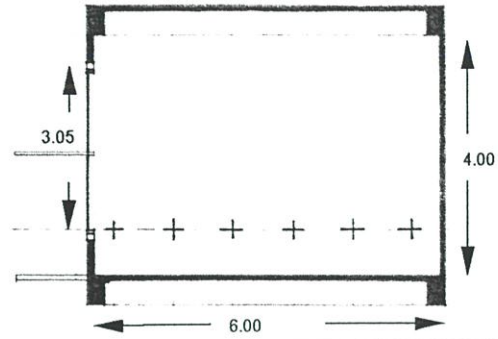


ตารางที่ 5.10 แสดงสภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดสอบ

สภาพท้องฟ้าในวันที่ 12 พฤษจิกายน 2546 ทดสอบช่องเปิดขนาด 4*3.05 และ5.6*2.5
สภาพท้องฟ้าในวันที่ 17 พฤษจิกายน 2546 ทดสอบช่องเปิดขนาด 5.6*3.05,4*2.75 และ 4*2.5

สภาพท้องฟ้าในวันที่ 18 พฤษจิกายน 2546 ทดสอบช่องเปิดขนาด 5.6*2.75
สภาพท้องฟ้าในวันที่ 20 พฤษจิกายน 2546 ทดสอบช่องเปิดขนาด 3*3.05

สภาพท้องฟ้าในวันที่ 21 พฤษจิกายน 2546 ทดสอบช่องเปิดขนาด 5.6*2.25 และ 4*2.25
 

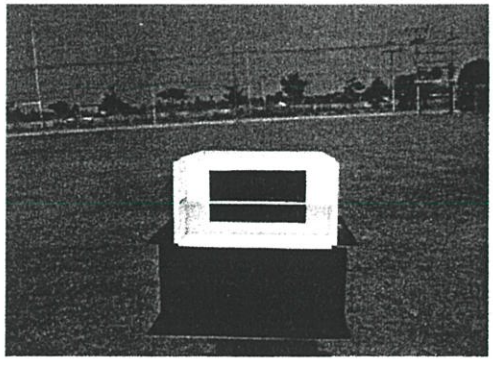
ตารางที่ 5.11 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*3.05

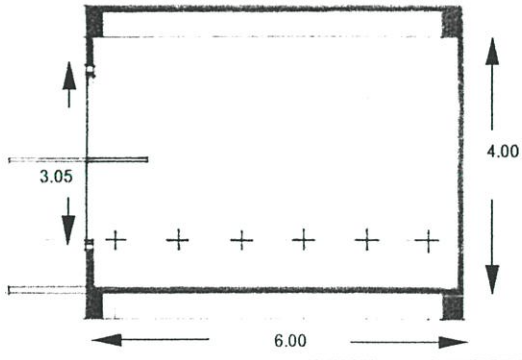




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*3.05 เป็น 71.17% ของผนัง 10:50 - 11:10 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*3.05 เป็น 71.17% ของผนัง 11:20 - 11:50 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
3.022	3.827	4.254	4.802	5.106	4.332	4.22	0.50	26.83	24.99	27.4	30.12	29.97	28.51	20.05
2.334	2.952	3.43	3.543	3.692	3.063	3.17	1.50	75.21	71.75	86.97	77.66	93.91	80.34	40.65
1.532	1.948	2.307	2.342	2.37	1.871	2.06	2.50	14.29	12.25	14.85	16.18	17.02	14.4	11.05
1.234	1.452	1.510	1.555	1.584	1.416	1.44	3.50	10.69	9.576	11.49	11.897	12	10.38	8.849
0.912	1.021	1.122	1.117	1.339	1.032	1.09	4.50	7.87	7.081	8.445	8.627	8.673	7.702	6.719
0.719	0.791	0.827	0.867	0.845	0.795	0.81	5.50	5.87	5.478	6.013	6.561	6.526	5.623	5.024

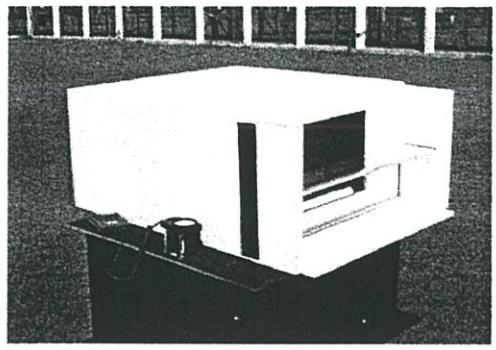
ตารางที่ 5.12 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*3.05

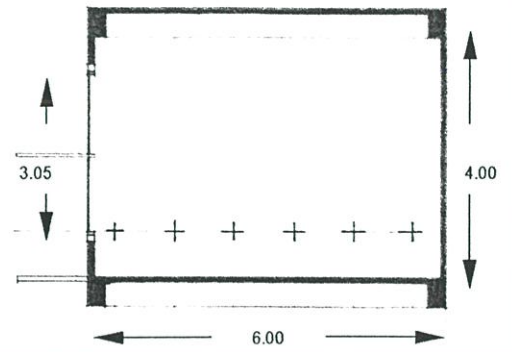




Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*3.05 เป็น 71.17% ของผนัง 12:35 - 12:55 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*3.05 เป็น 71.17% ของผนัง 12:05 - 12:30 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
2.186	2.474	2.554	2.495	2.332	1.87	2.319	0.50	16.535	13.52	17.16	18.83	18.25	16.85	14.6
1.186	1.507	1.609	1.496	1.414	1.13	1.390	1.50	17.463	13.23	17.81	20.02	19.94	18.68	15.09
1.048	1.252	1.321	1.296	1.235	0.971	1.034	2.50	16.751	12.37	16.76	18.96	19.05	18.03	15.33
0.93	1.063	1.118	1.128	1.049	0.913	1.187	3.50	13.288	10.39	12.61	14.205	15.13	14.56	12.82
0.75	0.82	0.859	0.838	0.846	0.747	0.810	4.50	9.370	7.586	9.336	10.273	10.17	9.989	8.866
0.565	0.608	0.655	0.666	0.661	0.600	0.626	5.50	6.698	5.632	6.694	6.971	7.414	7.11	6.366

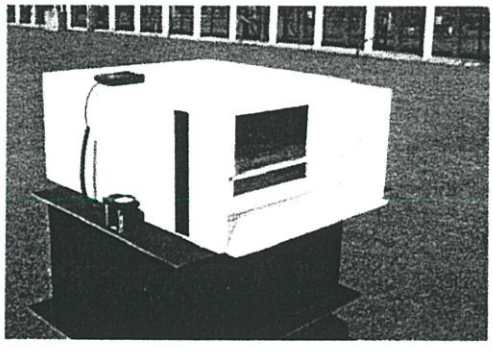
ตารางที่ 5.13 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*3.05

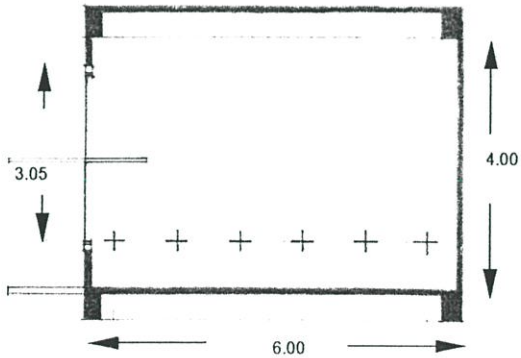




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*3.05 เป็น 50.83% ของผนัง 12/11/03 13:10 - 13:55 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*3.05 เป็น 50.83% ของผนัง 12/11/03 14:00 - 14:20 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
1.889	3.662	4.431	3.711	3.691	2.468	3.309	0.50	22.79	6.51	13.31	34.72	27.54	29.09	25.57
1.723	2.495	2.777	3.158	2.486	3.208	2.641	1.50	23.15	5.878	9.146	13.15	39.24	41.86	29.62
1.208	1.609	1.702	2.258	1.743	1.458	1.663	2.50	8.3	4.752	7.126	9.18	10.12	9.992	8.635
1.037	1.228	1.266	1.365	1.203	1.333	1.239	3.50	5.993	4.1	5.378	6.543	6.945	6.705	6.287
0.765	0.887	0.958	0.975	1.124	0.871	0.930	4.50	4.271	3.257	4	4.488	4.855	4.654	4.374
0.587	0.672	0.787	0.766	0.712	0.653	0.696	5.50	3.305	2.695	3.248	3.446	3.753	3.425	3.265

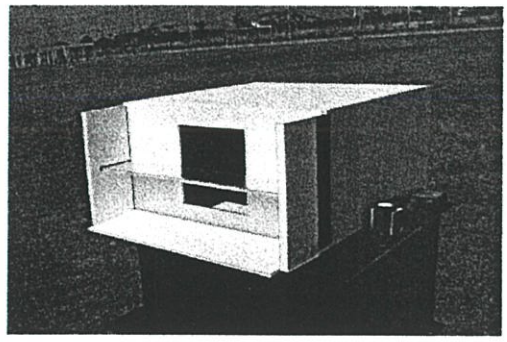
ตารางที่ 5.14 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*3.05

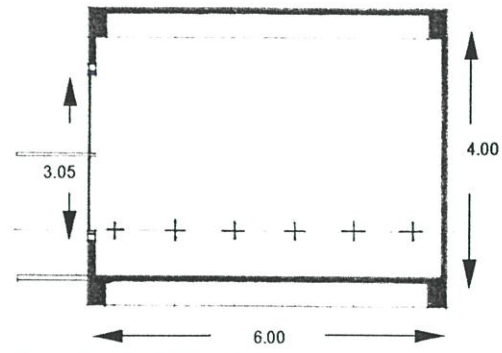




Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*3.05 เป็น 50.83% ของผนัง 12/11/03 14:50 - 15:10 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*3.05 เป็น 50.83% ของผนัง 12/11/03 14:25 - 14:45 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
1.057	2.213	2.883	3.075	2.573	1.015	2.136	0.50	10.31	4.206	10.64	13.37	14.63	12.67	6.363
0.959	1.356	1.674	1.764	1.453	1.028	1.372	1.50	8.514	4.339	6.84	9.209	11.13	10.58	8.986
0.955	1.279	1.366	1.348	1.205	0.938	1.182	2.50	7.404	3.812	5.428	7.167	8.799	9.68	9.541
0.816	1.143	1.210	0.997	1.099	0.901	1.028	3.50	5.467	3.152	4.074	5.098	6.357	7.204	6.914
0.739	0.817	0.864	0.869	0.841	0.705	0.806	4.50	3.865	2.479	3.145	3.718	4.286	4.764	4.798
0.599	0.65	0.666	0.694	0.666	0.597	0.645	5.50	2.804	1.965	2.409	2.631	3.079	3.391	3.346

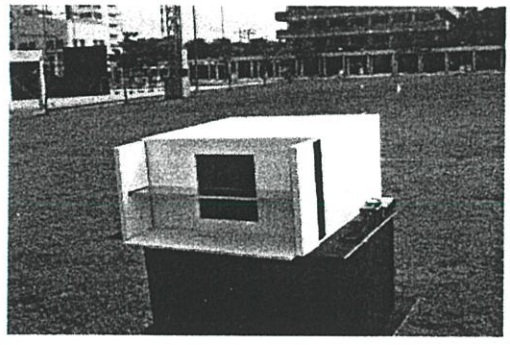
ตารางที่ 5.15 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 3*3.05

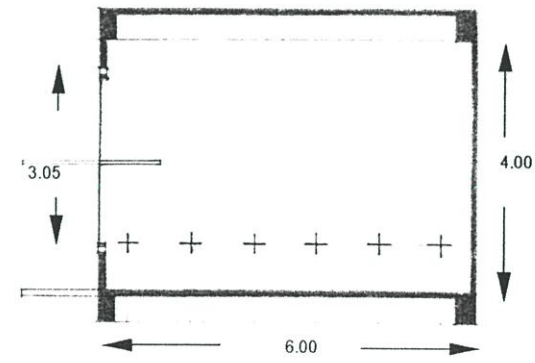




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 3*3.05 เป็น 38.125% ของผนัง 20/11/03 11:25 - 11:45 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 3*3.05 เป็น 38.125% ของผนัง 20/11/03 11:50 12:20 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
1.41	3.548	6.035	5.8	3.841	1.426	3.667	0.50	19.35	6.258	17.45	31.63	33.62	19.77	7.395
1.852	3.198	4.011	3.619	3.017	1.719	2.903	1.50	45.16	7.315	27.95	76.92	84.4	64	10.11
1.462	2.178	2.444	2.427	1.964	1.438	1.985	2.50	11.5	7.516	11.03	13.71	15.99	12.5	8.277
1.185	1.538	1.756	1.624	1.35	1.212	1.444	3.50	8.022	6.393	8.19	9.243	9.532	8.038	6.736
0.919	1.159	1.242	1.098	1.098	0.965	1.080	4.50	5.652	4.689	5.271	6.547	6.353	5.887	5.167
0.706	0.834	0.888	0.88	0.849	0.75	0.818	5.50	4.168	3.413	3.983	4.688	4.97	4.222	3.731

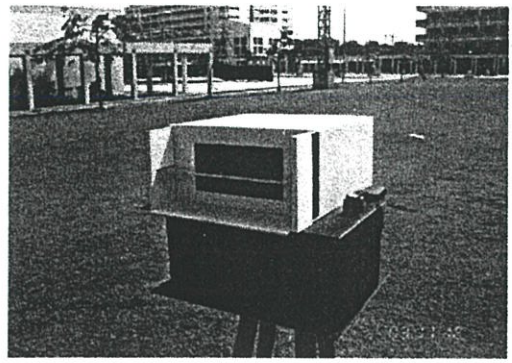
ตารางที่ 5.16 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 3*3.05

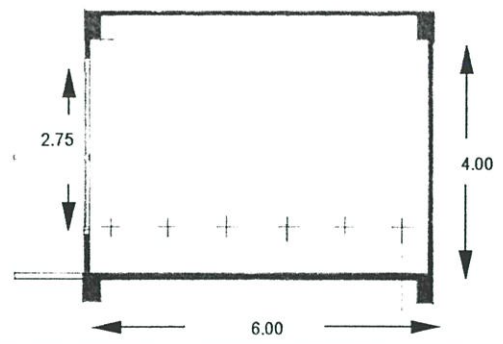




Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 3*3.05 เป็น 38.125% ของผนัง 20/11/03 13:30-14:10 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 3*3.05 เป็น 38.125% ของผนัง 20/11/03 12:30-13:15 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
0.61	1.929	4.031	4.923	2.709	0.8	2.50	0.50	10.03	2.724	9.175	16.17	20.93	8.52	2.648
0.941	1.613	2.2	2.896	2.643	1.525	1.97	1.50	9.662	5.065	9.231	12.85	17.3	8.926	4.603
1.491	1.667	1.933	2.603	2.156	1.888	1.956	2.50	9.798	5.708	8.966	12.73	15.39	9.297	6.7
1.121	1.309	1.579	1.939	1.764	1.466	1.530	3.50	7.733	5.508	7.551	9.485	11.2	7.013	5.645
0.794	0.955	1.086	1.236	1.191	1.114	1.063	4.50	5.668	4.388	5.5	6.995	7.815	4.987	4.327
0.641	0.692	0.853	0.902	0.963	0.812	0.810	5.50	4.055	3.308	4.028	5.027	5.472	3.323	3.168

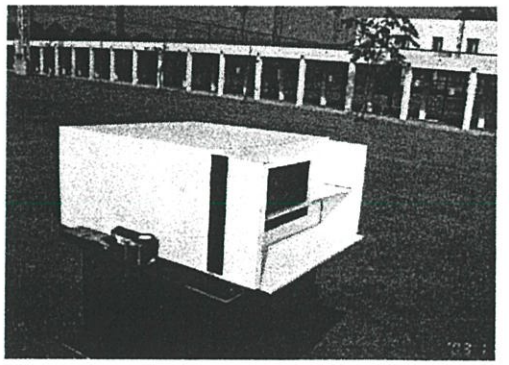
ตารางที่ 5.17 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.75

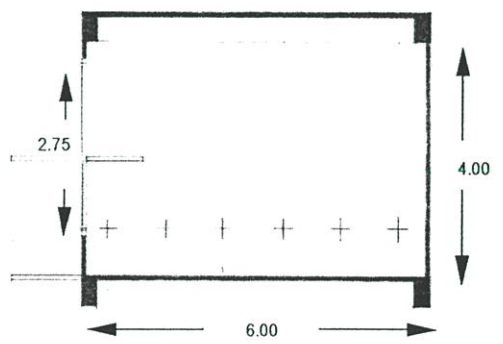




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.75 เป็น 64.16% ของผนัง 18/11/03 12:30 - 12:50 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.75 เป็น 64.16% ของผนัง 18/11/03 14:40 14:55 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
4.23	4.003	4.498	4.084	3.851	3.043	3.951	0.50	18.68	11.36	12.5	14.97	32.38	24.12	16.76
2.288	2.707	2.938	2.792	2.501	2.064	2.548	1.50	12.4	6.526	11.94	11.78	13.88	14.74	15.52
1.544	1.8	1.892	1.855	1.726	1.34	1.693	2.50	7.474	4.637	6.618	8.251	8.454	8.927	7.96
1.128	1.436	1.349	1.343	1.217	1.06	1.256	3.50	5.51	3.979	4.94	5.728	6.13	6.251	6.01
0.933	1.012	0.988	0.983	0.903	0.816	0.939	4.50	4.101	3.117	3.746	4.235	4.575	4.524	4.41
0.716	0.784	0.798	0.777	0.714	0.676	0.744	5.50	3.099	2.395	2.856	3.15	3.56	3.409	3.221

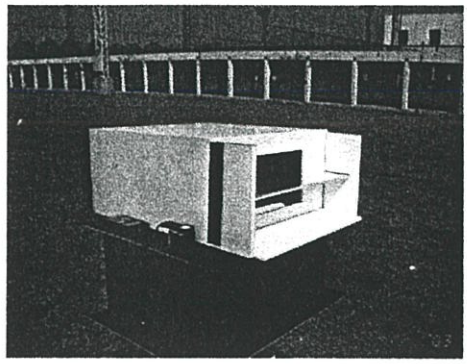
ตารางที่ 5.18 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.75

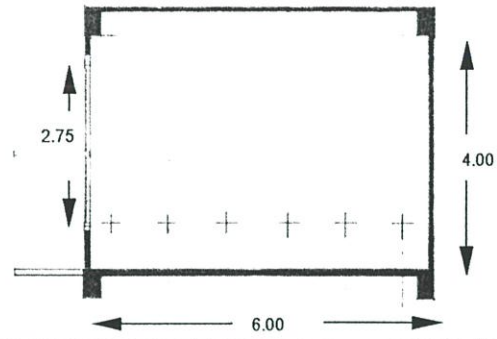




Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.75 เป็น 64.16% ของผนัง 18/11/03 11:45-12:05 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.75 เป็น 64.16% ของผนัง 18/11/03 15:00-15:15 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
2.36	2.982	3.138	3.195	3.038	2.572	2.881	0.50	10.68	7.381	10.57	11.29	11.95	12.5	10.43
1.504	1.832	2	1.997	1.927	1.669	1.822	1.50	6.919	4.555	6.25	7.212	8.052	7.996	7.448
1.137	1.337	1.522	1.473	1.428	1.344	1.373	2.50	5.284	3.456	4.585	5.552	5.983	5.619	6.512
1.069	1.229	1.302	1.301	1.207	1.142	1.208	3.50	4.527	3.047	3.994	4.591	5.039	5.189	5.302
0.839	0.985	1.029	0.988	0.979	0.906	0.954	4.50	3.436	2.511	3.072	3.422	3.777	3.857	3.976
0.695	0.787	0.843	0.825	0.796	0.719	0.778	5.50	2.582	1.941	2.37	2.569	2.907	2.872	2.833

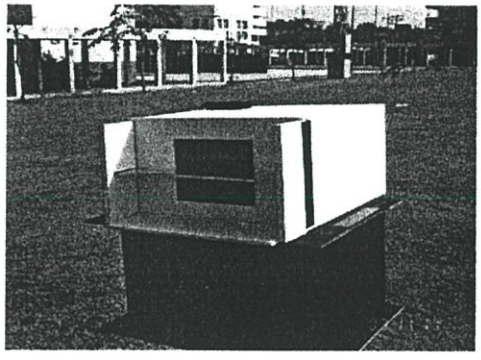
ตารางที่ 5.19 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.75

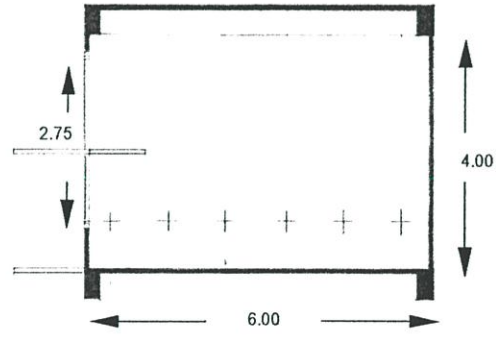




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.75 เป็น 45.83% ของผนัง 18/11/03 12:30 - 12:50 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.75 เป็น 45.83% ของผนัง 18/11/03 14:40 14:55 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
1.009	2.608	3.064	3.119	2.791	1.235	2.304	0.50	15.35	5.746	14.08	21.88	19.9	19.44	11.06
1.214	1.805	2.082	2.05	1.64	1.437	1.705	1.50	40.60	6.636	11.23	40.13	55.08	63.52	67.03
0.795	1.14	1.263	1.287	1.153	0.971	1.102	2.50	9.393	5.902	8.291	10.44	11.28	10.82	9.62
0.685	0.861	0.884	0.942	0.838	0.794	0.834	3.50	7.004	5.003	6.632	7.374	7.847	7.967	7.199
0.488	0.647	0.622	0.654	0.65	0.598	0.610	4.50	4.992	3.684	4.69	5.239	5.599	5.603	5.138
0.417	0.48	0.488	0.508	0.48	0.451	0.471	5.50	3.783	3.063	3.563	3.859	4.226	4.156	3.831

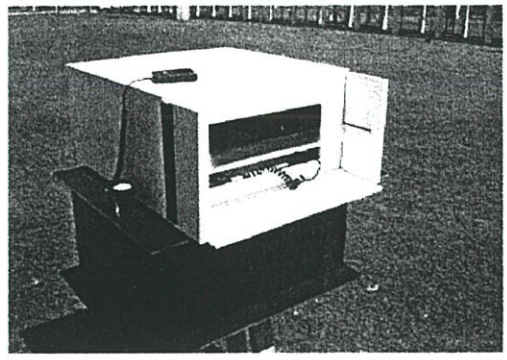
ตารางที่ 5.20 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.75

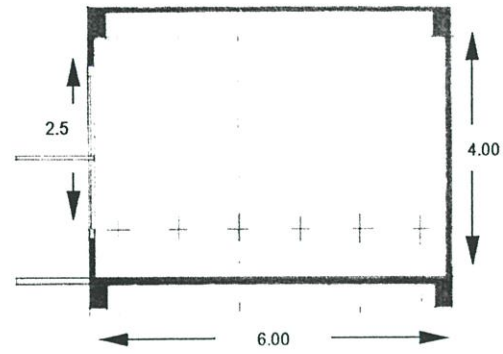




Light Shelf แบบภายผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.75 เป็น 45.83% ของผนัง 18/11/03 12:30 - 12:50 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.75 เป็น 45.83% ของผนัง 18/11/03 14:40 14:55 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
0.758	2.446	2.823	3.141	2.74	1.018	2.154	0.50	12.11	4.036	11.53	19.52	15.72	14.32	7.562
0.924	1.383	1.525	1.635	1.344	0.996	1.301	1.50	9.742	4.814	7.933	11.25	12.3	12.05	10.1
0.828	1.077	1.176	1.183	0.975	0.816	1.009	2.50	8.125	4.328	6.199	8.147	9.903	10.24	9.93
0.793	0.875	1.044	0.984	0.858	0.762	0.886	3.50	6.667	3.482	5.259	6.653	7.937	8.317	8.414
0.64	0.741	0.762	0.79	0.685	0.603	0.704	4.50	5.072	3.053	4.148	5.400	5.646	6.111	6.075
0.495	0.564	0.6	0.579	0.547	0.492	0.546	5.50	3.645	2.506	3.064	3.743	4.193	4.132	4.234

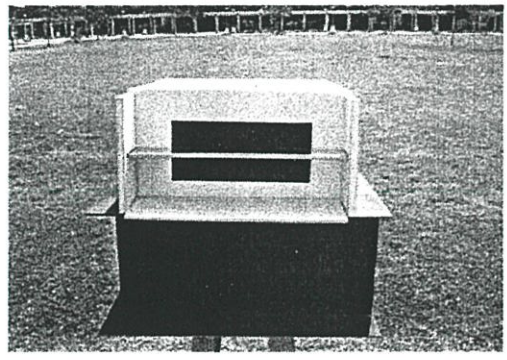
ตารางที่ 5.21 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.5

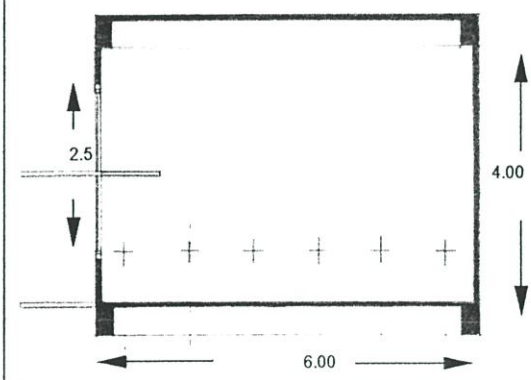




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.5 เป็น 58.33% ของผนัง 12/11/03 11:20 - 11:40 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.5 เป็น 58.33% ของผนัง 12/11/03 11:45 12:00 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
2.208	2.928	3.189	3.275	3.129	2.596	2.888	0.50	54.82	75.23	63.51	58.71	40.31	45.98	45.18
1.341	1.871	1.915	2.102	1.987	1.6	1.803	1.50	11.76	9.79	11.97	13.05	13.26	11.86	10.62
0.927	1.226	1.354	1.373	1.333	1.094	1.218	2.50	9.013	7.555	9.21	10.15	9.851	9.454	7.86
0.762	0.953	1.009	1.155	0.987	0.866	0.956	3.50	6.978	5.923	7.049	7.801	7.566	7.229	6.298
0.621	0.701	0.875	0.918	0.759	0.657	0.755	4.50	5.338	4.593	5.385	5.809	5.942	5.411	4.891
0.504	0.595	0.682	0.716	0.629	0.557	0.614	5.50	4.096	3.529	4.058	4.423	4.502	4.273	3.791

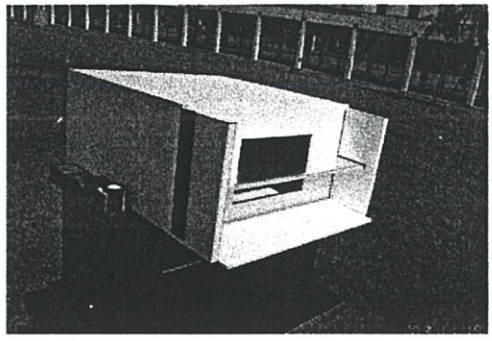
ตารางที่ 5.22 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.5

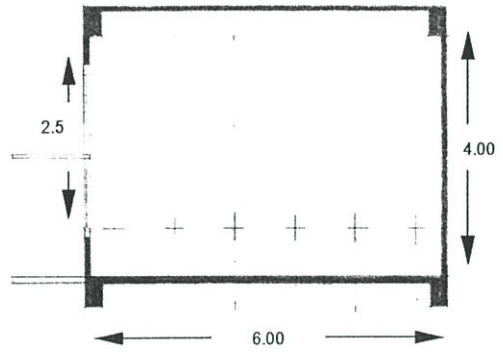




Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.5 เป็น 58.33% ของผนัง 12/11/03 12:35 - 12:50 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.5 เป็น 58.33% ของผนัง 12/11/03 12:10 12:30 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
2.332	2.611	2.798	2.78	2.751	2.431	2.617	0.50	15.30	11.82	15.72	16.65	17.23	16.87	13.54
1.155	1.49	1.612	1.568	1.574	1.264	1.444	1.50	11.23	9.373	12.4	14.15	14.55	13.94	2.956
0.739	0.887	1.032	1.07	0.971	0.816	0.919	2.50	9.350	6.807	9.132	10.4	10.89	10.29	8.592
0.73	0.831	0.906	1.003	0.923	0.771	0.861	3.50	6.981	5.543	6.805	7.576	8.126	7.354	6.481
0.602	0.691	0.739	0.792	0.742	0.613	0.696	4.50	4.994	4.02	4.792	5.279	5.81	5.303	4.758
0.498	0.546	0.614	0.645	0.6	0.536	0.573	5.50	3.825	3.019	3.666	4.175	4.278	4.109	3.704

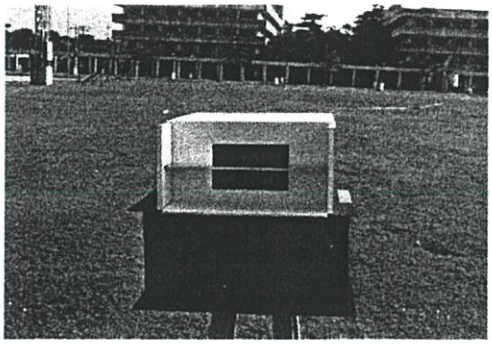
ตารางที่ 5.23 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.5

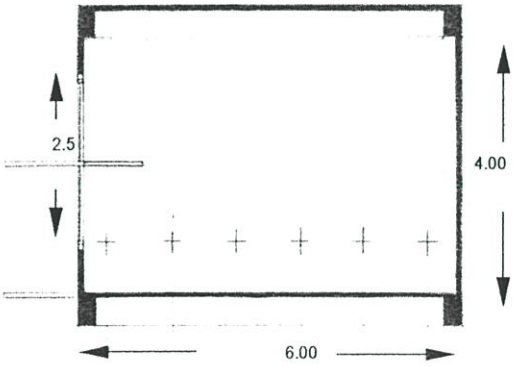




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.5 เป็น 41.66% ของผนัง 17/11/03 14:45 - 15:00 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.5 เป็น 41.66% ของผนัง 17/11/03 15:00 15:20 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
1.041	2.925	3.884	3.508	3.152	1.447	2.659	0.50	10.43	3.129	7.948	12.58	14.51	14.75	9.652
1.327	1.92	2.21	2.06	1.877	1.4	1.799	1.50	18.30	3.793	6.2	8.858	10.29	41.34	39.29
0.959	1.169	1.341	1.402	1.175	0.912	1.160	2.50	5.50	2.936	4.232	5.259	6.721	7.036	6.813
0.738	0.904	1.043	0.939	0.906	0.72	0.875	3.50	4.105	2.706	3.251	4.397	4.479	5.015	4.783
0.598	0.68	0.738	0.726	0.68	0.575	0.666	4.50	2.967	2.05	2.472	3.058	3.248	3.531	3.445
0.461	0.509	0.562	0.538	0.526	0.483	0.513	5.50	2.205	1.675	2.002	2.283	2.321	2.471	2.48

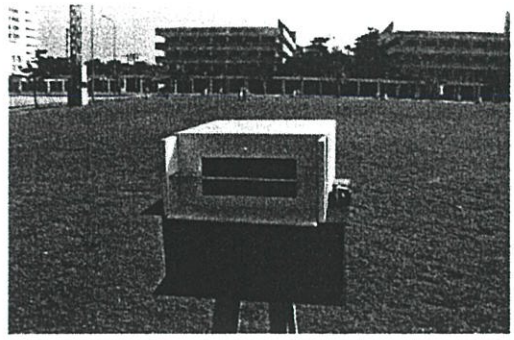
ตารางที่ 5.24 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.5

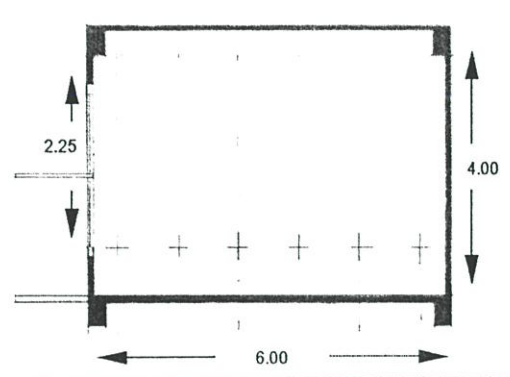




Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.5 เป็น 41.66% ของผนัง 17/11/03 12:00 - 12:20 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.5 เป็น 41.66% ของผนัง 17/11/03 15:25 15:45 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
0.643	2.161	2.722	2.833	2.43	0.843	1.939	0.50	9.903	2.829	10	13.64	13.67	12.75	6.523
0.798	1.197	1.32	1.436	1.256	0.746	1.125	1.50	5.259	2.803	5.025	5.414	6.755	6.835	4.723
0.648	0.81	0.863	0.882	0.766	0.633	0.767	2.50	3.546	2.102	2.853	3.681	4.144	4.412	4.087
0.634	0.676	0.746	0.749	0.66	0.617	0.680	3.50	3.111	2.079	2.402	3.005	3.507	3.873	3.799
0.493	0.533	0.585	0.596	0.528	0.493	0.538	4.50	2.391	1.552	1.977	2.410	2.638	2.804	2.964
0.407	0.464	0.465	0.462	0.4	0.385	0.430	5.50	1.860	1.351	1.647	1.871	2	2.187	2.106

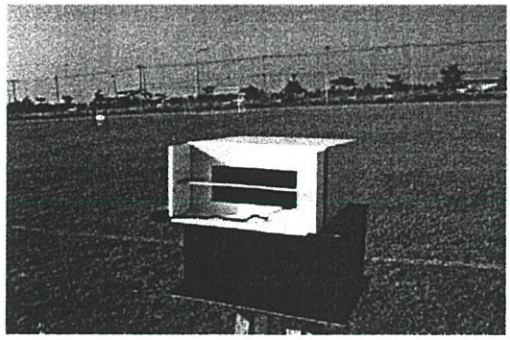
ตารางที่ 5.25 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.25

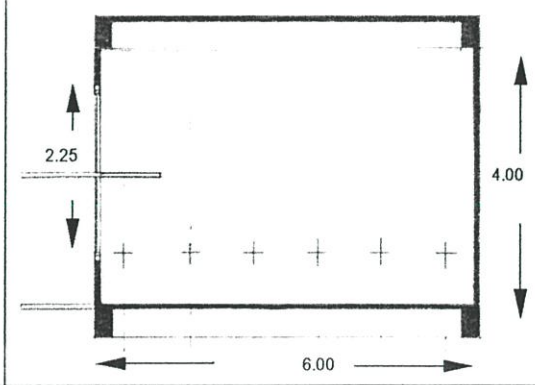




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.25 เป็น 37.5% ของผนัง 21/11/03 14:40 - 14:55 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่างจากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6*2.25 เป็น 37.5% ของผนัง 21/11/03 13:50 14:10 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
2.956	3.784	3.786	3.676	3.51	2.664	3.396	0.50	11.97	7.013	10.71	12.16	13.87	14.62	13.46
1.747	2.584	2.74	2.584	2.402	1.816	2.312	1.50	7.386	4.759	7.382	8.734	9.45	9.933	4.06
1.134	1.513	1.6	1.791	1.589	1.211	1.473	2.50	5.580	3.605	5.155	6.106	6.278	6.236	6.097
0.976	1.164	1.160	1.194	1.13	0.972	1.099	3.50	4.276	3.019	4.012	4.427	4.652	4.719	4.83
0.771	0.855	0.865	0.883	0.837	0.756	0.828	4.50	3.250	2.513	2.914	3.293	3.562	3.579	3.638
0.593	0.652	0.694	0.696	0.657	0.588	0.647	5.50	2.459	1.938	2.225	2.494	2.575	2.742	2.782

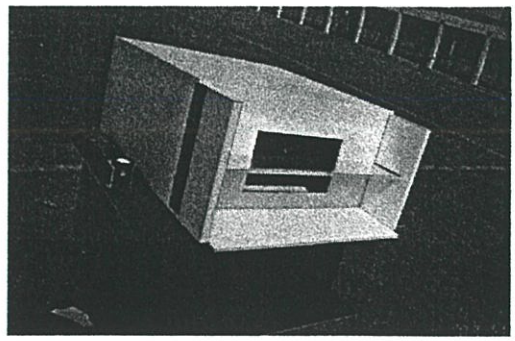
ตารางที่ 5.26 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.25

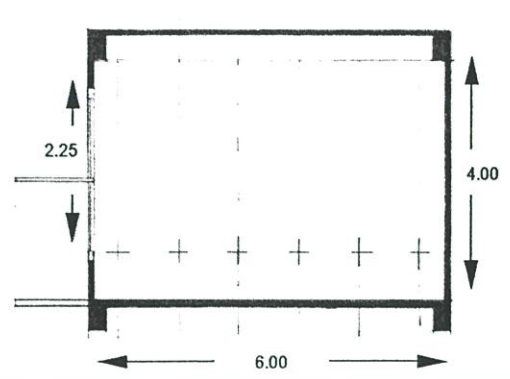




Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.25 เป็น 37.5% ของผนัง 21/11/03 15:05 - 15:20 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่างจากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6*2.25 เป็น 37.5% ของผนัง 21/11/03 15:35 15:50 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
2.66	3.4	3.387	3.452	3.39	2.573	3.144	0.50	11.97	10.12	11.75	14.09	16.01	16.76	13.8
1.251	1.653	1.81	1.734	1.689	1.286	1.571	1.50	7.380	4.289	5.855	7.135	8.434	8.224	7.801
0.776	0.956	1.051	1.055	0.961	0.758	0.926	2.50	5.580	2.538	3.234	3.793	4.107	4.62	4.22
0.804	0.929	0.944	0.961	0.876	0.796	0.885	3.50	4.276	2.303	2.857	3.303	3.759	3.855	4.005
0.689	0.74	0.780	0.754	0.721	0.659	0.724	4.50	3.250	1.973	2.197	2.543	2.935	3.138	3.152
0.548	0.609	0.627	0.643	0.597	0.523	0.591	5.50	2.459	1.544	1.843	2.096	2.351	2.388	2.487

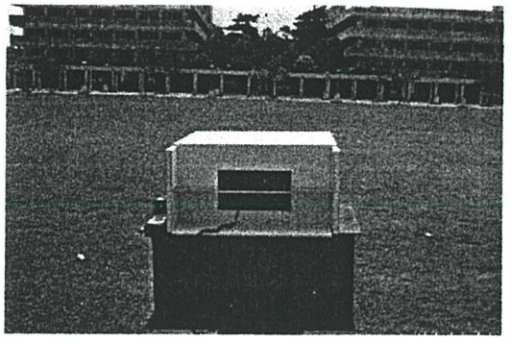
ตารางที่ 5.27 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.25

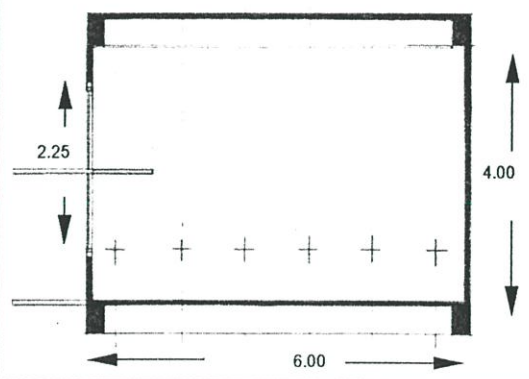




Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.25 เป็น 37.5% ของผนัง 21/11/03 12:15 - 12:35 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4*2.25 เป็น 37.5% ของผนัง 21/11/03 12:40 13:20 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
1.78	4.706	6.437	5.753	5.258	2.07	4.334	0.50	13.05	4.908	15.59	17.85	17.17	15.93	6.886
1.406	2.797	3.926	3.057	2.33	1.538	2.509	1.50	10.40	6.833	9.177	12.13	12.18	13.28	8.786
1.101	1.527	1.878	1.699	1.486	1.167	1.477	2.50	6.550	5.026	5.831	7.487	7.571	7.281	6.105
0.942	1.089	1.268	1.193	1.068	0.925	1.081	3.50	4.939	4.031	4.707	5.580	5.471	5.133	4.711
0.731	0.808	0.913	0.882	0.832	0.745	0.818	4.50	3.755	3.166	3.638	3.967	4.066	4.032	3.659
0.587	0.624	0.718	0.733	0.653	0.621	0.656	5.50	2.820	2.413	2.754	3.005	3.004	3.032	2.713

ตารางที่ 5.28 แสดงค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.25





Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.25 เป็น 37.5% ของผนัง 21/11/03 14:10 - 14:30 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4*2.25 เป็น 37.5% ของผนัง 21/11/03 13:50 14:10 S					
A	B	C	D	F	F				A	B	C	D	F	F
0.762	2.122	3.024	2.908	2.642	0.993	2.075	0.50	11.23	4.114	13.07	15.55	15.43	13.35	5.838
0.751	1.127	1.362	1.386	1.197	0.691	1.085	1.50	7.441	3.962	6.975	8.386	9.627	9.256	6.439
0.521	0.713	0.802	0.769	0.661	0.472	0.656	2.50	5.410	3.084	4.598	5.699	6.539	6.654	5.888
0.528	0.646	0.662	0.671	0.596	0.523	0.605	3.50	4.642	2.919	3.784	4.660	5.444	5.888	5.157
0.446	0.505	0.537	0.514	0.494	0.432	0.488	4.50	3.577	2.332	2.99	3.509	3.994	4.352	4.282
0.365	0.403	0.431	0.399	0.386	0.35	0.389	5.50	2.675	1.847	2.326	2.695	3.125	2.977	3.084

ผลการทดลองหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม

จากผลการทดลองพบว่า

1. เมื่อเพิ่มพื้นที่ของช่องเปิดด้วยการเพิ่มขนาดความกว้างของหน้าต่าง ไม่มีผลต่อการเพิ่มค่า Daylight factor ในพื้นที่ใช้งานที่อยู่ลึกสุดจากระยะขอบหน้าต่างของหุ่นจำลอง มากเท่ากับการเปลี่ยนขนาดความสูง

2. เมื่อพิจารณาจากที่ความสูงของหน้าต่างเท่ากันคือ 3.05 เมตร แต่เปลี่ยนความกว้างไปที่ 3,4 และ 5.6 เมตร ตามลำดับ พบว่าค่า Daylight factor และค่าเฉลี่ยของ Daylight factor ในแต่ละแถวของหน้าต่างความกว้าง 3,4 และ 5.6 เมตร มีความใกล้เคียงกัน

3. เมื่อลดขนาดความสูงของช่องเปิดลงจาก 3.05 เมตร เป็น 2.75 , 2.50 และ 2.25 เมตร พบว่าค่า Daylight factor ลดลง ดังนั้นความสูงของช่องเปิดมีผลต่อค่าความสว่างภายในมาก แม้ว่าขนาดพื้นที่ของช่องเปิดจะใกล้เคียงกัน โดยมีตัวแปรคือ การเพิ่มหรือลดความกว้าง เมื่อความสูงของหน้าต่างมีอิทธิพลต่อค่า Daylight factor มากกว่าความกว้าง ดังนั้นจึงพิจารณา เลือกขนาดช่องเปิด **กว้าง 3.00 เมตร สูง 3.05 เมตร คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด** 38.125% ของผนังมาทำการพัฒนาออกแบบช่องเปิดต่อไป

4. จากในหลายการทดลองที่ผ่านมาพบว่า Light shelf แบบผสมที่มี Light shelf ทั้งภายนอกและภายในไม่ช่วยให้ค่า Daylight factor ใน3แถวสุดท้ายเพิ่มขึ้นในด้านทิศเหนือ แต่เมื่อพิจารณาที่ทิศใต้พบว่า ช่วยลดค่า Daylight factor ที่มากเกินจำเป็นใน3แถวแรกลง ดังนั้นในการทดลองต่อไป ทางด้านทิศเหนือจึงเลือกใช้ **Light shelf แบบภายนอก** ส่วนทิศใต้พิจารณาใช้ **Light shelf แบบผสม**

5.3.2 ผลการทดลองหารูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ เพื่อหารูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพการกระจายแสงเข้าสู่อาคารได้ดีที่สุด

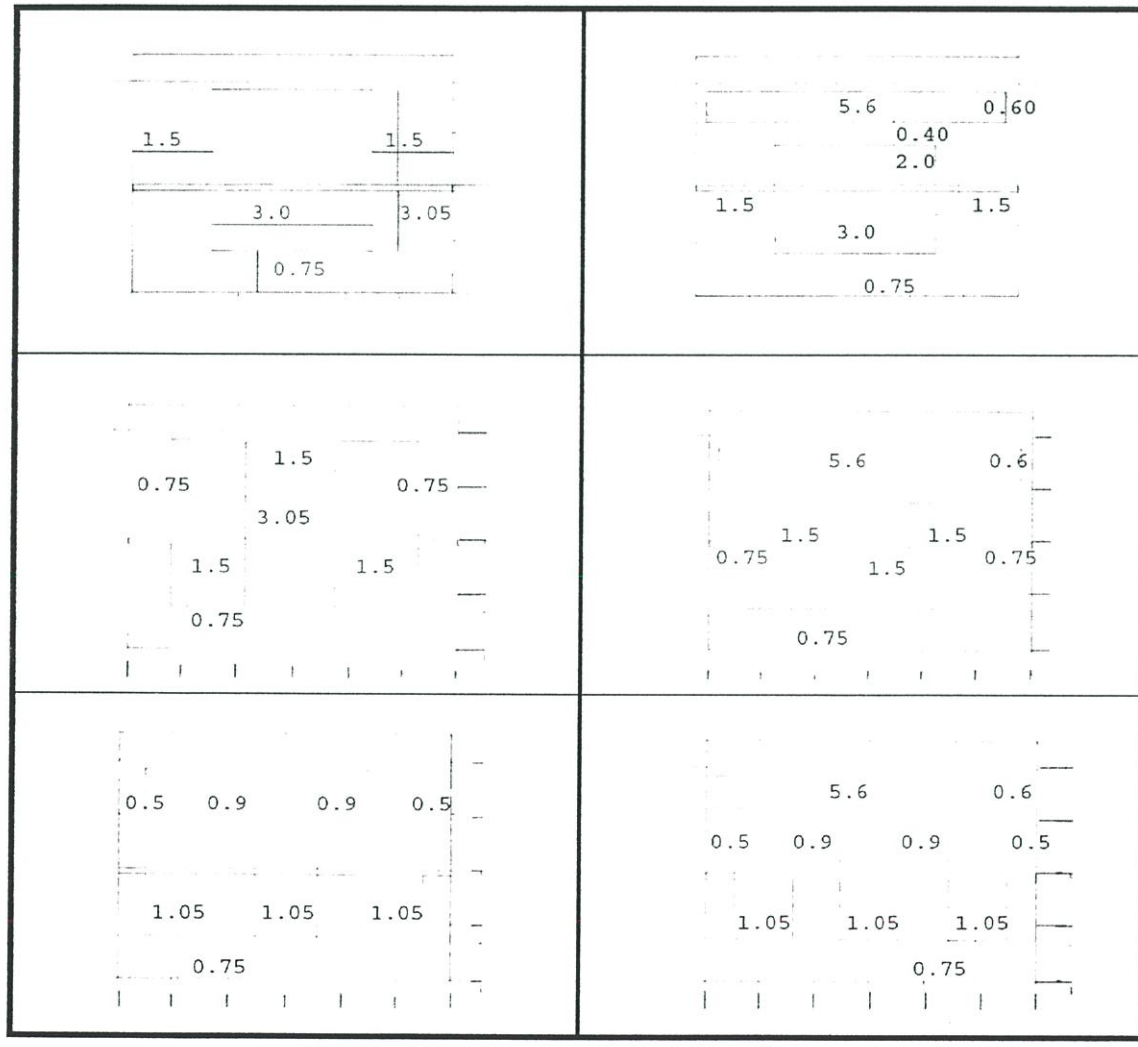
วันที่ทำการทดสอบ

วันที่ 25 , 21 พฤษจิกายน และ 1 ธันวาคม พ.ศ.2546 ในช่วง เวลา10:00 - 11:00 น. และ13:00 - 14:00 น.

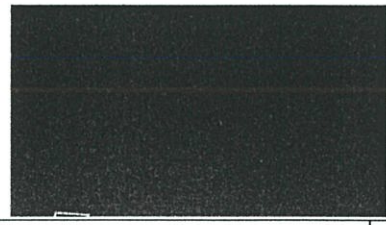
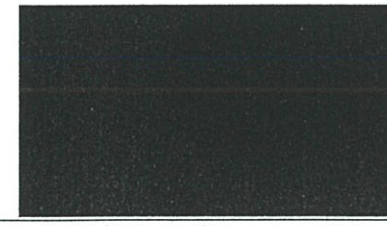
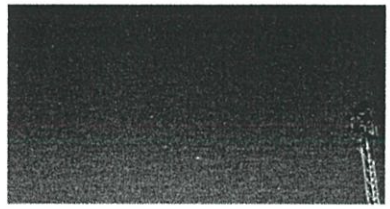
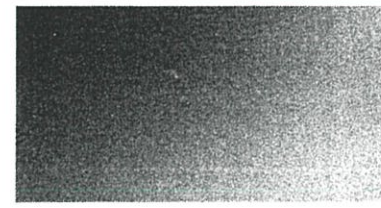
สภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)

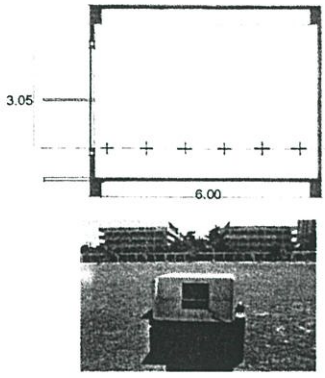
ตารางที่ 5.29 แสดงรูปด้านรูปแบบช่องเปิดที่ทำการทดสอบ

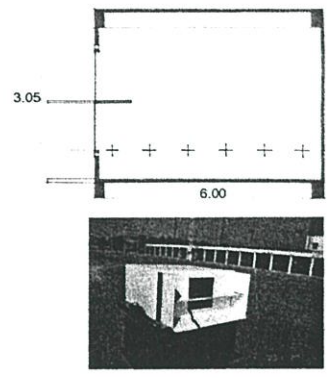


ตารางที่ 5.30 แสดงสภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดสอบ

สภาพท้องฟ้าในวันที่ 25 พฤษจิกายน 2546 หันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ
 
สภาพท้องฟ้าในวันที่ 25 พฤษจิกายน 2546 หันช่องเปิดไปทางทิศใต้
สภาพท้องฟ้าในวันที่ 27 พฤษจิกายน 2546 หันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ

สภาพท้องฟ้าในวันที่ 27 พฤษจิกายน 2546 หันช่องเปิดไปทางทิศใต้

สภาพท้องฟ้าในวันที่ 1 ธันวาคม 2546 หันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ
สภาพท้องฟ้าในวันที่ 1 ธันวาคม 2546 หันช่องเปิดไปทางทิศใต้

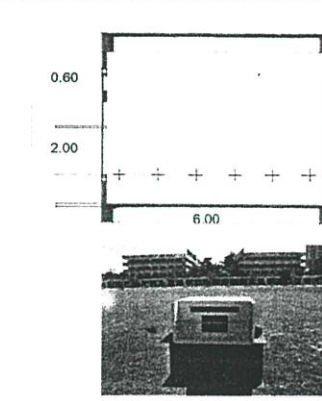
ตารางที่ 5.31 แสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 1 ช่องร่วมกับ Light Shelf

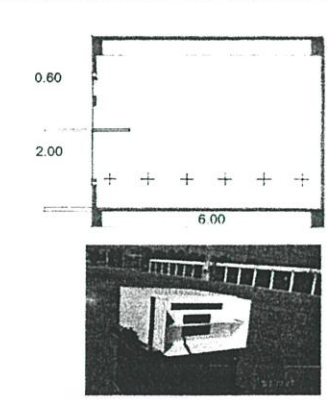




ช่องเปิดแบบ 1 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง Light Shelf แบบภายนอก 27/11/03 15:05 - 15:20 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	ช่องเปิดแบบ 1 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง Light Shelf แบบผสม 27/11/03 14:45 - 15:00 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
0.84	1.7	2.89	2.86	1.58	0.66	1.76	0.50	6.56	1.76	5.09	10.1	11.4	8.56	2.48
1.05	1.47	1.76	1.72	1.5	1.01	1.42	1.50	6.19	2.29	4.53	6.82	7.91	8.41	7.19
0.83	1.1	1.23	1.15	1.08	0.78	1.03	2.50	5.40	2.37	3.4	5.12	6.32	7.66	7.52
0.7	0.8	0.90	0.87	0.77	0.66	0.78	3.50	4.28	2.06	2.83	3.84	4.93	5.82	6.2
0.54	0.61	0.66	0.65	0.6	0.56	0.60	4.50	3.19	1.71	2.23	2.95	3.53	4.11	4.62
0.42	0.48	0.53	0.51	0.48	0.42	0.47	5.50	2.32	1.37	1.78	2.2	2.54	2.84	3.21

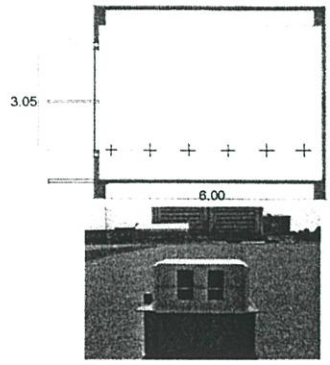
ตารางที่ 5.32 แสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 1 ช่อง+1 ช่องบน Light Shelf

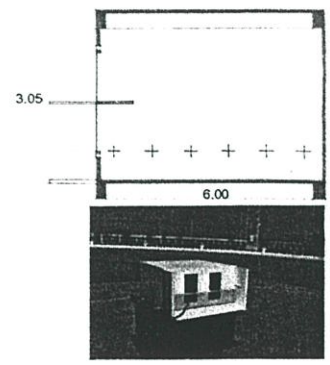




ช่องเปิดแบบ 1 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของ Light Shelf แบบภายนอก 01/12/03 13:40 - 13:55 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	ช่องเปิดแบบ 1 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของ Light Shelf แบบผสม 01/12/03 13:15 - 13:35 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
0.61	1.43	2.53	2.31	1.59	0.7	1.53	0.50	7.37	1.94	5.76	12.2	11.7	9.45	3.12
0.9	1.25	1.48	1.49	1.32	0.86	1.22	1.50	6.81	3.58	5.92	8.2	9.14	8.5	5.52
0.73	0.91	1.03	1.06	0.97	0.7	0.90	2.50	6.42	3.71	5.36	7.09	7.88	7.82	6.65
0.6	0.71	0.77	0.77	0.7	0.6	0.69	3.50	5.08	3.2	4.24	5.40	6.11	6.07	5.46
0.52	0.56	0.58	0.59	0.55	0.52	0.55	4.50	3.82	2.42	3.29	4.00	4.43	4.53	4.22
0.4	0.45	0.47	0.48	0.46	0.43	0.45	5.50	2.82	1.93	2.47	2.89	3.23	3.22	3.17

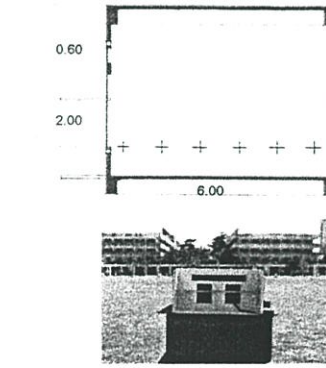
ตารางที่ 5.33 แสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 2 ช่องร่วมกับ Light Shelf

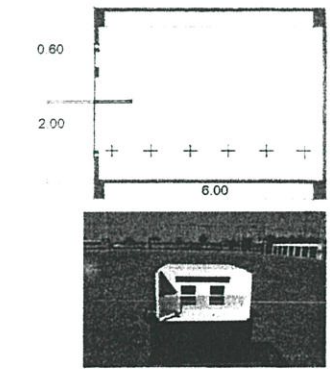




ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง Light Shelf แบบภายนอก 25/11/03 12:10 - 12:35 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง Light Shelf แบบผสม 25/11/03 12:45 - 13:10 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
1.23	2.67	1.53	1.61	2.86	1.54	1.91	0.50	8.16	5.06	9.33	6.6	7.25	13.9	6.88
1.02	1.57	1.67	1.49	1.52	1.17	1.41	1.50	10.1	7.89	10.3	10.6	10.9	11.4	9.65
0.72	1.09	1.03	1.07	1.01	0.8	0.95	2.50	8.53	6.55	8.56	9.36	9.5	9.13	8.09
0.61	0.76	0.77	0.79	0.76	0.66	0.73	3.50	6.50	5.3	6.43	7.02	7.01	6.88	6.38
0.49	0.68	0.61	0.61	0.61	0.53	0.59	4.50	4.52	3.89	4.64	4.72	4.91	4.59	4.35
0.42	0.55	0.51	0.5	0.48	0.44	0.48	5.50	3.12	2.76	3.2	3.44	2.87	3.35	3.11

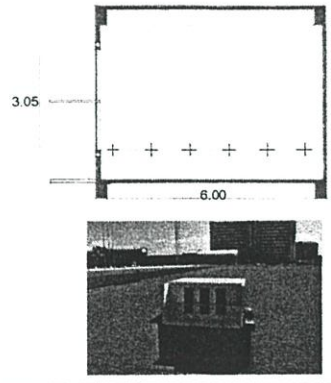
ตารางที่ 5.34 แสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 2 ช่อง+1 ช่องบน Light Shelf

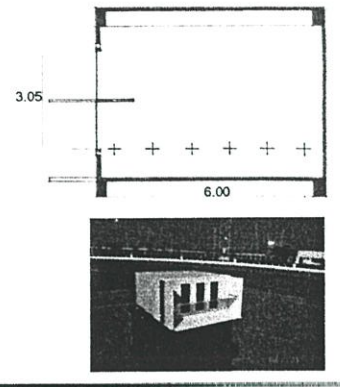




ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของ Light Shelf แบบภายนอก 01/12/03 13:55 - 14:10 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของ Light Shelf แบบผสม 01/12/03 14:20 - 14:35 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
1.33	2.28	1.63	1.46	2.3	1.21	1.70	0.50	7.26	4.88	8.27	6.5	6.24	10.9	6.73
1.11	1.31	1.39	1.41	1.45	1.1	1.30	1.50	6.24	4.14	5.87	6.69	6.7	7.62	6.4
0.78	0.96	1.03	1.03	1.03	0.84	0.94	2.50	5.52	3.35	4.79	5.75	6.5	6.51	6.19
0.63	0.74	0.80	0.79	0.73	0.68	0.73	3.50	4.39	2.79	3.57	4.47	5.19	5.3	4.99
0.5	0.58	0.61	0.61	0.6	0.48	0.56	4.50	3.36	2.27	2.69	3.35	3.87	3.98	4
0.42	0.48	0.51	0.49	0.47	0.41	0.46	5.50	2.51	1.68	2.13	2.61	2.75	2.99	2.91

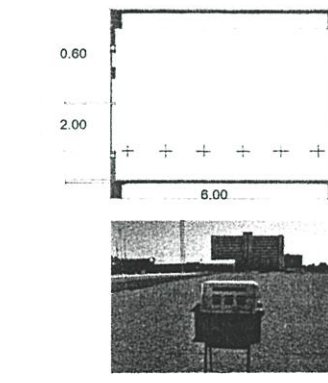
ตารางที่ 5.35 แสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 3 ช่องร่วมกับ Light Shelf

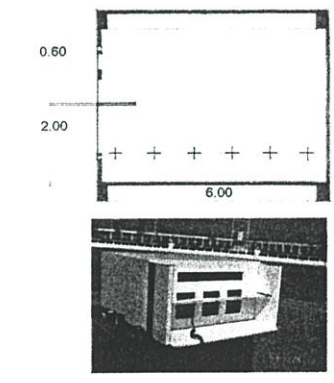




ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง Light Shelf แบบภายนอก 25/11/03 14:25 - 14:40 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง Light Shelf แบบผสม 25/11/03 14:45 - 15:00 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
1.53	2.34	2.05	2.07	1.90	1.52	1.89	0.50	9.29	4.82	9.43	9.80	10.6	12.1	8.97
1.20	1.49	1.59	1.73	1.51	1.17	1.44	1.50	6.53	4.12	5.64	6.78	7.43	7.97	7.23
0.85	1.10	1.16	1.28	1.16	0.92	1.08	2.50	5.72	3.37	4.63	5.66	6.65	6.99	7.00
0.68	0.88	0.90	0.92	0.81	0.75	0.82	3.50	4.82	2.98	3.79	4.52	5.14	5.63	6.88
0.57	0.68	0.71	0.70	0.62	0.61	0.65	4.50	3.49	2.28	2.87	3.27	3.79	4.37	4.35
0.47	0.55	0.57	0.59	0.52	0.47	0.53	5.50	2.59	1.78	2.18	2.52	2.87	3.08	3.11

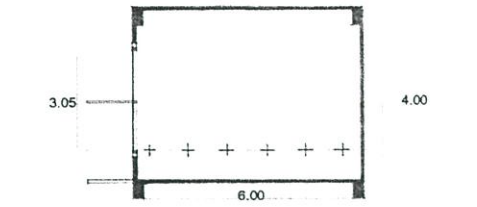
ตารางที่ 5.36 แสดงค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 3 ช่อง+1 ช่องบน Light Shelf

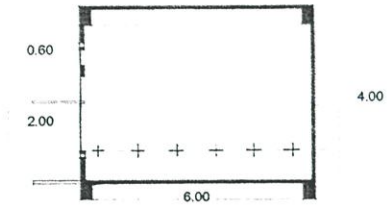




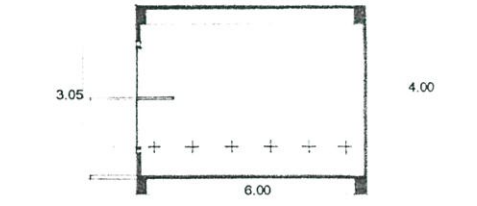
ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของ Light Shelf แบบภายนอก 25/11/03 13:55 - 14:15 N						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของ Light Shelf แบบผสม 25/11/03 13:30 - 13:50 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
1.88	1.93	1.95	2.24	1.92	1.74	1.94	0.50	9.66	8.23	9.21	9.73	10.4	10.6	9.83
1.16	1.3	1.44	1.29	1.26	0.98	1.24	1.50	7.23	5.36	7.07	7.49	8.67	7.74	7.07
0.75	0.91	0.98	0.98	0.9	0.77	0.88	2.50	6.02	4.08	5.39	6.35	7.13	6.83	6.32
0.62	0.71	0.74	0.76	0.77	0.67	0.71	3.50	4.66	3.25	4.26	4.74	5.29	5.29	5.15
0.5	0.59	0.59	0.62	0.59	0.54	0.57	4.50	3.43	2.4	3.13	3.54	3.82	3.92	3.79
0.41	0.46	0.49	0.47	0.46	0.42	0.45	5.50	2.51	1.82	2.28	2.53	2.9	2.72	2.78

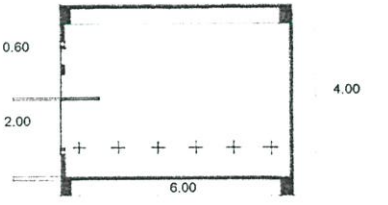
ตารางที่ 5.37 แสดงค่า Daylight Factor ที่แถวสุดท้ายของช่องเปิดแบบต่าง ๆ ร่วมกับ Light Shelf





Light Shelf แบบภายนอก						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบภายนอก					
ช่องเปิดแบบ 1 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง									ช่องเปิดแบบ 1 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของผนัง					
27/11/03 13:30 - 13:32 N									27/11/03 13:25 - 13:28 N					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
0.430	0.452	0.483	0.477	0.440	0.421	0.451	0.50	0.448	0.418	0.459	0.485	0.483	0.446	0.398
ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง									ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของผนัง					
27/11/03 13:35 - 13:38 N									27/11/03 13:40 - 13:42 N					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
0.418	0.459	0.485	0.483	0.446	0.398	0.445	0.50	0.430	0.395	0.446	0.465	0.471	0.422	0.380
ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง									ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของผนัง					
27/11/03 13:45 - 13:47 N									27/11/03 13:50 - 13:53 N					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
0.446	0.481	0.496	0.494	0.467	0.411	0.466	0.50	0.463	0.427	0.474	0.499	0.503	0.465	0.413





Light Shelf แบบผสม						ค่าเฉลี่ย	ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น(เมตร)	ค่าเฉลี่ย	Light Shelf แบบผสม					
ช่องเปิดแบบ 1 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง									ช่องเปิดแบบ 1 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของผนัง					
27/11/03 14:38 - 14:41 S									27/11/03 14:32 - 14:37 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
1.509	1.881	2.338	2.785	2.985	3.259	2.460	0.50	2.234	1.424	1.842	2.223	2.536	2.687	2.692
ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง									ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของผนัง					
27/11/03 14:25 - 14:30 S									27/11/03 14:20 - 14:23 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
1.687	2.054	2.425	2.699	2.818	2.770	2.409	0.50	2.380	1.644	1.994	2.377	2.598	2.840	2.827
ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง เป็น38.13% ของผนัง									ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง+ 1 ช่องบน เป็น38.13% ของผนัง					
27/11/03 14:05 - 14:10 S									27/11/03 13:55 - 14:02 S					
A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F
1.823	2.311	2.730	2.930	3.041	3.005	2.640	0.50	2.143	1.521	1.915	2.160	2.393	2.479	2.387

ผลการทดลองหารูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสม

จากผลการทดลองเราสามารถพิจารณาได้ว่า

1. ช่องเปิดแบบ1ช่องให้ค่า Daylight factor สูงสุดในช่วง 2แถวแรกจากหน้าต่างมากกว่า ช่องเปิดแบบ 2 ช่อง และ 3 ช่อง แต่ความสม่ำเสมอในการกระจายแสงช่องเปิดแบบหลายช่องให้ค่าดีกว่าเมื่อพิจารณาพื้นที่ที่ได้ค่าตามเกณฑ์ โดยที่ ช่องเปิดแบบ 3 ช่องมีความสม่ำเสมอในการกระจายแสงดีที่สุด รองลงมาคือแบบ 2 ช่องและ 1 ช่องตามลำดับ

2. ส่วนใน 3 แถวหลังที่ห่างจากช่องเปิด 3.50,4.50 และ5.50 เมตรตามลำดับมีความชัดเจนว่าช่องเปิดแบบ 3ช่องให้ค่า Daylight factor ดีที่สุดทั้งค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย รวมไปถึงความสม่ำเสมอในการกระจายแสง

3. ส่วนช่องเปิดแบบที่มีช่องแสงด้านบนด้วยนั้นก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือช่องเปิดแบบหลายช่องให้ค่า Daylight factor ดีกว่าแบบช่องเดียว แต่ในการทดลองนี้ยังมีข้อจำกัดคือไม่ได้ทำการทดสอบพร้อมกันทั้งหมดทุกแบบในเวลาเดียวกันภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบเดียวกัน เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือ และสภาพอากาศ

บทที่ 6
การวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 เกณฑ์ในการการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองโดยใช้การเปรียบเทียบค่าการส่องสว่าง,ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (daylight factor) และใช้เกณฑ์มาตราฐานที่ใช้ในการทดสอบในบทที่ 4 ได้กำหนดค่ามาตราฐานไว้ 2 แบบคือ

- ค่าปริมาณการส่องสว่างหรืออิลูมิแนนซ์ (illuminance) ต้องมีค่าระหว่าง 300-500-750 ลักซ์

- ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (daylight factor) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5

การวิเคราะห์ผลกาวิจัยนี้เป็นการนำค่าปริมาณความสว่างที่เก็บได้จากหุ่นจำลองมาคำนวณและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้ค่าค่าเดไลท์แฟคเตอร์

6.2 วิธีการวิเคราะห์ผลค่าปริมาณการส่องสว่าง

1. นำข้อมูลค่าปริมาณการส่องสว่างมาสร้างเป็นกราฟเชิงเส้น โดยพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสว่างจุดที่ทำการวัด เพื่อสังเกตุสภาพการส่องสว่างของตำแหน่งที่ทำการวัด ถึงแม้ว่าค่าปริมาณการส่องสว่างจะไม่สามารถเป็นคำตอบทั้งหมด หรือเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ผลสภาพการส่องสว่างได้ เนื่องจาก วันและเวลาที่ทำการวัดนั้น บางวันสภาพท้องฟ้าเป็นแบบ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) ซึ่งมีค่าปริมาณการส่องสว่างไม่สม่ำเสมอ และมีค่าไม่คงที่ แต่ผลการทดลองที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ได้ในระดับหนึ่ง

2. นำค่าเดไลท์แฟคเตอร์มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่สามารถใช้รูปแบบของช่องเปิด หรือ light shelf ที่ทำการทดสอบได้ใน 1 ปีคิดจากช่วงเวลาที่ใช้งานทั้งหมดวันละ 8 ชั่วโมงทุกวันตั้งแต่เดือน มกราคมคมถึง ธันวาคม โดยนำค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่หาได้มาเทียบกับตารางปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)

6.3 การแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองแต่ละแบบ

6.3.1 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของชุดการทดลองที่ 4.3.1

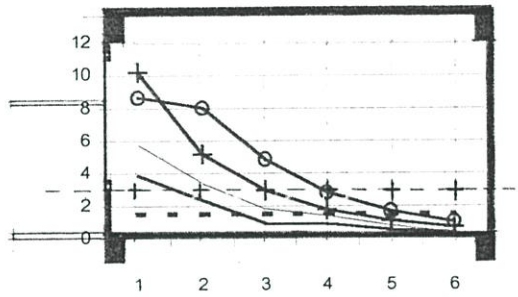
จุดประสงค์ : เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของ light shelf ที่ส่งผลต่อค่าความสว่างภายในอาคาร

6.3.1.1 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองที่ 4.3.1.1

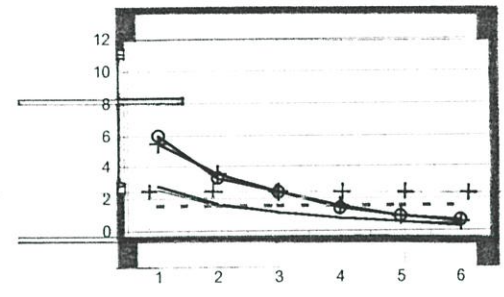
จุดประสงค์ : เพื่อเลือกรูปแบบของ light shelf

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % ของ Light Shelf รูปแบบต่างๆ วันที่ 11,13และ15 ต.ค. 2546

1. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)

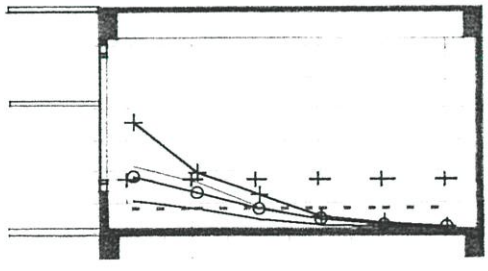


2. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)

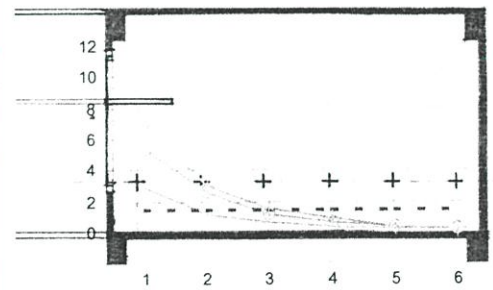


10:00-11:00 ค่า daylight factor (%)		13:00-14:00 ค่า daylight factor (%)		ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	10:00-11:00 ค่า daylight factor (%)		13:00-14:00 ค่า daylight factor (%)	
N	S	N	S		N	S	N	S
5.779	10.24	3.880	8.665	0.50	2.514	5.415	2.786	5.891
3.368	5.197	2.346	8.045	1.50	1.492	3.929	1.593	3.306
1.863	2.974	0.938	4.848	2.50	1.104	2.451	1.101	2.411
1.396	1.771	0.885	2.825	3.50	0.724	1.454	0.725	1.404
0.804	1.110	0.551	1.669	4.50	0.499	0.930	0.474	0.851
0.395	0.673	0.360	1.019	5.50	0.328	0.555	0.313	0.579
50%	66.67%	33.33%	83.33%	% ที่ใช้ได้	16.67%	50%	33.33%	50%

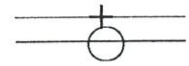
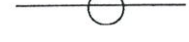
3. light-shelf แบบที่มี overhang ด้านนอก



4. light-shelf แบบผสม + overhang ด้านนอก



10:00-11:00 ค่า daylight factor (%)		13:00-14:00 ค่า daylight factor (%)		ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	10:00-11:00 ค่า daylight factor (%)		13:00-14:00 ค่า daylight factor (%)	
N	S	N	S		N	S	N	S
4.232	7.101	2.027	3.639	0.50	2.163	6.970	2.839	5.333
3.169	3.429	1.548	2.529	1.50	0.935	2.949	1.116	2.547
1.664	2.411	0.947	1.552	2.50	0.481	1.529	0.607	1.148
0.945	0.996	0.578	0.897	3.50	0.316	0.926	0.396	0.664
0.598	0.642	0.417	0.574	4.50	0.228	0.434	0.262	0.449
0.175	0.398	0.267	0.389	5.50	0.166	0.295	0.211	0.319
50%	50%	33.33%	50%	% ที่ใช้ได้	16.67%	50%	16.67%	33.33%

1. ..... ระดับความสว่างมาตราฐาน
2. ——— N เข้า
3. - - - - N บ่าย
4.  S เข้า
5.  S บ่าย

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf รูปแบบต่างๆ ในด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

1. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.395	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	199.99	223.14	275.71	290.17	247.51	251.54	241.15	243.24	239.57	201.29	202.00	193.98	234.11
10	267.93	307.98	321.45	346.65	280.25	321.57	296.53	311.77	298.62	269.35	253.20	264.06	294.95
11	295.38	334.84	350.05	380.86	323.94	337.96	327.10	329.90	318.61	285.15	306.72	311.50	325.17
12	319.99	363.68	365.06	398.56	313.55	310.15	330.42	322.75	339.07	298.90	304.55	322.56	332.44
13	274.37	341.75	338.04	413.57	278.12	280.17	325.40	293.72	328.36	267.61	263.70	308.18	309.42
14	239.53	296.65	306.44	362.69	254.54	255.80	295.26	246.88	275.59	232.34	239.69	261.89	272.27
15	167.76	225.43	246.12	296.37	207.18	199.04	218.91	188.22	205.28	174.67	163.33	187.31	206.63
16	100.37	128.14	163.49	174.79	156.42	133.71	153.30	127.55	128.49	104.68	93.97	101.95	130.57
2. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.328	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	166.07	185.29	228.94	240.95	205.52	208.87	200.24	201.98	198.93	167.15	167.74	161.08	194.40
10	222.48	255.74	266.93	287.85	232.72	267.02	246.23	258.89	247.97	223.66	210.25	219.27	244.92
11	245.28	278.05	290.67	316.26	268.99	280.64	271.62	273.95	264.56	236.78	254.69	258.66	270.01
12	265.71	301.99	303.14	330.95	260.37	257.55	274.37	268.01	281.56	248.20	252.89	267.84	276.05
13	227.83	283.79	280.70	343.42	230.94	232.65	270.21	243.90	272.67	222.22	218.97	255.91	256.93
14	198.90	246.33	254.46	301.17	211.36	212.41	245.18	205.00	228.85	192.93	199.03	217.46	226.09
15	139.30	187.19	204.38	246.10	172.04	165.28	181.78	156.29	170.46	145.04	135.63	155.54	171.59
16	83.34	106.40	135.76	145.14	129.89	111.03	127.30	105.91	106.70	86.92	78.03	84.66	108.42
3. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบที่มี overhang ด้านนอก													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.175	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	88.60	98.86	122.15	128.56	109.66	111.44	106.84	107.77	106.14	89.18	89.50	85.94	103.72
10	118.70	136.45	142.42	153.58	124.16	142.47	131.37	138.13	132.30	119.33	112.18	116.99	130.67
11	130.87	148.35	155.09	168.74	143.52	149.73	144.92	146.16	141.16	126.33	135.89	138.01	144.06
12	141.77	161.12	161.74	176.58	138.92	137.41	146.39	142.99	150.22	132.42	134.93	142.91	147.28
13	121.56	151.41	149.77	183.23	123.22	124.13	144.17	130.13	145.48	118.56	116.83	136.54	137.08
14	106.12	131.43	135.77	160.69	112.77	113.33	130.81	109.38	122.10	102.94	106.19	116.03	120.63
15	74.32	99.87	109.04	131.30	91.79	88.18	96.99	83.39	90.95	77.39	72.36	82.99	91.55
16	44.47	56.77	72.43	77.44	69.30	59.24	67.92	56.51	56.93	46.38	41.63	45.17	57.85
4. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม + overhang ด้านนอก													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.166	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	84.05	93.77	115.87	121.94	104.02	105.71	101.34	102.22	100.68	84.59	84.89	81.52	98.38
10	112.60	129.43	135.09	145.68	117.78	135.14	124.62	131.02	125.50	113.20	106.41	110.97	123.95
11	124.13	140.72	147.11	160.06	136.14	142.03	137.46	138.64	133.90	119.84	128.90	130.91	136.65
12	134.48	152.84	153.42	167.49	131.77	130.34	138.86	135.64	142.49	125.61	127.99	135.56	139.71
13	115.30	143.62	142.06	173.80	116.88	117.74	136.75	123.44	138.00	112.47	110.82	129.51	130.03
14	100.66	124.67	128.78	152.42	106.97	107.50	124.09	103.75	115.82	97.64	100.73	110.06	114.42
15	70.50	94.74	103.43	124.55	87.07	83.65	92.00	79.10	86.27	73.41	68.64	78.72	86.84
16	42.18	53.85	68.71	73.46	65.74	56.19	64.42	53.60	54.00	43.99	39.49	42.84	54.87

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf รูปแบบต่างๆ ในด้านทิศใต้เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

1. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 1.109	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	515.92	575.63	711.26	748.56	638.51	648.90	622.10	627.50	618.02	519.28	521.12	500.43	603.94
10	691.19	794.51	829.26	894.27	722.98	829.57	764.96	804.30	770.36	694.86	653.18	681.20	760.89
11	762.01	863.81	903.04	982.52	835.68	871.86	843.83	851.07	821.93	735.62	791.25	803.58	838.85
12	825.49	938.19	941.76	1028.17	808.88	800.12	852.39	832.62	874.71	771.08	785.65	832.12	857.60
13	707.80	881.64	872.06	1066.89	717.48	722.78	839.45	757.73	847.09	690.37	680.28	795.02	798.22
14	617.92	765.27	790.54	935.65	656.64	659.90	761.70	636.88	710.96	599.38	618.33	675.60	702.40
15	432.77	581.54	634.94	764.56	534.47	513.47	564.73	485.55	529.57	450.60	421.36	483.21	533.06
16	258.93	330.56	421.76	450.91	403.52	344.93	395.47	329.04	331.48	270.04	242.42	263.00	336.84
2. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.579	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	293.15	327.08	404.14	425.33	362.80	368.71	353.48	356.55	351.16	295.06	296.10	284.35	343.16
10	392.74	451.45	471.19	508.13	410.80	471.36	434.66	457.00	437.72	394.82	371.14	387.06	432.34
11	432.98	490.82	513.11	558.27	474.84	495.39	479.47	483.58	467.02	417.98	449.59	456.60	476.64
12	469.05	533.09	535.11	584.21	459.61	454.63	484.33	473.10	497.01	438.13	446.41	472.81	487.29
13	402.17	500.95	495.51	606.21	407.67	410.68	476.98	430.54	481.32	392.27	386.54	451.74	453.55
14	351.11	434.83	449.19	531.64	373.11	374.96	432.80	361.88	403.97	340.57	351.34	383.88	399.10
15	245.90	330.44	360.77	434.42	303.69	291.76	320.88	275.89	300.91	256.03	239.42	274.56	302.89
16	147.12	187.83	239.65	256.21	229.28	195.99	224.71	186.96	188.35	153.44	137.74	149.44	191.39
3. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบที่มี overhang ด้านนอก													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.398	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	201.51	224.83	277.80	292.37	249.39	253.45	242.98	245.09	241.39	202.82	203.54	195.46	235.88
10	269.96	310.32	323.89	349.28	282.38	324.01	298.78	314.14	300.89	271.40	255.12	266.06	297.19
11	297.62	337.38	352.71	383.75	326.40	340.53	329.58	332.41	321.03	287.32	309.05	313.86	327.64
12	322.42	366.44	367.83	401.58	315.93	312.51	332.93	325.21	341.64	301.17	306.86	325.01	334.96
13	276.45	344.35	340.61	416.71	280.23	282.30	327.87	295.95	330.86	269.65	265.70	310.52	311.77
14	241.35	298.90	308.77	365.44	256.47	257.74	297.51	248.75	277.68	234.10	241.51	263.87	274.34
15	169.03	227.14	247.99	298.62	208.75	200.55	220.57	189.65	206.84	176.00	164.57	188.73	208.20
16	101.13	129.11	164.73	176.12	157.61	134.72	154.46	128.51	129.47	105.47	94.68	102.72	131.56
4. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม + overhang ด้านนอก													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.319	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	161.51	180.20	222.66	234.34	199.89	203.14	194.75	196.44	193.47	162.56	163.14	156.66	189.06
10	216.38	248.72	259.60	279.95	226.33	259.70	239.47	251.79	241.16	217.53	204.48	213.25	238.20
11	238.55	270.42	282.70	307.58	261.61	272.94	264.16	266.43	257.31	230.29	247.70	251.56	262.60
12	258.42	293.70	294.82	321.87	253.22	250.48	266.84	260.65	273.83	241.39	245.95	260.50	268.47
13	221.58	276.00	273.00	333.99	224.61	226.27	262.79	237.21	265.18	216.12	212.96	248.88	249.88
14	193.44	239.57	247.48	292.91	205.56	206.58	238.45	199.38	222.57	187.64	193.57	211.50	219.89
15	135.48	182.05	198.77	239.35	167.32	160.74	176.79	152.00	165.78	141.06	131.91	151.27	166.88
16	81.06	103.48	132.03	141.16	126.32	107.98	123.80	103.01	103.77	84.54	75.89	82.33	105.45

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % เพื่อเลือกรูปแบบของ Light Shelf พบว่า

ตารางที่ 6.4 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายแสงของ Light Shelf แต่ละแบบ

	1. Light Shelf ภายนอกอาคาร		2. Light Shelf แบบผสม		3. Light Shelf แบบ มี overhang		4. light-shelf แบบ ผสม + overhang	
	N	S	N	S	N	S	N	S
บริเวณที่ค่าสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	0.5-2.5	0.5-4.5	0.5	0.5-2.5	0.5-1.5	0.5-.2.5	0.5	0.5-1.5
บริเวณที่ต่ำสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	3.5-5.5	5.5	1.5-5.5	3.5-5.5	2.5-5.5	3.5-5.5	1.5-5.5	2.5-5.5
พื้นที่ที่ใช้งานได้เป็น% ของพื้นที่ทั้งหมด (ปี)	50%	83.33%	16.67%	50%	33.33%	50%	16.67%	33.33%
ความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร (Lux)	130.57-332.44	336.84-857.60	108.42-276.05	191.39-487.29	57.85-144.06	131.56-334.96	54.873-139.71	105-268.47
ระดับความสว่างที่ใช้งานได้	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300
% ที่ใช้งานได้ใน 1ปี ในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร	33.33%	95.833%	6.25%	77.08%	0%	37.5%	0%	3.125%

เป็นผลการทดลองในเดือนตุลาคมโดยทดสอบ Light Shelf แบบต่าง ๆ กับช่องเปิดขนาด 3.00 เมตร x 2.00 เมตร แล้วนำค่า Daylight Factor ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร เทียบกับไปเป็นค่าความสว่างเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี โดยใช้ข้อมูลความสว่างของ AIT

1. เมื่อพิจารณาค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % Light Shelf ทั้ง 4แบบได้แก่
   - แบบที่ 1 Light Shelf ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelf) ความลึก1.50
   - แบบที่ 2 Light Shelf แบบผสม (Combined light-shelf)
   - แบบที่ 3 มี Overhang ด้านนอก
   - แบบที่ 4 แบบผสม+Overhang ด้านนอก

พบว่า แบบที่ 1 ระดับความสว่างภายในที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.5 เมตร มีค่ามากที่สุดรองลงไปคือ แบบที่ 2 , แบบที่ 3 และแบบที่ 4 ตามลำดับ

2. ระยะที่มีค่าระดับความสว่าง และค่า Daylight Factor ได้ตามมาตราฐานของ Light Shelf แต่ละประเภทเรียงตามลำดับ

ทิศเหนือ Light Shelf ภายนอกอาคาร 0.5 – 2.5 เมตร ทิศใต้ 0.5 – 4.5 เมตร

Light Shelf แบบผสม 0.5 เมตร 0.5 – 2.5 เมตร

แบบมี Overhang ด้านนอก	0.5 – 1.5 เมตร	0.5 – 2.5 เมตร
แบบผสม+Overhang ด้านนอก	0.5 เมตร	0.5 – 1.5 เมตร

3. ค่าความสว่างในระยะที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.50 เมตร ของ Light Shelf แต่ละประเภทเรียงตามลำดับ

ทิศเหนือ Light Shelf ภายนอกอาคาร	130.57 - 415.8 Lux	ทิศใต้ 336.84 - 857.60 Lux
Light Shelf แบบผสม	108.42 - 276.05 Lux	191.39 - 487.29 Lux
แบบมี Overhang	57.85 - 144.06 Lux	131.56 - 334.96 Lux
แบบผสม+Overhang	54.87 - 139.71 Lux	105 – 268.47 Lux

4. Light Shelf แบบภายนอกอาคาร มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน 1 ปีในระยะที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.50 เมตร มากที่สุด จากเกณฑ์ความสว่าง 300 Lux ในตารางที่ 4.3

จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน 1 ปีเรียงตามลำดับ

ทิศเหนือ Light Shelf ภายนอกอาคาร	38.10 %	ทิศใต้ 95.24 %
Light Shelf แบบผสม	7.14 %	73.81 %
แบบมี Overhang	0 %	42.86 %
แบบผสม+Overhang	0 %	3.57 %

5. จากผลการทดลองพบว่า ทิศใต้มีระดับความสว่างและค่าDaylight Factor มากกว่าทิศเหนือ แต่ระดับความสว่างและค่า Daylight Factor อยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่ามาตราฐานมากเกินไป มีค่า Daylight Factor ที่เกินอยู่ในช่วง 8- 10% อาจก่อให้เกิดสภาวะแสงจ้า (Glare) และ ความไม่สบายทางด้านสายตาได้ อาจสร้างปัญหาด้านความร้อนให้กับอาคารได้

6. ทางด้านทิศใต้พบว่า ควรใช้ Light Shelf แบบผสมเพราะช่วยลดค่า Daylight Factor ที่สูงเกินมาตราฐานในระยะห่างจากหน้าต่าง 0.5-1.5 เมตร ได้ 47.11% ในระยะ 0.50เมตร และ 24.4% ในระยะ 1.5เมตร โดยที่ค่า Daylight Factor ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตราฐาน

7. จากเวลาที่ทำการทดสองสังเกตุได้ว่าค่า Daylight Factor ของ Light Shelf ที่ทำการทดสอบจะมีค่าลดลงในช่วงบ่ายทางทิศเหนือ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงบ่ายทางทิศใต้เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์

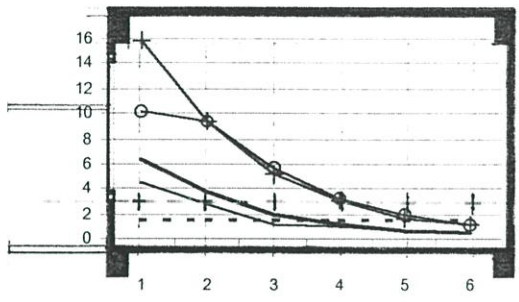
8. จากข้อมูลทั้งหมดสรุปได้ว่า Light Shelf แบบที่ดีที่สุดคือ Light Shelf แบบภายนอกช่วยเพิ่มระดับความสว่างได้มากที่สุดจึงนำไปทดลองและพัฒนาต่อไป ส่วน Light Shelf แบบผสม ถึงแม้ว่าจะไม่ได้ช่วบเพิ่มระดับค่าความสว่างได้มากแต่ก็ช่วยลดค่า Daylight Factor ที่สูงเกินมาตราฐานในทิศใต้ลงได้ จึงนำมาพัฒนาใช้ทางทิศใต้ต่อไป

6.3.1.2 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองที่ 4.3.1.2

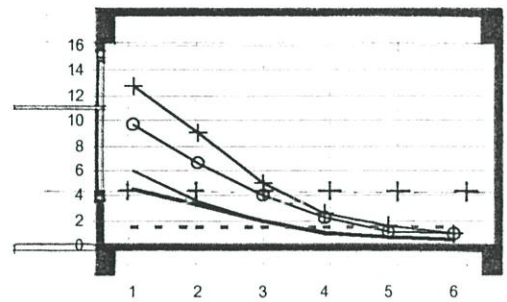
จุดประสงค์ : เพื่อหาขนาดความลึกของ light shelf

ตารางที่ 6.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % ของ Light Shelf ระยะยื่น1.50 เมตร และ1.20 เมตร วันที่ 11และ13 ต.ค. 2546

1. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) ระยะยื่น 1.50 เมตร

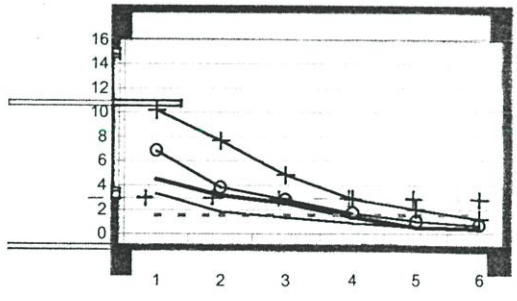


2. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) ระยะยื่น 1.20 เมตร

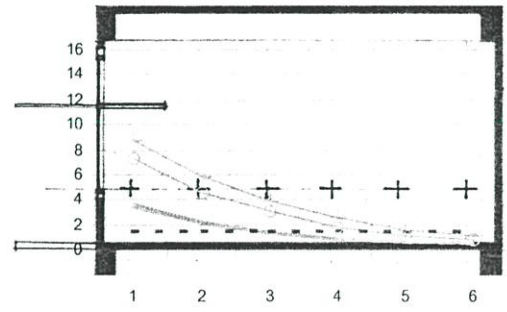


10:00-11:00		13:00-14:00		ระยะห่าง จากหน้าต่าง	10:00-11:00		13:00-14:00	
ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		หน่วยเป็น (เมตร)	ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)	
N	S	N	S		N	S	N	S
6.364	15.782	4.540	10.138	0.50	4.449	12.782	6.000	9.626
3.742	9.314	2.745	9.413	1.50	3.195	8.976	3.475	6.551
1.923	5.157	1.097	5.673	2.50	1.935	5.000	1.972	3.978
1.061	3.044	1.035	3.305	3.50	0.964	2.581	1.125	2.224
0.708	1.693	0.644	1.953	4.50	0.644	1.556	0.668	1.162
0.464	1.149	0.422	1.192	5.50	0.422	0.983	0.444	0.903
50%	83.33%	33.33%	83.33%	% ที่ใช้ได้	50%	83.33%	50%	66.67%

3. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) ระยะยื่น 1.50 เมตร



4. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) ระยะยื่น 1.20 เมตร



10:00-11:00		13:00-14:00		ระยะห่าง จากหน้าต่าง	10:00-11:00		13:00-14:00	
ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)		หน่วยเป็น (เมตร)	ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)	
N	S	N	S		N	S	N	S
4.449	10.127	3.260	6.893	0.50	3.405	8.665	3.745	7.234
3.195	7.723	1.864	3.869	1.50	2.125	5.852	2.337	4.544
2.563	4.821	1.289	2.821	2.50	1.323	3.842	1.455	3.042
1.263	2.913	0.848	1.643	3.50	0.877	2.604	0.964	1.780
0.579	1.926	0.555	0.996	4.50	0.616	1.692	0.678	1.113
0.366	1.146	0.366	0.677	5.50	0.415	1.210	0.456	0.738
50%	83.33%	33.33%	66.67%	% ที่ใช้ได้	33.33%	83.33%	33.33%	66.67%

1. ..... ระดับความสว่างมาตราฐาน
2. ——— N เช้า
3. ——— N บ่าย
4. ——— S เช้า
5. ——— S บ่าย

ตารางที่ 6.6 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ 1.20 เมตรในด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

1. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) ความลึก 1.50เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.464	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	234.92	262.11	323.87	340.85	290.74	295.48	283.27	285.73	281.42	236.45	237.29	227.87	275.00
10	314.73	361.78	377.60	407.21	329.21	377.74	348.32	366.24	350.78	316.40	297.42	310.18	346.47
11	346.98	393.33	411.20	447.39	380.53	397.00	384.24	387.53	374.26	334.96	360.30	365.91	381.97
12	375.89	427.20	428.83	468.18	368.32	364.33	388.14	379.13	398.30	351.11	357.74	378.90	390.51
13	322.29	401.45	397.09	485.81	326.70	329.12	382.24	345.03	385.72	314.36	309.77	362.01	363.47
14	281.37	348.46	359.97	426.04	299.00	300.49	346.84	290.00	323.73	272.92	281.56	307.63	319.84
15	197.06	264.80	289.12	348.14	243.37	233.81	257.15	221.10	241.14	205.18	191.86	220.03	242.73
16	117.90	150.52	192.05	205.32	183.74	157.06	180.08	149.83	150.94	122.96	110.39	119.76	153.38
2. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) ความลึก 1.20เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.422	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	213.66	238.39	294.56	310.00	264.43	268.73	257.63	259.87	255.94	215.05	215.81	207.24	250.11
10	286.24	329.03	343.42	370.35	299.41	343.55	316.80	333.08	319.03	287.76	270.50	282.11	315.11
11	315.57	357.73	373.98	406.89	346.08	361.06	349.46	352.45	340.39	304.64	327.68	332.79	347.39
12	341.86	388.54	390.01	425.80	334.98	331.35	353.00	344.82	362.24	319.33	325.36	344.61	355.16
13	293.12	365.11	361.15	441.83	297.13	299.32	347.64	313.80	350.81	285.91	281.73	329.24	330.57
14	255.90	316.92	327.39	387.48	271.94	273.29	315.45	263.75	294.43	248.22	256.07	279.79	290.88
15	179.22	240.84	262.95	316.63	221.34	212.65	233.87	201.08	219.31	186.61	174.50	200.11	220.76
16	107.23	136.90	174.67	186.74	167.11	142.85	163.78	136.26	137.28	111.83	100.39	108.92	139.50
3. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) ความลึก 1.50เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.366	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	185.31	206.75	255.47	268.86	229.34	233.07	223.44	225.38	221.98	186.51	187.17	179.74	216.92
10	248.26	285.37	297.85	321.20	259.68	297.96	274.76	288.88	276.70	249.58	234.61	244.67	273.29
11	273.69	310.26	324.35	352.90	300.16	313.15	303.08	305.68	295.22	264.22	284.20	288.63	301.29
12	296.50	336.98	338.26	369.29	290.53	287.38	306.16	299.06	314.17	276.95	282.19	298.88	308.03
13	254.22	316.66	313.22	383.20	257.70	259.60	301.51	272.16	304.26	247.97	244.34	285.55	286.70
14	221.94	274.87	283.94	336.06	235.85	237.02	273.59	228.75	255.36	215.28	222.09	242.66	252.28
15	155.44	208.88	228.05	274.61	191.97	184.43	202.84	174.40	190.21	161.85	151.34	173.56	191.46
16	93.00	118.73	151.49	161.96	144.94	123.89	142.04	118.18	119.06	96.99	87.07	94.46	120.98
4. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) ความลึก 1.20เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.415	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	210.11	234.43	289.67	304.86	260.04	264.27	253.36	255.56	251.70	211.48	212.23	203.81	245.96
10	281.49	323.58	337.73	364.20	294.44	337.85	311.54	327.56	313.74	282.99	266.02	277.43	309.88
11	310.34	351.80	367.77	400.14	340.34	355.07	343.66	346.61	334.74	299.59	322.25	327.27	341.63
12	336.19	382.09	383.54	418.74	329.43	325.86	347.15	339.10	356.24	314.03	319.97	338.89	349.27
13	288.26	359.06	355.16	434.51	292.20	294.36	341.88	308.59	344.99	281.16	277.05	323.78	325.08
14	251.66	311.67	321.96	381.05	267.43	268.75	310.21	259.38	289.55	244.10	251.82	275.15	286.06
15	176.25	236.84	258.59	311.37	217.67	209.12	229.99	197.75	215.68	183.51	171.60	196.79	217.10
16	105.45	134.63	171.77	183.64	164.34	140.48	161.06	134.00	135.00	109.98	98.73	107.11	137.18

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.7 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ 1.20 เมตรในด้านทิศใต้ เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

1. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) ความลึก 1.50เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 1.192	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	603.51	673.36	832.02	875.64	746.91	759.07	727.72	734.03	722.95	607.44	609.59	585.39	706.47
10	808.53	929.40	970.05	1046.10	845.72	970.41	894.83	940.85	901.15	812.82	764.07	796.85	890.07
11	891.38	1010.46	1056.35	1149.33	977.56	1019.88	987.10	995.56	961.47	860.50	925.59	940.01	981.26
12	965.64	1097.47	1101.65	1202.73	946.21	935.96	997.11	973.98	1023.21	901.99	919.03	973.39	1003.20
13	827.96	1031.32	1020.11	1248.02	839.29	845.49	981.97	886.37	990.91	807.58	795.78	930.00	933.73
14	722.83	895.19	924.75	1094.49	768.12	771.94	891.02	745.00	831.66	701.13	723.31	790.30	821.65
15	506.24	680.27	742.74	894.36	625.20	600.65	660.61	567.99	619.48	527.10	492.89	565.25	623.57
16	302.89	386.68	493.37	527.46	472.03	403.49	462.62	384.90	387.76	315.88	283.58	307.66	394.03
2. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) ความลึก 1.50เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 1.146	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	580.22	647.38	799.91	841.85	718.08	729.77	699.63	705.71	695.05	584.00	586.06	562.80	679.21
10	777.33	893.54	932.61	1005.73	813.09	932.96	860.30	904.54	866.38	781.46	734.59	766.10	855.72
11	856.98	971.46	1015.59	1104.97	939.83	980.52	949.00	957.14	924.36	827.30	889.87	903.74	943.40
12	928.37	1055.12	1059.13	1156.31	909.69	899.84	958.63	936.40	983.73	867.18	883.57	935.82	964.48
13	796.01	991.52	980.75	1199.86	806.90	812.86	944.07	852.17	952.67	776.42	765.07	894.11	897.70
14	694.93	860.65	889.07	1052.26	738.48	742.15	856.64	716.25	799.56	674.08	695.39	759.80	789.94
15	486.71	654.02	714.07	859.84	601.08	577.47	635.11	546.07	595.58	506.76	473.87	543.43	599.50
16	291.20	371.76	474.33	507.11	453.82	387.92	444.76	370.04	372.79	303.69	272.63	295.78	378.82
3. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) ความลึก 1.20เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.983	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	497.69	555.30	686.13	722.11	615.95	625.97	600.12	605.33	596.19	500.94	502.71	482.75	582.60
10	666.77	766.45	799.97	862.68	697.44	800.26	737.94	775.88	743.15	670.31	630.10	657.14	734.01
11	735.09	833.29	871.13	947.81	806.16	841.05	814.02	821.00	792.89	709.63	763.30	775.19	809.21
12	796.33	905.05	908.49	991.85	780.31	771.85	822.28	803.21	843.81	743.84	757.89	802.72	827.30
13	682.79	850.49	841.25	1029.20	692.13	697.24	809.80	730.96	817.17	665.98	656.25	766.94	770.02
14	596.09	738.23	762.61	902.59	633.45	636.59	734.79	614.38	685.84	578.20	596.48	651.73	677.58
15	417.48	561.00	612.51	737.54	515.58	495.33	544.78	468.40	510.87	434.68	406.47	466.14	514.23
16	249.78	318.89	406.86	434.98	389.27	332.75	381.50	317.41	319.77	260.50	233.86	253.71	324.94
4. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) ความลึก 1.20เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 1.21	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	612.62	683.53	844.58	888.87	758.19	770.53	738.71	745.12	733.87	616.62	618.79	594.23	717.14
10	820.74	943.44	984.70	1061.90	858.50	985.06	908.35	955.05	914.76	825.10	775.61	808.89	903.51
11	904.84	1025.72	1072.30	1166.68	992.32	1035.28	1002.00	1010.59	975.99	873.50	939.57	954.21	996.08
12	980.22	1114.05	1118.28	1220.89	960.50	950.09	1012.17	988.69	1038.66	915.61	932.91	988.09	1018.35
13	840.47	1046.89	1035.52	1266.87	851.96	858.25	996.80	899.76	1005.87	819.78	807.80	944.04	947.83
14	733.74	908.71	938.72	1111.02	779.72	783.60	904.48	756.25	844.22	711.72	734.23	802.23	834.05
15	513.89	690.55	753.95	907.86	634.65	609.72	670.58	576.57	628.84	535.06	500.34	573.78	632.98
16	307.46	392.52	500.82	535.43	479.16	409.59	469.60	390.71	393.61	320.65	287.86	312.30	399.98

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 %ของ Light Shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ1.20 เมตร เพื่อเลือกขนาดความลึกของ Light Shelf พบว่า

ตารางที่ 6.8 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light Shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ1.20 เมตร

	1. Light Shelf ภาย นอกอาคาร ระยะยื่น1.50 เมตร		2. Light Shelf ภาย นอกอาคาร ระยะยื่น1.20 เมตร		3. Light Shelf แบบผสม ระยะยื่น1.50 เมตร		4. light-shelf แบบผสม ระยะยื่น1.20 เมตร	
	N	S	N	S	N	S	N	S
บริเวณที่ค่าสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	0.5-2.5	0.5-4.5	0.5-2.5	0.5-4.5	0.5-2.5	0.5-.4.5	0.5-1.5	0.5-4.5
บริเวณที่ต่ำสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	3.5-5.5	5.5	3.5-5.5	5.5	3.5-5.5	5.5	2.5-5.5	5.5
พื้นที่ที่ใช้งานได้เป็น% ของพื้นที่ทั้งหมด	50%	83.33%	50%	83.33%	50%	83.33%	33.33%	83.33%
ความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร (Lux)	153.38-390.51	394.03-1003.2	139.50-355.16	378.82-964.48	120.98-308.03	324.94-887.30	137.18-349.27	399.98-1018.35
ระดับความสว่างที่ใช้งานได้	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300
% ที่ใช้งานได้ใน 1ปี ในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร	59.375%	98.96%	45.833%	96.875%	19.792%	95.83%	44.79%	98.96%

เป็นผลการทดลองในเดือนตุลาคมโดยทดสอบ Light Shelf แบบต่าง ๆ กับช่องเปิดขนาด 3.00 เมตร x 2.00 เมตร แล้วนำค่า Daylight Factor ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร เทียบกับไปเป็นค่าความสว่างเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี โดยใช้ข้อมูลความสว่างของ AIT

1. Light Shelf ระยะยื่น 1.50 และ 1.20เมตรมีค่าระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ใกล้เคียงกัน โดยที่แบบระยะยื่น 1.50เมตรมีค่า Daylight Factor และค่าระดับความสว่าง มากกว่าแบบระยะยื่น 1.20เมตรประมาณ 9.08%

1.1 Light Shelf แบบภายนอกอาคาร ระยะยื่น 1.50เมตร

ด้านทิศเหนือ มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน อยู่ในบริเวณห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 2.5เมตร คิดเป็น 50% ของทั้งหมด ระดับความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5เมตรอยู่ในช่วง 153.38 - 390.51 Lux จากช่วงเวลาที่ใช้งาน ซึ่งระดับความสว่างที่ใช้งานได้คือ 150 - 300 Lux

ด้านทิศใต้ มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน อยู่ในบริเวณห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 4.5เมตร คิดเป็น 83.33% ของทั้งหมด ระดับความสว่างในที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5เมตรอยู่ในช่วง 394.03 - 1003.2 Lux

1.2 Light Shelf แบบภายนอกอาคาร ระยะยื่น 1.20 เมตร

ในด้านทิศเหนือ มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน อยู่ในบริเวณห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 2.5เมตร คิดเป็น 50 % ของทั้งหมด ระดับความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตรอยู่ในช่วง 39.50 – 355.16 Lux

ในด้านทิศใต้ มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน อยู่ในบริเวณห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 2.5 เมตร คิดเป็น 50% ของทั้งหมด ระดับความสว่างในที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร อยู่ในช่วง 378.82 - 964.48 Lux

1.3 Light Shelf แบบผสม ระยะยื่น 1.50 เมตร

ในด้านทิศเหนือ มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน อยู่ในบริเวณห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 2.5 เมตร คิดเป็น 50 % ของทั้งหมด ระดับความสว่างในที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร อยู่ในช่วง120.96 – 308.30 Lux

ในด้านทิศใต้ มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน อยู่ในบริเวณห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 4.5เมตร คิดเป็น 83.33% ของทั้งหมด ระดับความสว่างในที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร อยู่ในช่วง 324.94 - 887.30 Lux

1.4 Light Shelf แบบผสม ระยะยื่น 1.20 เมตร

ในด้านทิศเหนือ มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน อยู่ในบริเวณห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 1.5 เมตร คิดเป็น 33.33% ของทั้งหมด ระดับความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5เมตรอยู่ในช่วง137.18 – 349.27 Lux

ในด้านทิศใต้ มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน อยู่ในบริเวณห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 4.5 เมตร คิดเป็น 83.33% ของทั้งหมด ระดับความสว่างในที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตรอยู่ในช่วง 399.98 - 1018.35 Lux

2.จากกราฟในตารางที่ 6.4 และค่า Daylight Factor ในตารางที่ 6.6 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light Shelf ระยะยื่น 1.50 เมตร และ 1.20 เมตร พบว่า Light Shelf ทั้ง 2 แบบ มีจำนวนพื้นที่ที่ระดับความสว่างถึงเกณฑ์มาตราฐานเท่ากัน

3.จากตารางที่ 6.5 ค่าความสว่างภายนอกของ Light Shelf ทั้ง 2 แบบ ในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร มีความแตกต่างกันไม่เกิน 50 Lux

4.จากผลการทดลองพบว่า**ทิศ**มีผลโดยตรงต่อระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ทิศใต้มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor มากกว่าทิศเหนือ Light Shelf แบบภายนอกอาคารด้านทิศใต้มีระดับความสว่างถึงเกณฑ์มาตราฐาน 66.67% -83.33% ซึ่งมากกว่าทางทิศเหนือที่มีค่า อยู่ในเกณฑ์เพียง 50% แต่ในระยะห่างจากหน้าต่าง 0.5 -2.5 เมตรค่า Daylight Factor ที่ทิศใต้ มีค่าสูงเกินความจำเป็น อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านความร้อน และความไม่สบายทางด้านสายตาได้

5. ทางด้านทิศใต้ ค่า Daylight Factor ในระยะห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 1.5 เมตร มีค่าลดลง 32.24% ในระยะ 0.5 เมตร และ 34.8% ในระยะ 1.5 เมตร เมื่อใช้ Light Shelf แบบผสม

6. เมื่อพิจารณาค่าความสว่างในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5เมตรจากเกณฑ์ 300 Lux ในตารางที่ 4.3 พบว่า Light Shelf แบบภายนอกความลึก 1.50 เมตร และ1.20 เมตรมีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน 1ปีไม่ต่างกันมาก ระหว่าง 67.86 กับ 52.38 เปอร์เซ็นต์

6.1 Light Shelf แบบภายนอกความลึก 1.50 เมตร

ด้านทิศเหนือ มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน1ปี 67.86% ด้านทิศใต้มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน1ปี 98.81%

6.2 Light Shelf แบบภายนอกความลึก 1.20 เมตร

ในด้านทิศเหนือ มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน1ปี 52.38% ด้านทิศใต้บริเวณห่างมีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน1ปี 96.43%

6.3 Light Shelf แบบผสมความลึก 1.50 เมตร

ด้านทิศเหนือ มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน1ปี 22.62% ด้านทิศใต้มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน1ปี 95.24%

6.4 Light Shelf แบบผสมความลึก 1.20 เมตร

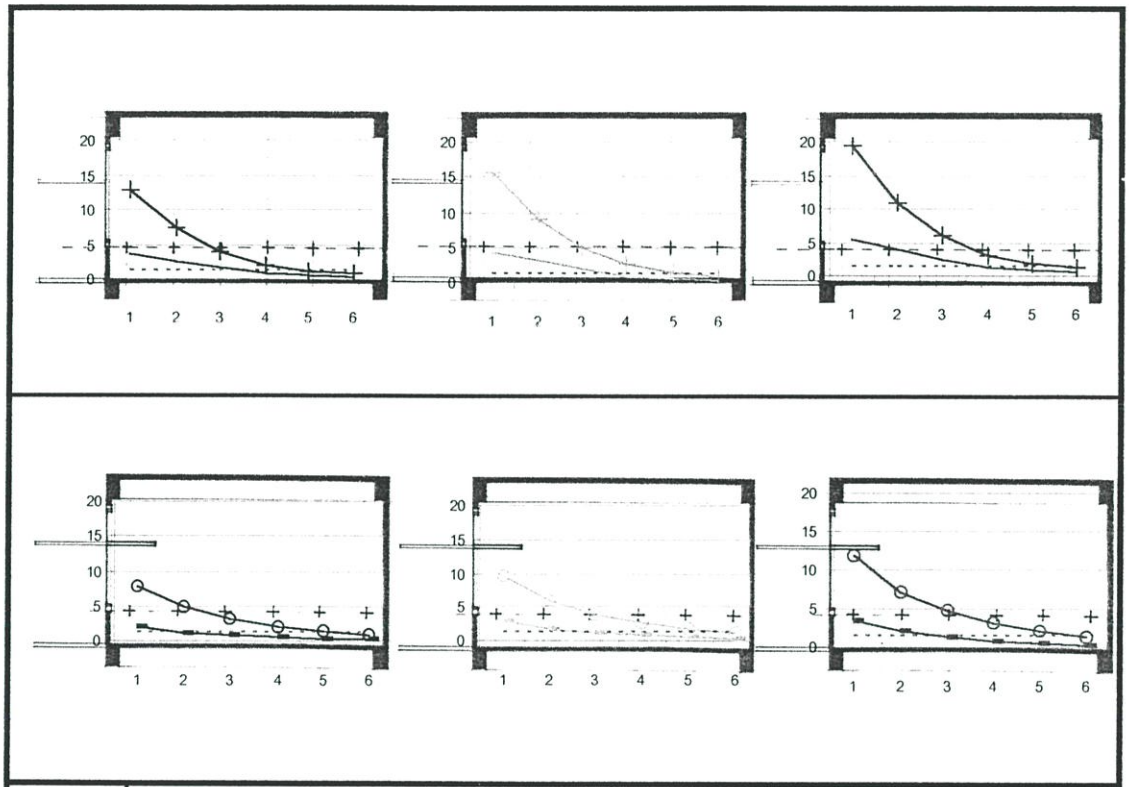
ด้านทิศเหนือ มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน1ปี 51.19%ทิศใต้มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน1ปี 98.81%

จากผลของข้อมูลพบว่า Light Shelf ขนาด 1.5 เมตร และ 1.2 เมตร มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากในทางปฏิบัติ Light Shelf ขนาด 1.20 เมตร สร้างและใช้จ่ายประหยัดกว่าจึงควรเลือกขนาด 1.20 เมตร แทน 1.50 เมตร

6.3.1.3 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองที่ 4.3.1.3

จุดประสงค์ : เพื่อหาวัสดุและสีของ light shelf

ตารางที่ 6.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % ของ Light Shelf ความลึก1.20 เมตร วัสดุผิวต่างๆ วันที่ 11,13 ต.ค.และ 11พ.ย. 2546



ระยะห่างจากหน้าต่างหน่วยเป็นเมตร	1. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)						2. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)					
	10:00-11:00						10:00-11:00					
	photoboard		กระดาษขาว		อลูมิเนียม		photoboard		กระดาษขาว		อลูมิเนียม	
	DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	3.647	12.93	4.449	15.78	5.428	19.25	2.061	7.890	3.067	9.626	3.405	11.74
1.50	2.619	7.357	3.195	8.976	3.898	10.95	1.221	4.796	1.818	5.852	2.125	7.139
2.50	1.586	4.098	1.935	5.000	2.341	6.05	0.904	3.149	1.323	3.842	1.335	4.649
3.50	0.790	2.115	0.964	2.581	1.157	3.097	0.593	2.135	0.877	2.604	0.869	3.125
4.50	0.528	1.275	0.644	1.556	0.766	1.852	0.410	1.387	0.616	1.692	0.595	2.013
5.50	0.346	0.805	0.422	0.983	0.494	1.15	0.269	0.992	0.415	1.210	0.384	1.415

1. ..... ระดับความสว่างมาตราฐาน
2. ——— N เข้า
3. ——— N บ่าย
4. S เข้า
5. S บ่าย

ตารางที่ 6.10 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf แบบภายนอกอาคาร วัสดุผิว ต่าง ๆ กันในด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

1. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) photoboard													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.346	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	213.66	195.46	241.51	254.17	216.80	220.33	211.23	213.07	209.85	176.32	176.94	169.92	208.27
10	234.69	269.78	281.57	303.65	245.49	281.68	259.74	273.10	261.58	235.94	221.79	231.30	258.36
11	258.74	293.30	306.63	333.61	283.75	296.04	286.52	288.98	279.08	249.78	268.67	272.86	284.83
12	280.29	318.56	319.77	349.11	274.65	271.68	289.43	282.72	297.01	261.82	266.77	282.54	291.20
13	240.33	299.36	296.11	362.26	243.62	245.42	285.03	257.29	287.63	234.42	230.99	269.95	271.03
14	209.81	259.85	268.43	317.70	222.96	224.07	258.64	216.25	241.40	203.52	209.95	229.40	238.50
15	146.95	197.46	215.59	259.60	181.48	174.35	191.75	164.87	179.82	153.00	143.07	164.07	181.00
16	87.92	112.24	143.21	153.11	137.02	117.12	134.28	111.72	112.55	91.69	82.31	89.30	114.37
2. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) กระดาษขาว													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.422	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	213.66	238.39	294.56	310.00	264.43	268.73	257.63	259.87	255.94	215.05	215.81	207.24	250.11
10	286.24	329.03	343.42	370.35	299.41	343.55	316.80	333.08	319.03	287.76	270.50	282.11	315.11
11	315.57	357.73	373.98	406.89	346.08	361.06	349.46	352.45	340.39	304.64	327.68	332.79	347.39
12	341.86	388.54	390.01	425.80	334.98	331.35	353.00	344.82	362.24	319.33	325.36	344.61	355.16
13	293.12	365.11	361.15	441.83	297.13	299.32	347.64	313.80	350.81	285.91	281.73	329.24	330.57
14	255.90	316.92	327.39	387.48	271.94	273.29	315.45	263.75	294.43	248.22	256.07	279.79	290.88
15	179.22	240.84	262.95	316.63	221.34	212.65	233.87	201.08	219.31	186.61	174.50	200.11	220.76
16	107.23	136.90	174.67	186.74	167.11	142.85	163.78	136.26	137.28	111.83	100.39	108.92	139.50
3. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) อลูมิเนียม													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.494	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	250.11	279.06	344.81	362.89	309.54	314.58	301.59	304.21	299.61	251.74	252.63	242.60	292.78
10	335.08	385.17	402.02	433.53	350.49	402.17	370.85	389.91	373.46	336.86	316.65	330.24	368.87
11	369.41	418.76	437.78	476.31	405.13	422.67	409.08	412.59	398.46	356.62	383.59	389.57	406.66
12	400.19	454.83	456.55	498.45	392.14	387.89	413.23	403.65	424.05	373.81	380.87	403.40	415.75
13	343.13	427.41	422.77	517.22	347.83	350.39	406.96	367.34	410.66	334.69	329.79	385.42	386.97
14	299.56	370.99	383.25	453.59	318.33	319.91	369.27	308.75	344.66	290.57	299.76	327.52	340.51
15	209.80	281.93	307.81	370.65	259.10	248.93	273.77	235.39	256.73	218.45	204.27	234.25	258.42
16	125.53	160.25	204.47	218.60	195.62	167.22	191.72	159.51	160.70	130.91	117.52	127.50	163.30

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.11 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf แบบผสม วัสดุผิวต่าง ๆ กันในด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

4. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) photoboard													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.269	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	136.19	151.96	187.76	197.61	168.56	171.30	164.22	165.65	163.15	137.08	137.57	132.11	159.43
10	182.46	209.74	218.91	236.07	190.86	218.99	201.94	212.32	203.36	183.43	172.43	179.83	200.86
11	201.16	228.03	238.39	259.37	220.61	230.16	222.76	224.67	216.98	194.19	208.88	212.13	221.44
12	217.92	247.67	248.61	271.42	213.53	211.22	225.02	219.80	230.91	203.55	207.40	219.67	226.39
13	186.85	232.74	230.21	281.64	189.40	190.80	221.60	200.03	223.62	182.25	179.58	209.87	210.72
14	163.12	202.02	208.69	247.00	173.34	174.20	201.08	168.13	187.68	158.23	163.23	178.35	185.42
15	114.24	153.52	167.61	201.83	141.09	135.55	149.08	128.18	139.80	118.95	111.23	127.56	140.72
16	68.35	87.26	111.34	119.03	106.52	91.06	104.40	86.86	87.51	71.29	64.00	69.43	88.92
5. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) กระดาษขาว													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.415	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	210.11	234.43	289.67	304.86	260.04	264.27	253.36	255.56	251.70	211.48	212.23	203.81	245.96
10	281.49	323.58	337.73	364.20	294.44	337.85	311.54	327.56	313.74	282.99	266.02	277.43	309.88
11	310.34	351.80	367.77	400.14	340.34	355.07	343.66	346.61	334.74	299.59	322.25	327.27	341.63
12	336.19	382.09	383.54	418.74	329.43	325.86	347.15	339.10	356.24	314.03	319.97	338.89	349.27
13	288.26	359.06	355.16	434.51	292.20	294.36	341.88	308.59	344.99	281.16	277.05	323.78	325.08
14	251.66	311.67	321.96	381.05	267.43	268.75	310.21	259.38	289.55	244.10	251.82	275.15	286.06
15	176.25	236.84	258.59	311.37	217.67	209.12	229.99	197.75	215.68	183.51	171.60	196.79	217.10
16	105.45	134.63	171.77	183.64	164.34	140.48	161.06	134.00	135.00	109.98	98.73	107.11	137.18
6. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) อลูมิเนียม													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.384	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	194.42	216.92	268.03	282.09	240.61	244.53	234.43	236.47	232.90	195.69	196.38	188.58	227.59
10	260.47	299.40	312.50	337.00	272.45	312.61	288.27	303.09	290.30	261.85	246.14	256.70	286.73
11	287.16	325.52	340.30	370.25	314.92	328.55	317.99	320.72	309.73	277.21	298.18	302.82	316.11
12	311.08	353.55	354.89	387.46	304.82	301.52	321.22	313.77	329.63	290.57	296.06	313.57	323.18
13	266.73	332.24	328.63	402.05	270.37	272.37	316.34	285.54	319.22	260.16	256.36	299.60	300.80
14	232.86	288.38	297.91	352.59	247.45	248.68	287.04	240.00	267.92	225.87	233.01	254.59	264.69
15	163.08	219.15	239.27	288.12	201.41	193.50	212.81	182.98	199.56	169.80	158.78	182.09	200.88
16	97.57	124.57	158.94	169.92	152.06	129.98	149.03	123.99	124.92	101.76	91.35	99.11	126.93

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % ของ Light Shelf วัสดุผิวต่างๆกันพบว่า

ตารางที่ 6.12 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light Shelfวัสดุผิวต่าง ๆ กัน

	1. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)						2. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)					
	photoboard		กระดาษขาว		อลูมิเนียม		photoboard		กระดาษขาว		อลูมิเนียม	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
บริเวณที่ค่าสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	0.5-2.5	0.5-3.5	0.5-2.5	0.5-4.5	0.5-2.5	0.5-4.5	0.5-1.5	0.5-3.5	0.5-1.5	0.5-4.5	0.5-1.5	0.5-4.5
บริเวณที่ต่ำสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	3.5-5.5	4.5-5.5	3.5-5.5	5.5	3.5-5.5	5.5	2.5-5.5	4.5-5.5	2.5-5.5	5.5	2.5-5.5	5.5
พื้นที่ที่ใช้งานได้เป็น% ของพื้นที่ทั้งหมด	50	66.67	50	83.33	50	83.33	33.33	66.67	33.33	83.33	33.33	83.33
ความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร (Lux)	114.4-291.2	266.1-677.4	139.5-355.2	324.9-827.3	163.3-415.8	327.9-834.9	88.9-226.4	327.9-834.9	137.2-349.3	400-1018	126.9-323.2	467.7-1191
ระดับความสว่างที่ใช้งานได้	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300
% ที่ใช้งานได้ใน 1ปี ในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร	8.33	87.5	45.8	95.8	67.7	96.9	0	95.8	45.8	99	30.2	100

เป็นผลการทดลองในเดือนตุลาคมโดยทดสอบ Light Shelf แบบต่าง ๆ กับช่องเปิดขนาด 3.00 เมตร x 2.00 เมตร แล้วนำค่า Daylight Factor ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร เทียบกับไปเป็นค่าความสว่างเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี โดยใช้ข้อมูลความสว่างของ AIT

1. เมื่อพิจารณาค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % วัสดุที่เหมาะสมที่ให้ค่าความสว่างและค่า Daylight Factor มากที่สุด คือ อลูมิเนียม, กระดาษขาว และ Photoboard

2. ระยะที่มีค่าระดับความสว่าง และค่า Daylight Factor ได้ตามมาตราฐาน ของวัสดุแต่ละประเภทที่ช่วยกระจายแสงสู่ภายในเรียงตามลำดับ

ทิศเหนือ	อลูมิเนียม	0.5 – 2.5 เมตร	ทิศใต้	0.5 – 4.5 เมตร
	กระดาษขาว	0.5 – 2.5 เมตร		0.5 – 4.5 เมตร
	Photoboard	0.5 – 2.5 เมตร		0.5 – 3.5 เมตร

3. ค่าความสว่างในระยะที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.50 เมตร ของวัสดุแต่ละประเภท

ทิศเหนือ	อลูมิเนียม	163.3-415.8 Lux	ทิศใต้	467.74-1190.88 Lux
	กระดาษขาว	139.5-355.2 Lux		339.98-1018.35 Lux
	Photoboard	114.37-219.20 Lux		327.88-834.88 Lux

4.จากผลการทดลองพบว่าทิศมีผลโดยตรงต่อระดับความสว่าง ทิศใต้มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐานมากกว่าทิศเหนือ

5.จากผลการทดลอง พบว่าทางด้านทิศใต้ เมื่อใช้ Light Shelf แบบผสมนอกจากจะช่วยลดค่าความสว่างที่สูงเกินมาตราฐานไปมากในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 0.5 - 2.5 เมตร แล้วค่าความสว่างและค่า Daylight Factor ในบริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ Light Shelf แบบภายนอก

6. เมื่อเปลี่ยนวัสดุผิวมาเป็นอลูมิเนียมพบว่ามีค่า Daylight Factor และระดับความสว่างมากกว่ากระดาษขาว 20.17%

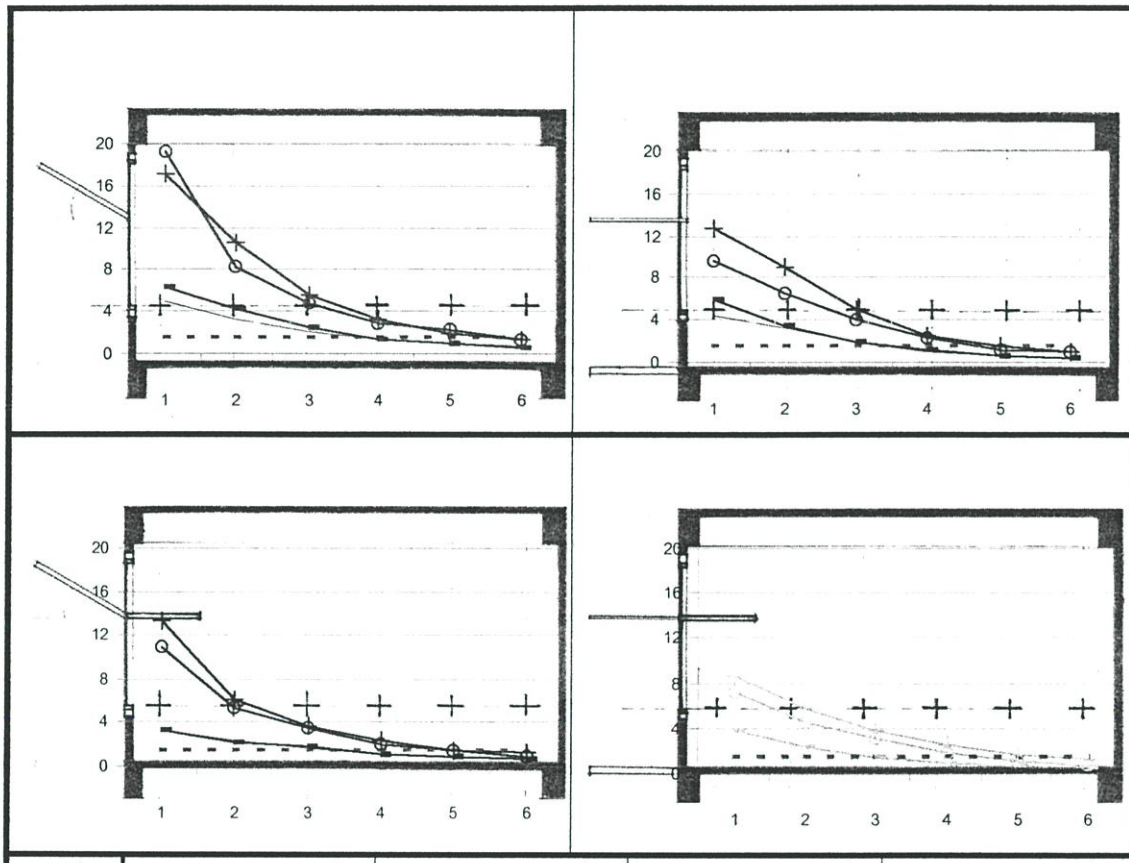
7. พบว่า Light Shelf วัสดุผิวเป็นอลูมิเนียมที่มีค่าการสะท้อน 71.97% มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ในระยะที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.5 เมตร ใน 1 ปีมากที่สุด จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน 1 ปี เรียงตามลำดับ

ทิศเหนือ	อลูมิเนียม	98.81%	ทิศใต้	100%
	กระดาษขาว	95.24%		98.81%
	Photoboard	85.17%		95.24%

6.2.1.4 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองที่ 4.3.1.4

จุดประสงค์ : เพื่อทดสอบ light shelf เอียง 30°

ตารางที่ 6.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % ของ Light Shelf แบบเอียง 30องศา และ 90องศา วันที่ 13 และ 20 ต.ค. 2546



ระยะห่างจากหน้าต่างหน่วยเป็นเมตร	Light shelf ภายนอก 30°				Light shelf ภายนอก 90°				Light shelf แบบผสม 30°				Light shelf แบบผสม 90°			
	10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00		10:00-11:00		13:00-14:00	
	DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)		DF(%)	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
0.50	5.03	17.2	6.4	23.3	4.45	15.8	6.00	20.4	3.40	13.3	3.33	11.0	3.41	9.63	3.75	7.23
1.50	3.30	10.6	4.14	8.30	3.2	8.98	3.48	6.55	2.39	6.08	2.19	5.43	2.13	5.85	2.34	4.54
2.50	2.04	5.58	2.47	4.82	1.94	5.00	1.97	3.98	1.66	3.73	1.80	3.47	1.32	3.84	1.46	3.04
3.50	1.41	3.19	1.38	2.86	0.96	2.58	1.13	2.22	1.06	2.44	1.11	2.12	0.88	2.60	0.96	1.78
4.50	1.04	1.97	0.96	2.23	0.64	1.56	0.67	1.16	0.90	1.47	0.84	1.46	0.62	1.69	0.68	1.11
5.50	0.79	1.39	0.65	1.42	0.42	0.98	0.44	0.90	0.66	1.31	0.70	0.93	0.42	1.21	0.46	0.74

1. ..... ระดับความสว่างมาตราฐาน
2. ——— N เข้า
3. ——— N บ่าย
4. ——— S เข้า
5. ——— S บ่าย

ตารางที่ 6.14 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf แบบเอียง 30 องศา และ 90 องศาในด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

1. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf) แบบเอียง 30องศา													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.79	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	399.98	446.27	551.42	580.33	495.01	503.07	482.30	486.48	479.14	402.58	404.01	387.97	468.21
10	535.86	615.96	642.90	693.30	560.51	643.14	593.05	623.55	597.24	538.70	506.39	528.12	589.89
11	590.76	669.68	700.10	761.72	647.88	675.92	654.20	659.81	637.21	570.30	613.44	622.99	650.33
12	639.98	727.35	730.12	797.11	627.10	620.31	660.84	645.51	678.14	597.79	609.09	645.11	664.87
13	548.73	683.51	676.08	827.13	556.24	560.35	650.80	587.44	656.73	535.23	527.40	616.36	618.83
14	479.06	593.29	612.88	725.38	509.08	511.60	590.53	493.75	551.18	464.68	479.37	523.77	544.55
15	335.51	450.85	492.25	592.74	414.36	398.08	437.82	376.44	410.56	349.34	326.67	374.62	413.27
16	200.74	256.28	326.98	349.58	312.84	267.42	306.60	255.09	256.99	209.35	187.94	203.90	261.14
2. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.422	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	213.66	238.39	294.56	310.00	264.43	268.73	257.63	259.87	255.94	215.05	215.81	207.24	250.11
10	286.24	329.03	343.42	370.35	299.41	343.55	316.80	333.08	319.03	287.76	270.50	282.11	315.11
11	315.57	357.73	373.98	406.89	346.08	361.06	349.46	352.45	340.39	304.64	327.68	332.79	347.39
12	341.86	388.54	390.01	425.80	334.98	331.35	353.00	344.82	362.24	319.33	325.36	344.61	355.16
13	293.12	365.11	361.15	441.83	297.13	299.32	347.64	313.80	350.81	285.91	281.73	329.24	330.57
14	255.90	316.92	327.39	387.48	271.94	273.29	315.45	263.75	294.43	248.22	256.07	279.79	290.88
15	179.22	240.84	262.95	316.63	221.34	212.65	233.87	201.08	219.31	186.61	174.50	200.11	220.76
16	107.23	136.90	174.67	186.74	167.11	142.85	163.78	136.26	137.28	111.83	100.39	108.92	139.50
3. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf) แบบเอียง 30องศา													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.66	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	334.16	372.83	460.68	484.84	413.56	420.29	402.93	406.43	400.29	336.34	337.52	324.13	391.17
10	447.68	514.60	537.11	579.22	468.27	537.31	495.46	520.94	498.96	450.05	423.06	441.21	492.82
11	493.55	559.48	584.89	636.37	541.27	564.70	546.55	551.23	532.36	476.45	512.49	520.48	543.32
12	534.67	607.66	609.97	665.94	523.91	518.23	552.09	539.29	566.54	499.42	508.86	538.96	555.46
13	458.44	571.03	564.83	691.02	464.71	468.14	543.71	490.78	548.66	447.15	440.62	514.93	517.00
14	400.22	495.66	512.03	606.01	425.30	427.42	493.35	412.50	460.48	388.21	400.49	437.58	454.94
15	280.30	376.66	411.25	495.20	346.17	332.57	365.77	314.49	343.00	291.85	272.91	312.97	345.26
16	167.71	214.10	273.17	292.05	261.36	223.41	256.15	213.11	214.70	174.90	157.01	170.35	218.17
4. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.415	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	210.11	234.43	289.67	304.86	260.04	264.27	253.36	255.56	251.70	211.48	212.23	203.81	245.96
10	281.49	323.58	337.73	364.20	294.44	337.85	311.54	327.56	313.74	282.99	266.02	277.43	309.88
11	310.34	351.80	367.77	400.14	340.34	355.07	343.66	346.61	334.74	299.59	322.25	327.27	341.63
12	336.19	382.09	383.54	418.74	329.43	325.86	347.15	339.10	356.24	314.03	319.97	338.89	349.27
13	288.26	359.06	355.16	434.51	292.20	294.36	341.88	308.59	344.99	281.16	277.05	323.78	325.08
14	251.66	311.67	321.96	381.05	267.43	268.75	310.21	259.38	289.55	244.10	251.82	275.15	286.06
15	176.25	236.84	258.59	311.37	217.67	209.12	229.99	197.75	215.68	183.51	171.60	196.79	217.10
16	105.45	134.63	171.77	183.64	164.34	140.48	161.06	134.00	135.00	109.98	98.73	107.11	137.18

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % ของ Light Shelf วัสดุผิวต่างๆกันพบว่า

ตารางที่ 6.15 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light Shelf ความเอียง 30 องศา และ 90 องศา

	1. Light Shelf ภาย นอกอาคาร แบบเอียง 30 องศา		2. Light Shelf ภาย นอกอาคาร		3. Light Shelf แบบผสม แบบเอียง 30 องศา		4. light-shelf แบบผสม	
	N	S	N	S	N	S	N	S
บริเวณที่ค่าสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	0.5-2.5	0.5-4.5	0.5-2.5	0.5-4.5	0.5-2.5	0.5-.3.5	0.5-1.5	0.5-3.5
บริเวณที่ต่ำสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	3.5-5.5	5.5	3.5-5.5	5.5	3.5-5.5	4.5-5.5	2.5-5.5	5.5
พื้นที่ที่ใช้งานได้เป็น% ของพื้นที่ทั้งหมด	50%	83.33%	50%	83.33%	50%	66.67%	33.33%	66.67%
ความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร (Lux)	261.14-664.87	469.39-1195.08	139.5-355.6	324.94-827.30	218.17-555.46	307.42-782.70	137.18-349.27	399.98-1018.35
ระดับความสว่างที่ใช้งานได้	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300
% ที่ใช้งานได้ใน 1ปี ในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร	90.63%	100%	52.38%	97.24%	82.14%	95.24%	51.19%	98.81%

1. เมื่อพิจารณาค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 %พบว่า Light Shelf แบบเอียง 30 องศา ช่วยเพิ่มระดับความสว่างภายในได้มากกว่าแบบ 90 องศา 41.488% ในทางทิศเหนือ

2. ระยะที่มีค่าระดับความสว่าง และค่า Daylight Factor ได้ตามมาตราฐานของ Light Shelf แต่ละความเอียง

ทิศเหนือ แบบภายนอกอาคารเอียง 30° 0.5 – 2.5 เมตร ทิศใต้ 0.5 – 4.5 เมตร
แบบผสมเอียง 30° 0.5 – 2.5 เมตร 0.5 – 3.5 เมตร
แบบภายนอกอาคาร 0.5 – 2.5 เมตร 0.5 – 4.5 เมตร
แบบผสม 0.5 – 1.5 เมตร 0.5 – 3.5 เมตร

3. ค่าความสว่างในระยะที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.50 เมตร ของ Light Shelf แต่ละความเอียง

ทิศเหนือ แบบภายนอกเอียง 30° 261.14 – 664.87 Lux ทิศใต้ 469.39 – 1195.08 Lux
แบบผสมเอียง 30° 218.17 – 555.46 Lux 307.18 – 782.7 Lux
แบบภายนอกอาคาร 139.5 – 355.6 Lux 324.94 – 827.3 Lux
แบบผสม 137.18 – 349.27 Lux 399.98 – 1018.35 Lux

4. จากผลการทดลองพบว่าระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ของ Light Shelf แบบเอียง 30 องศาในด้านทิศใต้ มีค่ามากกว่าแบบ 90 องศา ไม่มากนักประมาณ 22%

5. เมื่อพิจารณาค่าความสว่างในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร จากเกณฑ์ 300 Lux ในตารางที่ 4.3 พบว่า Light Shelf แบบภายนอกเอียง 30 องศามีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน 1ปีมากที่สุด จากการทดลองที่ 4.1.3 Light Shelf ทางทิศใต้พบว่าเมื่อใช้ Light Shelf แบบผสมจะช่วยให้มีค่าระดับความสว่างภายในเพิ่มขึ้น แต่ในการทดลองนี้ค่าระดับความสว่างไม่ได้เพิ่มขึ้น

6. พบว่า Light Shelf แบบภายนอกเอียง 30 องศา มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ในระยะที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.5 เมตร ใน 1 ปีมากที่สุด จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน 1 ปี เรียงตามลำดับ

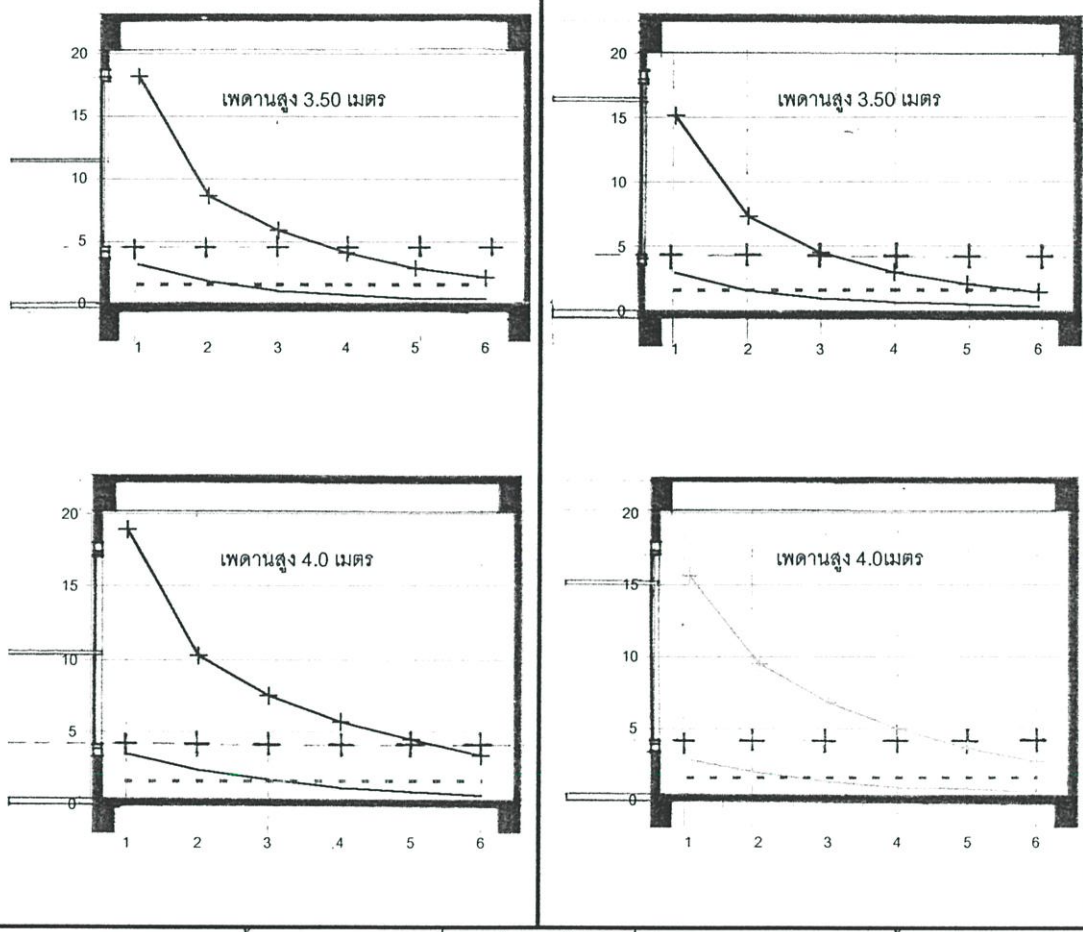
ทิศเหนือ	แบบภายนอกอาคารเอียง 30°	90.48 %	ทิศใต้	100 %
	แบบผสมเอียง 30°	82.14 %		95.24 %
	แบบภายนอกอาคาร	52.38 %		97.24 %
	แบบผสม	51.19 %		98.81 %

6.3.2 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของชุดการทดลองที่ 4.3.2

จุดประสงค์ : เพื่อหาระดับความสูงของเพดานและความสูงของ light shelf

ตารางที่ 6.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % ของ Light Shelf ที่ความสูงเพดานต่างๆ

1. light-shelf ภายนอกอาคาร (exterior light-shelf)

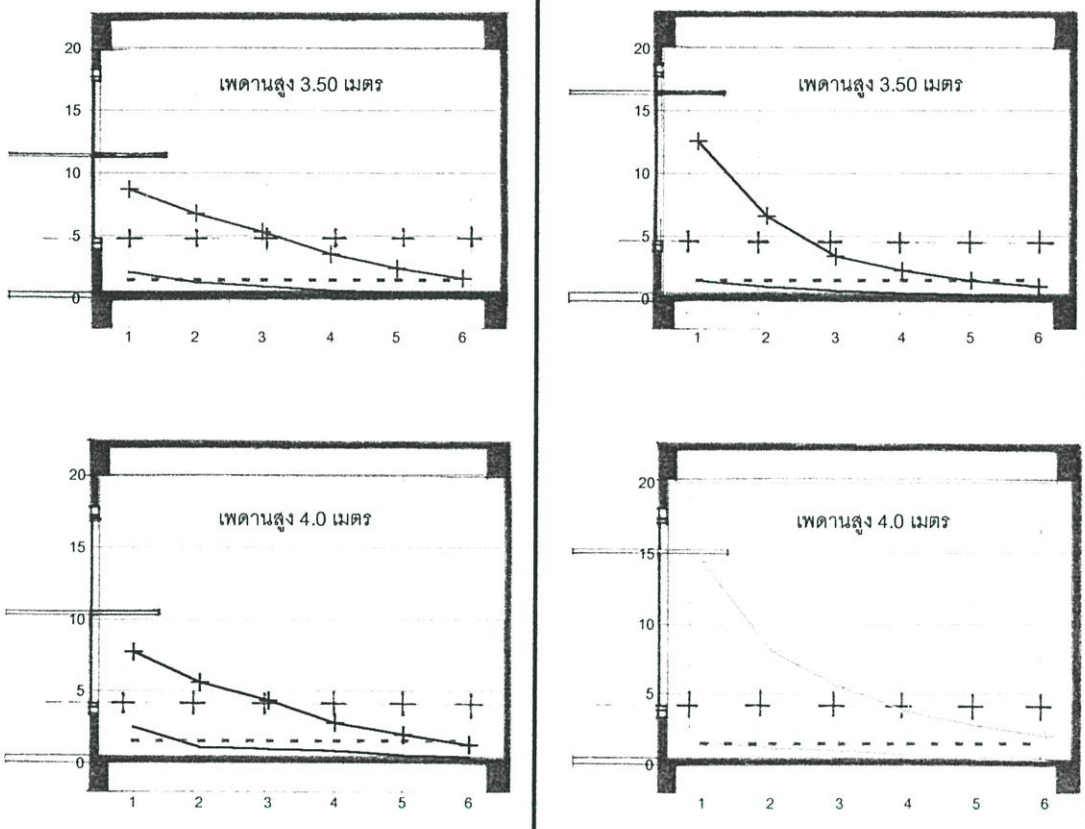


light-shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร				ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	light-shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร			
เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร			เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร	
ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)			ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)	
N	S	N	S		N	S	N	S
3.246	18.256	3.386	18.917	0.50	2.932	15.131	2.866	15.696
1.840	8.631	2.277	10.217	1.50	1.540	7.419	1.932	9.424
1.102	5.876	1.599	7.441	2.50	**0.941**	4.592	**1.319**	6.740
0.755	4.053	**1.100**	5.705	3.50	**0.625**	2.988	**0.957**	5.004
0.505	2.891	**0.790**	4.375	4.50	**0.423**	1.984	**0.706**	3.593
0.382	2.072	**0.602**	3.283	5.50	**0.320**	**1.396**	**0.543**	2.697
33.33%	100%	50%	100%	% ที่ใช้ได้	33.33%	83.33%	33.33%	100%

1. ..... ระดับความสว่างมาตราฐาน
2. _____ ทิศ N S บ่าย
3. ——+—— ทิศ S

ตารางที่ 6.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % ของ Light Shelf ที่ความสูงเพดานต่างๆ

1. light-shelf แบบผสม (combined light-shelf)



light-shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร				ระยะห่าง จากหน้าต่าง หน่วยเป็น (เมตร)	light-shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร			
เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร			เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร	
ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)			ค่า daylight factor (%)		ค่า daylight factor (%)	
N	S	N	S		N	S	N	S
2.087	8.761	2502	7.759	0.50	**1.391**	12.622	1.536	14.378
1.306	6.774	**1.123**	5.566	1.50	**0.980**	6.558	**1.183**	8.128
0.927	5.307	**0.996**	4.268	2.50	**0.696**	3.351	**1.007**	5.508
0.658	3.540	**0.784**	2.841	3.50	**0.462**	2.219	**0.687**	3.717
0.443	2.350	**0.592**	1.899	4.50	**0.326**	**1.463**	**0.481**	2.738
0.313	**1.299**	**0.459**	1.659	5.50	**0.238**	**1.019**	**0.337**	2.007
16.67%	**83.33%**	**16.67%**	**100%**	% ที่ใช้ได้	**0%**	**66.67%**	**16.67%**	**100%**

1. ..... ระดับความสว่างมาตราฐาน
2. _____ ทิศ N S บ่าย
3. ——+—— ทิศ S

ตารางที่ 6.18 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf แบบภายนอกที่ความสูงของเพดานต่าง ๆ กันในด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

1. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf เพดานสูง 3.50เมตร light-shelf สูงจากพื้น 2.00เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.382	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	193.41	215.79	266.64	280.62	239.36	243.26	233.21	235.24	231.68	194.67	195.35	187.60	226.40
10	259.11	297.85	310.87	335.24	271.03	310.99	286.77	301.51	288.79	260.49	244.86	255.37	285.24
11	285.66	323.82	338.53	368.32	313.28	326.84	316.33	319.05	308.12	275.77	296.62	301.25	314.47
12	309.46	351.71	353.04	385.44	303.23	299.95	319.54	312.13	327.91	289.06	294.52	311.94	321.49
13	265.34	330.51	326.92	399.95	268.97	270.95	314.69	284.06	317.56	258.81	255.02	298.04	299.23
14	231.64	286.88	296.36	350.75	246.16	247.38	285.55	238.75	266.52	224.69	231.80	253.27	263.31
15	162.24	218.01	238.02	286.61	200.36	192.49	211.70	182.02	198.53	168.92	157.96	181.14	199.83
16	97.07	123.92	158.11	169.04	151.27	129.31	148.25	123.35	124.26	101.23	90.88	98.59	126.27
2. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf เพดานสูง 4.00เมตร light-shelf สูงจากพื้น 2.00เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.602	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	304.79	340.07	420.20	442.23	377.21	383.35	367.52	370.71	365.11	306.78	307.86	295.64	356.79
10	408.34	469.38	489.91	528.32	427.12	490.09	451.92	475.16	455.11	410.50	385.88	402.44	449.51
11	450.18	510.32	533.49	580.45	493.70	515.07	498.52	502.79	485.57	434.58	467.45	474.74	495.57
12	487.68	554.26	556.37	607.42	477.87	472.69	503.57	491.89	516.76	455.53	464.14	491.59	506.65
13	418.15	520.85	515.19	630.29	423.87	427.00	495.93	447.65	500.44	407.86	401.90	469.68	471.57
14	365.05	452.10	467.03	552.76	387.93	389.86	450.00	376.25	420.02	354.10	365.29	399.13	414.96
15	255.67	343.56	375.11	451.68	315.75	303.35	333.63	286.85	312.86	266.20	248.93	285.47	314.92
16	152.97	195.29	249.17	266.39	238.39	203.78	233.64	194.39	195.83	159.53	143.22	155.38	199.00
3. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf เพดานสูง 3.50เมตร light-shelf สูงจากพื้น 3.00เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.320	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	162.02	180.77	223.36	235.07	200.51	203.78	195.36	197.06	194.08	163.07	163.65	157.15	189.66
10	217.06	249.50	260.42	280.83	227.04	260.51	240.22	252.58	241.92	218.21	205.12	213.92	238.94
11	239.30	271.26	283.58	308.54	262.43	273.79	264.99	267.26	258.11	231.01	248.48	252.35	263.43
12	259.23	294.62	295.74	322.88	254.02	251.26	267.68	261.47	274.69	242.14	246.72	261.31	269.31
13	222.27	276.86	273.86	335.04	225.31	226.98	263.62	237.95	266.02	216.80	213.63	249.66	250.67
14	194.05	240.32	248.26	293.82	206.21	207.23	239.20	200.00	223.26	188.22	194.18	212.16	220.58
15	135.90	182.62	199.39	240.10	167.84	161.25	177.34	152.48	166.30	141.50	132.32	151.74	167.40
16	81.31	103.81	132.45	141.60	126.72	108.32	124.19	103.33	104.10	84.80	76.13	82.59	105.78
4. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf เพดานสูง 4.00เมตร light-shelf สูงจากพื้น 3.00เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.543	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	274.92	306.74	379.01	398.89	340.24	345.78	331.50	334.38	329.33	276.71	277.69	266.67	321.82
10	368.32	423.38	441.89	476.54	385.26	442.06	407.63	428.59	410.51	370.27	348.06	363.00	405.46
11	406.06	460.30	481.21	523.56	445.31	464.59	449.66	453.51	437.98	391.99	421.64	428.21	447.00
12	439.88	499.94	501.84	547.89	431.03	426.36	454.22	443.69	466.11	410.89	418.65	443.41	456.99
13	377.17	469.80	464.70	568.52	382.33	385.15	447.32	403.77	451.40	367.88	362.51	423.65	425.35
14	329.28	407.79	421.26	498.58	349.91	351.65	405.89	339.38	378.85	319.39	329.49	360.01	374.29
15	230.61	309.89	338.34	407.41	284.80	273.62	300.93	258.74	282.20	240.11	224.53	257.49	284.06
16	137.98	176.15	224.75	240.28	215.03	183.81	210.74	175.33	176.64	143.90	129.18	140.15	179.49

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.19 ตารางแสดงค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ Light Shelf แบบผสมที่ความสูงของเพดานต่างๆ กันในด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับค่าความสว่างภายนอกของ AIT

1. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม เพดานสูง 3.50เมตร light-shelf สูง 2.00													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.313	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	158.47	176.81	218.47	229.93	196.13	199.32	191.09	192.75	189.83	159.50	160.07	153.71	185.51
10	212.31	244.05	254.72	274.69	222.07	254.81	234.97	247.05	236.63	213.43	200.63	209.24	233.72
11	234.06	265.33	277.38	301.79	256.69	267.80	259.20	261.42	252.47	225.95	243.04	246.83	257.66
12	253.56	288.18	289.27	315.82	248.46	245.77	261.82	255.75	268.68	236.85	241.32	255.60	263.42
13	217.41	270.81	267.87	327.71	220.38	222.01	257.85	232.75	260.20	212.06	208.96	244.20	245.18
14	189.80	235.06	242.83	287.40	201.70	202.70	233.97	195.63	218.38	184.11	189.93	207.52	215.75
15	132.93	178.63	195.03	234.84	164.17	157.72	173.46	149.14	162.67	138.41	129.43	148.42	163.74
16	79.53	101.54	129.55	138.50	123.95	105.95	121.48	101.07	101.82	82.95	74.46	80.79	103.46
2. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม เพดานสูง 4.00เมตร light-shelf สูง 2.00เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.459	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	232.39	259.29	320.38	337.18	287.61	292.29	280.22	282.65	278.38	233.91	234.73	225.41	272.04
10	311.34	357.88	373.53	402.82	325.66	373.67	344.57	362.29	347.00	312.99	294.22	306.84	342.74
11	343.24	389.09	406.77	442.57	376.43	392.72	380.10	383.36	370.23	331.35	356.41	361.97	377.85
12	371.84	422.60	424.21	463.13	364.35	360.41	383.95	375.05	394.01	347.33	353.89	374.82	386.30
13	318.82	397.13	392.81	480.57	323.18	325.57	378.12	341.31	381.57	310.97	306.43	358.11	359.55
14	278.34	344.71	356.09	421.45	295.78	297.25	343.10	286.88	320.24	269.98	278.52	304.32	316.39
15	194.94	261.95	286.00	344.39	240.75	231.29	254.38	218.71	238.54	202.97	189.80	217.66	240.11
16	116.63	148.90	189.98	203.11	181.76	155.37	178.14	148.21	149.31	121.64	109.20	118.47	151.73
3. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelf แบบผสม เพดานสูง 3.50เมตร light-shelf สูง 3.00เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.238	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	120.50	134.45	166.12	174.83	149.13	151.56	145.30	146.56	144.35	121.28	121.71	116.88	141.06
10	161.44	185.57	193.68	208.87	168.86	193.76	178.67	187.85	179.93	162.29	152.56	159.10	177.71
11	177.98	201.75	210.92	229.48	195.18	203.63	197.09	198.78	191.97	171.81	184.81	187.69	195.92
12	192.80	219.13	219.96	240.14	188.92	186.88	199.09	194.47	204.30	180.09	183.50	194.35	200.30
13	165.31	205.92	203.68	249.19	167.58	168.81	196.06	176.98	197.85	161.25	158.89	185.69	186.43
14	144.32	178.74	184.64	218.53	153.37	154.13	177.91	148.75	166.05	139.99	144.42	157.79	164.05
15	101.08	135.83	148.30	178.57	124.83	119.93	131.90	113.41	123.69	105.24	98.41	112.86	124.50
16	60.48	77.21	98.51	105.32	94.25	80.56	92.37	76.85	77.42	63.07	56.62	61.43	78.67
4. ค่าความสว่างแถวสุดท้ายของ light-shelfแบบผสม เพดานสูง 4.00เมตร light-shelf สูง 3.00เมตร													
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
DF 0.337	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
9	170.62	190.37	235.23	247.56	211.16	214.60	205.74	207.52	204.39	171.74	172.34	165.50	199.73
10	228.59	262.76	274.25	295.75	239.10	274.35	252.99	265.99	254.77	229.80	216.02	225.28	251.64
11	252.01	285.67	298.65	324.94	276.37	288.34	279.07	281.46	271.82	243.28	261.68	265.76	277.42
12	273.00	310.28	311.46	340.03	267.51	264.61	281.90	275.36	289.28	255.01	259.83	275.19	283.62
13	234.08	291.57	288.40	352.84	237.28	239.03	277.62	250.59	280.15	228.32	224.98	262.93	263.98
14	204.36	253.09	261.44	309.43	217.16	218.24	251.91	210.63	235.12	198.22	204.49	223.43	232.29
15	143.12	192.33	209.98	252.85	176.76	169.81	186.77	160.58	175.14	149.02	139.35	159.81	176.29
16	85.63	109.32	139.48	149.12	133.45	114.07	130.79	108.82	109.63	89.31	80.17	86.98	111.40

ค่าความสว่างที่ มากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตราฐาน ค่าความสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความสว่างเฉลี่ยน้อยที่สุด

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % เพื่อหาความสูงของเพดาน และความสูงของ Light Shelf พบว่า

ตารางที่ 6.20 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light Shelf แบบภายนอกที่ความสูงของเพดานและระดับ Light Shelf ต่างๆกัน

	1. Light Shelf ภาย นอกอาคาร				2. Light Shelf ภาย นอกอาคาร			
	Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร				Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร			
	เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร		เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร	
	N	S	N	S	N	S	N	S
บริเวณที่ค่าสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	0.50-1.50	0.50-5.50	0.50-2.50	0.50-5.50	0.50-1.50	0.50-4.50	0.50-1.50	0.50-5.50
บริเวณที่ค่าต่ำกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	2.50-5.50	_	3.50-5.50	_	2.50-5.50	5.50	2.50-5.50	_
พื้นที่ที่ใช้งานได้เป็น% ของพื้นที่ทั้งหมด	33.33%	100%	50%	100%	33.33%	83.33%	33.33%	100%
ความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร (Lux)	126.27-321.49	684.92-1743.81	199-506.65	1085.22-2763	105.78-269.31	461.46-1174.89	179.49-456.99	891.52-2269.82
ระดับความสว่างที่ใช้งานได้	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300
% ที่ใช้งานได้ใน 1ปี ในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร	29.17%	100%	81.25%	100%	3.13%	100%	75%	100%

ตารางที่ 6.21 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light Shelf แบบผสมที่ความสูงของเพดานและระดับ Light Shelf ต่างๆกัน

	3. Light Shelf แบบผสม				4. Light Shelf แบบผสม			
	Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร				Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร			
	เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร		เพดานสูง 3.50 เมตร		เพดานสูง 4.00 เมตร	
	N	S	N	S	N	S	N	S
บริเวณที่ค่าสูงกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	0.50	0.50-4.50	0.50	0.50-5.50	_	0.50-3.50	0.50	0.50-5.50
บริเวณที่ค่าต่ำกว่าเกณฑ์ ห่างจากหน้าต่างเป็นระยะ (เมตร)	1.50-5.50	5.50	1.50-5.50	_	0.50-5.50	4.50-5.50	1.50-5.50	_
พื้นที่ที่ใช้งานได้เป็น% ของพื้นที่ทั้งหมด	16.67%	83.33%	16.67%	100%	0%	66.67%	16.67%	100%
ความสว่างในระยะห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร (Lux)	103.46-263.42	429.4-1093.25	151.73-386.30	548.40-1396.23	78.67-200.30	689.88-1756.44	111.40-283.62	827.06-2105.70
ระดับความสว่างที่ใช้งานได้	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300
% ที่ใช้งานได้ใน 1ปี ในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร	3.13%	100%	58.33%	100%	0%	100%	6.25%	100%

1. เมื่อพิจารณาค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % พบว่าหุ่นจำลองที่ใช้ Light Shelf แบบภายนอกเมื่อเพิ่มความสูงของเพดานเป็น 4.00 เมตร และ Light Shelf อยู่ในระดับที่สูงจากพื้น 2.00 เมตรจะช่วยเพิ่มระดับความสว่างภายในและค่า Daylight Factor ได้มากที่สุด

2. ระยะที่มีค่าระดับความสว่าง และค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐานของ Light Shelf ที่ความสูงของเพดานและระดับ Light Shelf ต่าง ๆ กัน

2.1 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 0.50 – 1.50 เมตร ทิศใต้ 0.50 – 5.50 เมตร

2.2 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 0.50 – 2.50 เมตร ทิศใต้ 0.50 – 5.50 เมตร

2.3 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 0.50 – 1.50 เมตร ทิศใต้ 0.50 – 4.50 เมตร

2.4 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 0.50 – 1.50 เมตร ทิศใต้ 0.50 – 5.50 เมตร

2.5 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 0.50 เมตร ทิศใต้ 0.50 – 4.50 เมตร

2.6 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 0.50 เมตร ทิศใต้ 0.50 – 5.50 เมตร

2.7 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ ไม่มีบริเวณที่ค่าความสว่างถึงเกณฑ์ ทิศใต้ 0.50 – 3.50 เมตร

2.8 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 0.50 เมตร ทิศใต้ 0.50 – 5.50 เมตร

3. ค่าความสว่างในระยะที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.50 เมตร ของ Light Shelf ที่ความสูงของเพดานและระดับ Light Shelf ต่าง ๆ กัน

3.1 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 126.27 – 321.49 Lux ทิศใต้ 684.92 – 1743.81 Lux

3.2 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 199 – 506.65 Lux ทิศใต้ 1085.22 – 2763 Lux

3.3 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 105.78 – 506.65 Lux ทิศใต้ 461.46 – 1174.49 Lux

3.4 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 179.49 – 456.99 Lux ทิศใต้ 891.52 – 2269.82 Lux

3.5 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 103.46 – 263.42 Lux ทิศใต้ 429.4 – 1093.25 Lux

3.6 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 151.73 – 386.30 Lux ทิศใต้ 548.40 – 1396.23 Lux

3.7 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 78.67 – 200.30 Lux ทิศใต้ 689.88 – 1756.44 Lux

3.8 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 111.40 – 283.62 Lux ทิศใต้ 827.06 – 2105.70 Lux

4. Light Shelf แบบภายนอกอาคาร มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานได้ใน 1 ปีในระยะที่ห่างจากช่องเปิดมากที่สุด 5.50 เมตร มากที่สุด จากเกณฑ์ความสว่าง 300 Lux ในตารางที่ 6.15

4.1 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 29.17 % ทิศใต้ 100 %

4.2 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 81.25 % ทิศใต้ 100 %

4.3 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 3.13 % ทิศใต้ 100 %

4.4 Light Shelf แบบภายนอกเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 75 % ทิศใต้ 100 %

4.5 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 3.13 % ทิศใต้ 100 %

4.6 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร

ทิศเหนือ 58.33 % ทิศใต้ 100 %

4.7 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 3.50 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 0 % ทิศใต้ 100 %

4.8 Light Shelf แบบผสมเพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf สูงจากพื้น 3.00 เมตร

ทิศเหนือ 6.25 % ทิศใต้ 100 %

5. จากผลการทดลองพบว่า

Light Shelf แบบภายนอกอาคาร เมื่อเพิ่มความสูงของเพดานเป็น 4.00 เมตรทำให้แสงเข้าไปได้ลึกมากกว่าเดิมที่ 3.00 เมตร เป็นผลให้ระดับความสว่างภายในเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปลี่ยนระดับ Light Shelf ให้สูงขึ้น จาก 2.00 เมตร เป็น 3.00 เมตร ทำให้ระดับความสว่างภายในลดลง

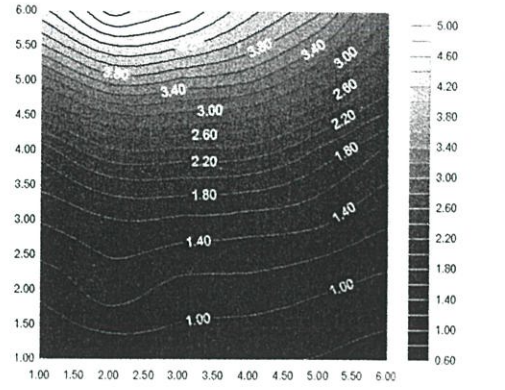
Light Shelf แบบผสม ในด้านทิศเหนือ เมื่อเพิ่มความสูงของเพดานเป็น 4.00 เมตรทำให้แสงเข้าไปได้ลึกมากกว่าเดิมที่ 3.00 เมตร เป็นผลให้ระดับความสว่างภายในเพิ่มขึ้น ในด้านทิศใต้ก็เช่นเดียวกัน แต่ด้านทิศใต้ค่าความสว่างกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนระดับของ Light Shelf ให้สูงขึ้นจาก 2.00 เมตร เป็น 3.00 เมตร สันนิษฐานว่าน่าจะเป็นอิทธิพลจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงที่โคจรอ้อมใต้

3. ด้านทิศใต้เมื่อใช้ Light Shelf แบบผสม ค่า Daylight Factor ที่สูงเกินมาตราฐานและมากเกินไปในระยะห่างจากหน้าต่าง 0.5-1.5 เมตรมีค่าลดลง ทำให้ Light Shelf แบบผสม เพดานสูง 4.00 เมตร Light Shelf อยู่สูงจากพื้นมีความเหมาะสมที่จะใช้ในด้านทิศใต้

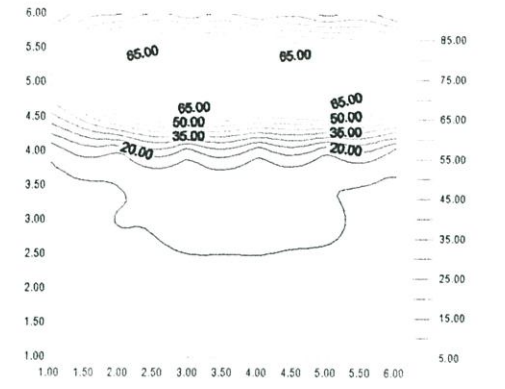
6.3.3 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของชุดการทดลองที่ 4.3.1

จุดประสงค์ : เพื่อหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม

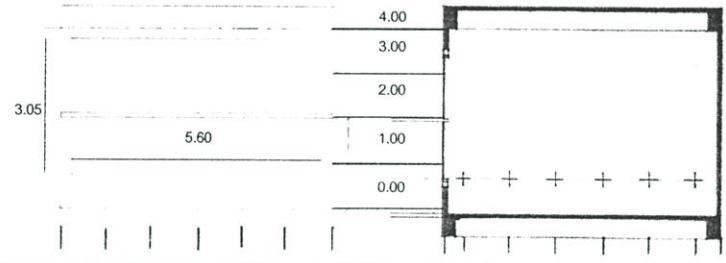
ตารางที่ 6.22 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 5.6 x 3.05 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



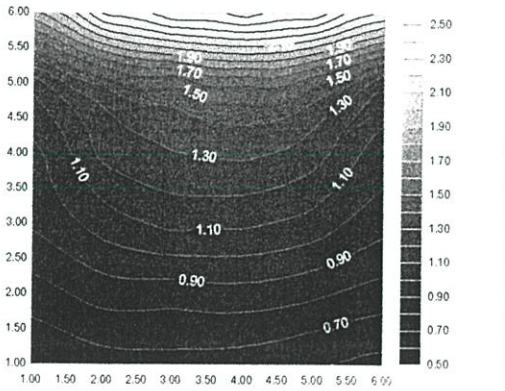
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 5.6 x 3.05 หันไปทางทิศเหนือ



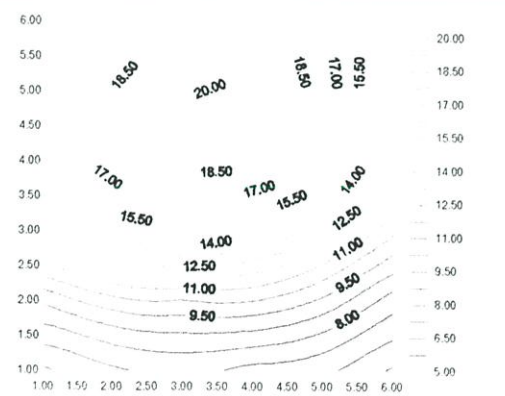
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 5.6 x 3.05 หันไปทางทิศใต้



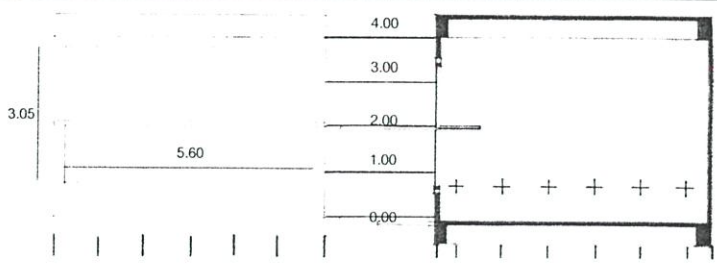
58.33%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%



Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 5.6 x 3.05 หันไปทางทิศเหนือ

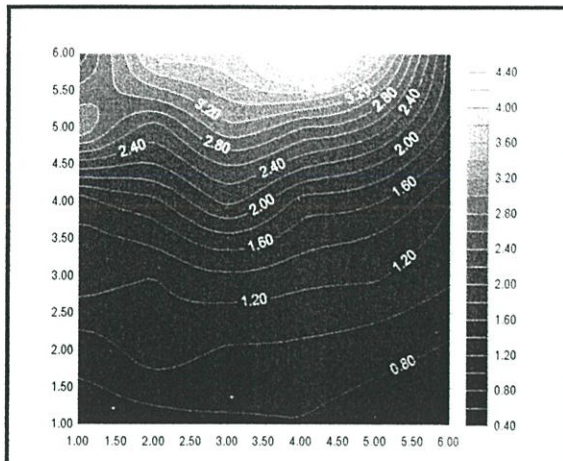


Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 5.6 x 3.05 หันไปทางทิศเหนือ

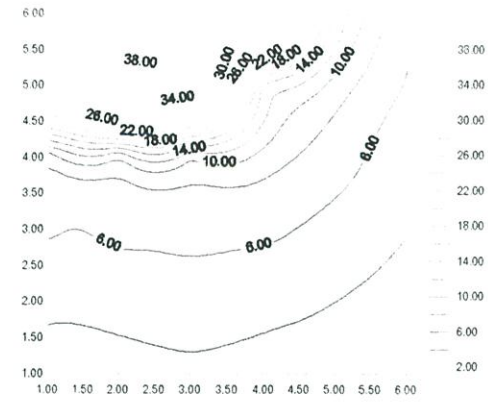


22.22%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%

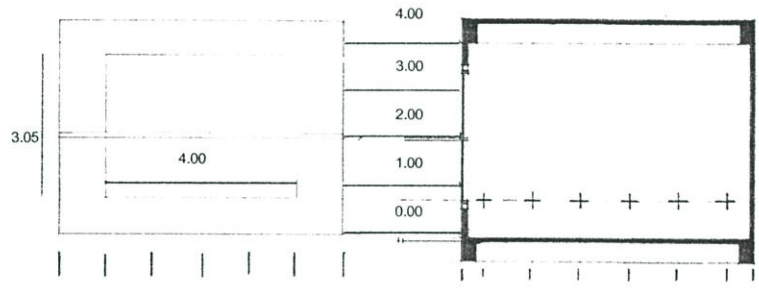
ตารางที่ 6.23 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 4 x 3.05 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



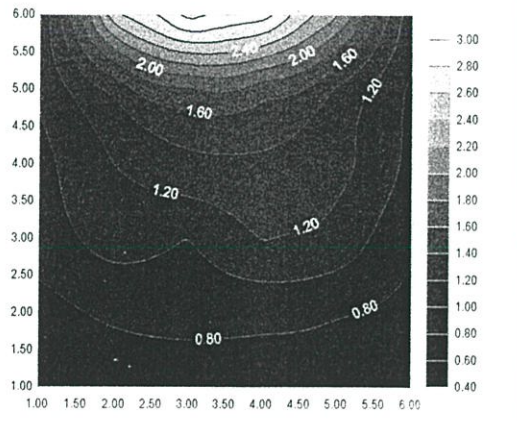
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 4.0 x 3.05 หันไปทางทิศเหนือ



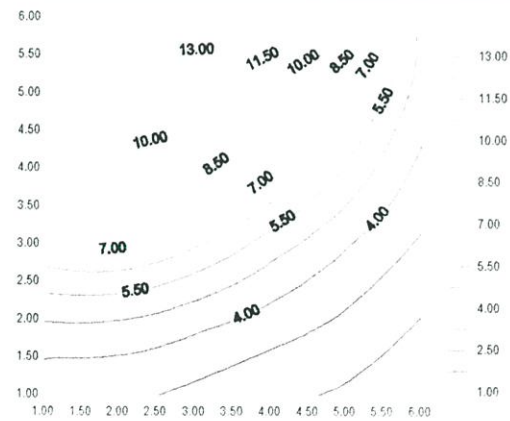
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 4.0 x 3.05 หันไปทางทิศใต้



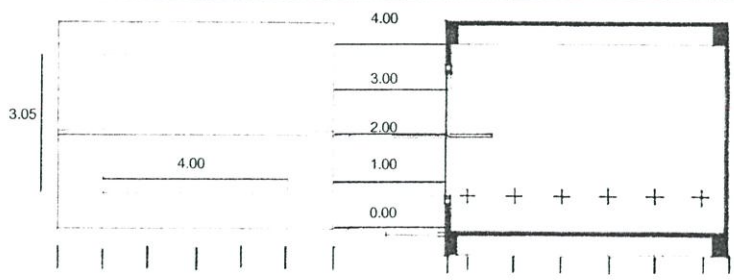
50%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%



Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 4.0 x 3.05 หันไปทางทิศเหนือ

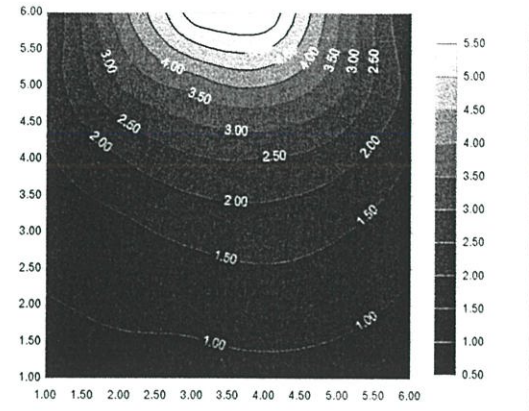


Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 4.0 x 3.05 หันไปทางทิศใต้

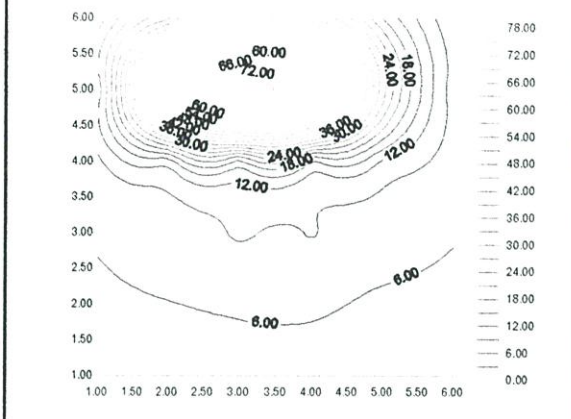


16.67%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%

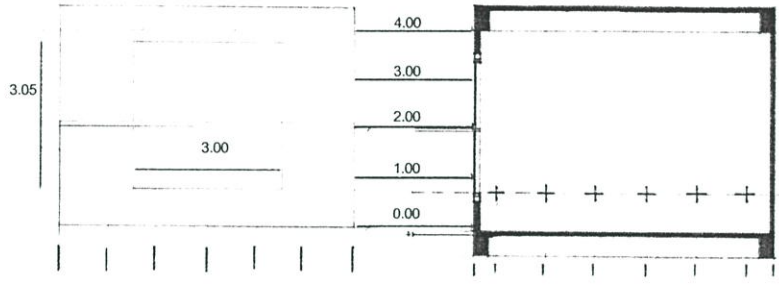
ตารางที่ 6.24 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 3x 3.05 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



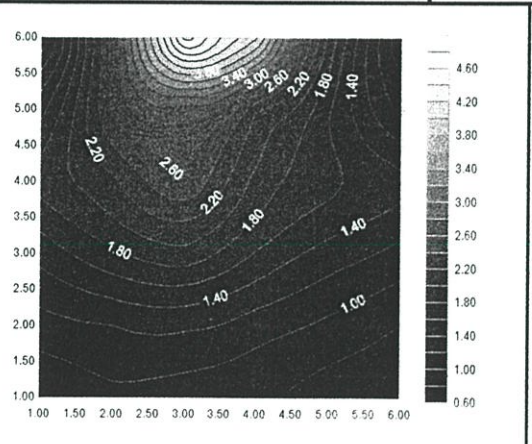
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 3.0 x 3.05 หันไปทางทิศเหนือ



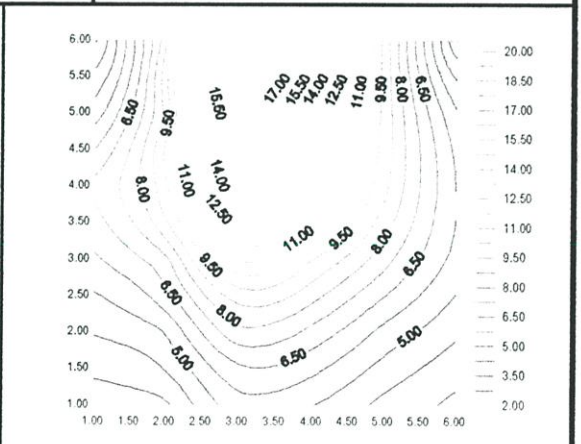
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 3.0 x 3.05 หันไปทางทิศใต้



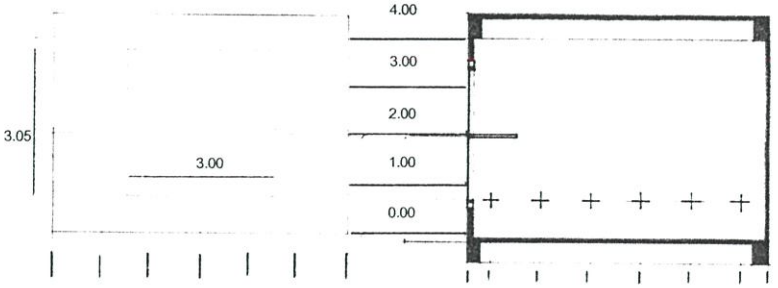
50%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%



Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 3.0 x 3.05 หันไปทางทิศเหนือ

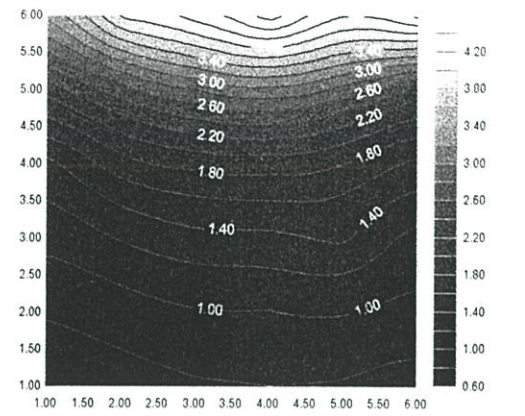


Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 3.0 x 3.05 หันไปทางทิศใต้

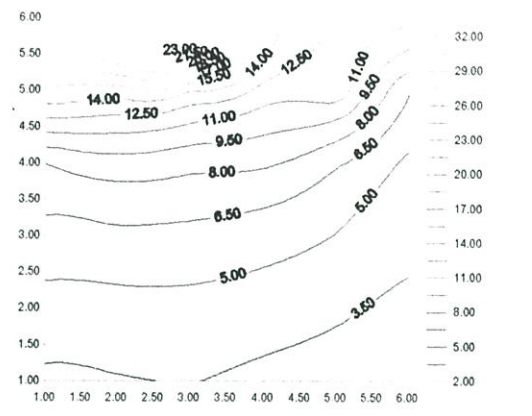


50%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%

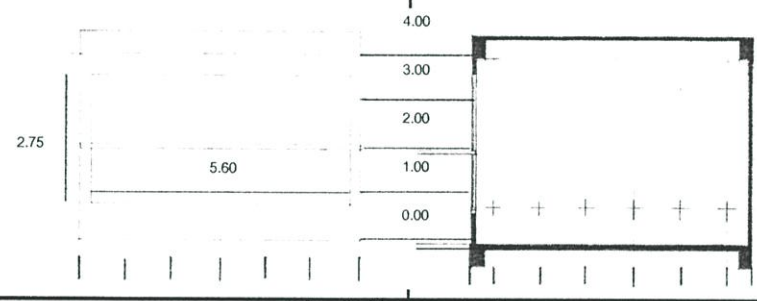
ตารางที่ 6.25 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 5.6 x 2.75 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



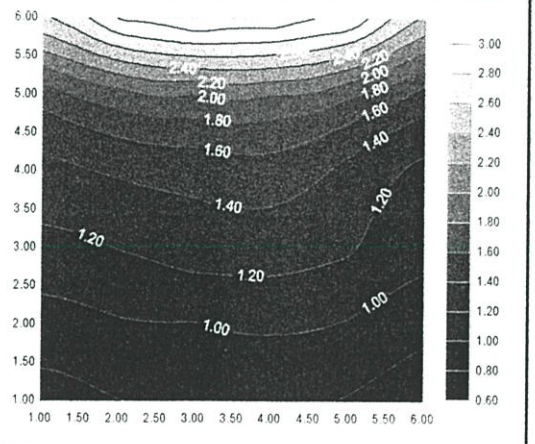
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.75 หันไปทางทิศเหนือ



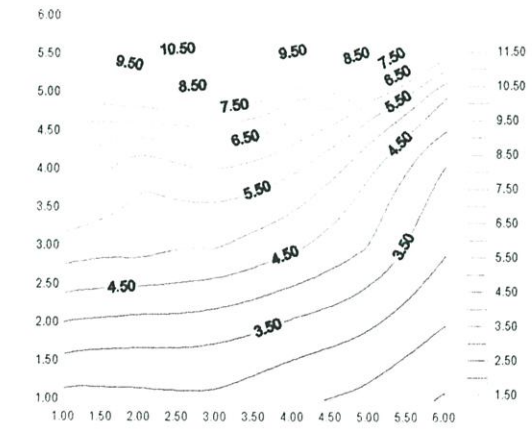
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.75 หันไปทางทิศใต้



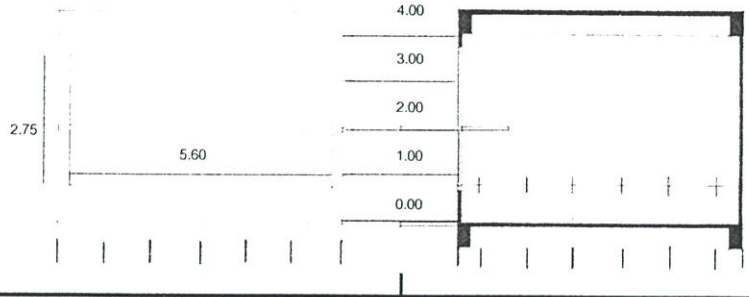
47.22%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%



Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.75 หันไปทางทิศเหนือ

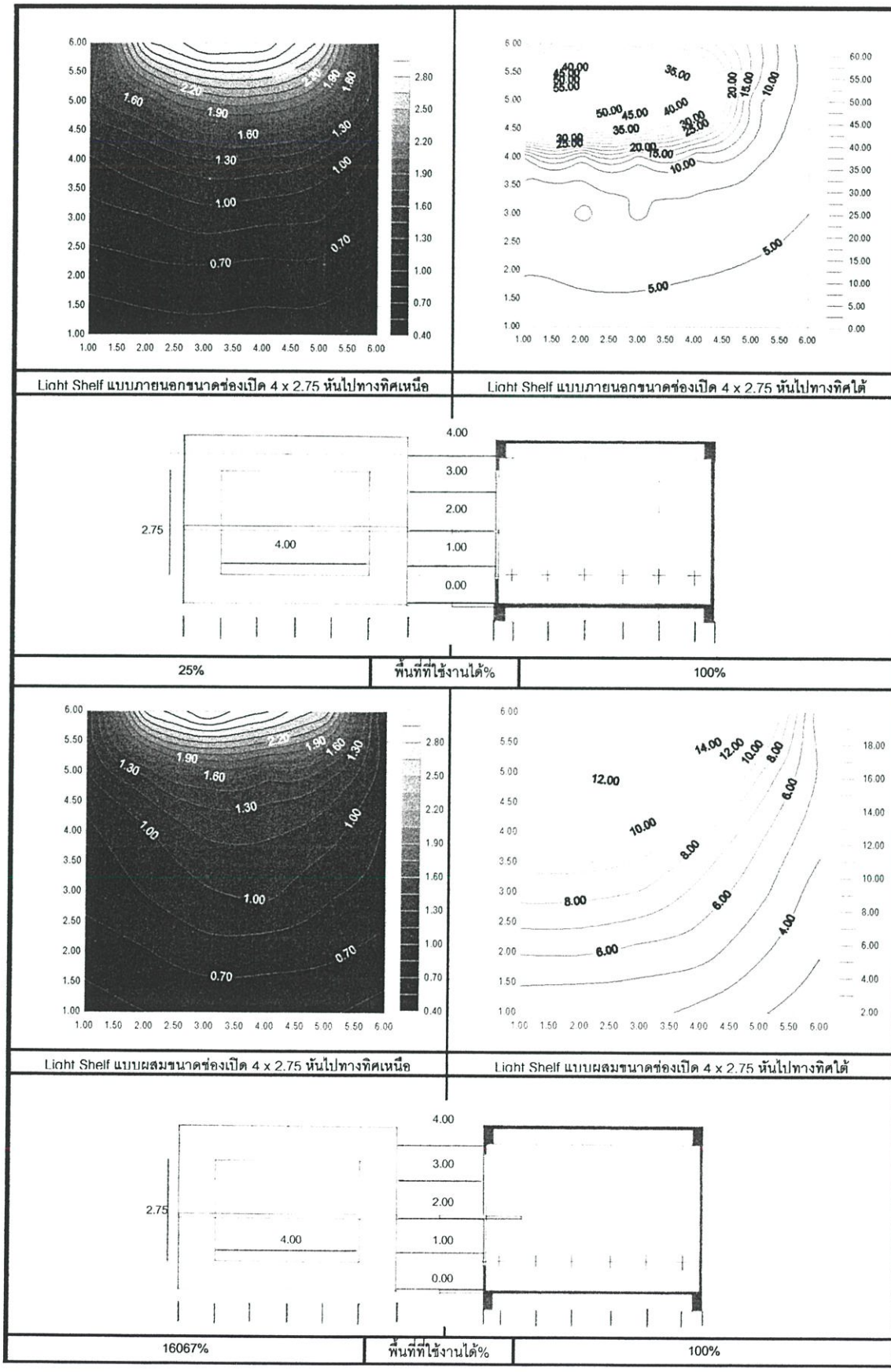


Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.75 หันไปทางทิศใหม่

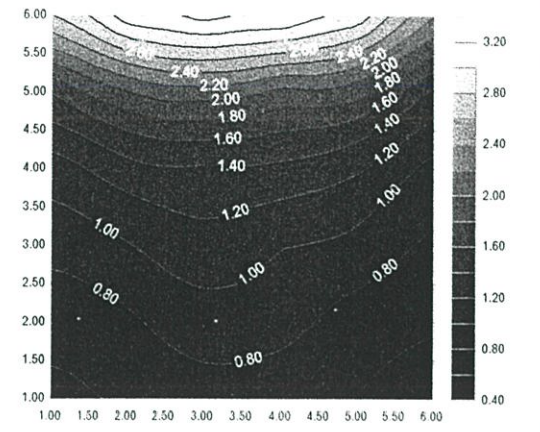


36.11%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%

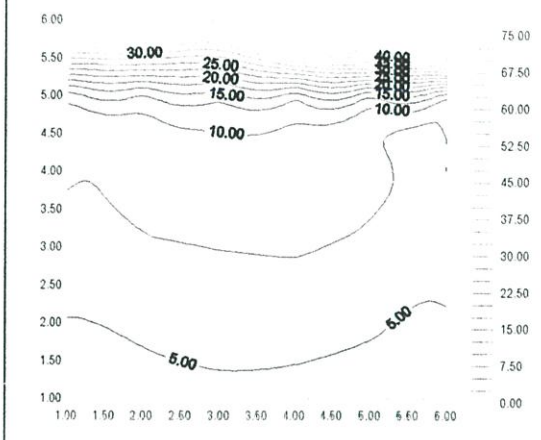
ตารางที่ 6.26 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 4 x 2.75 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



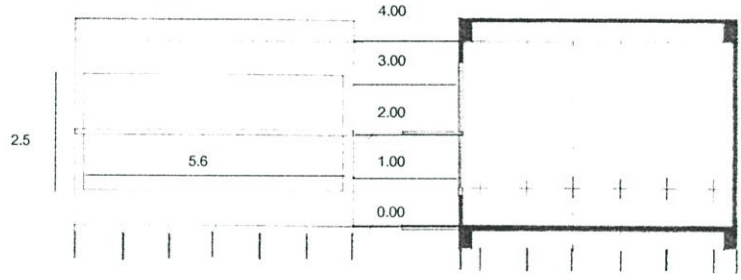
ตารางที่ 6.27 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 5.6 x 2.5 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



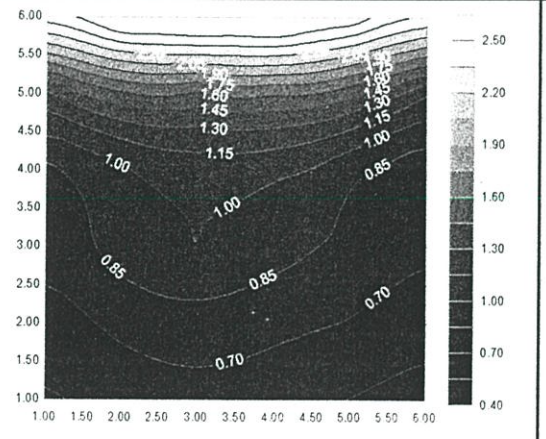
Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.5 หันไปทางทิศเหนือ



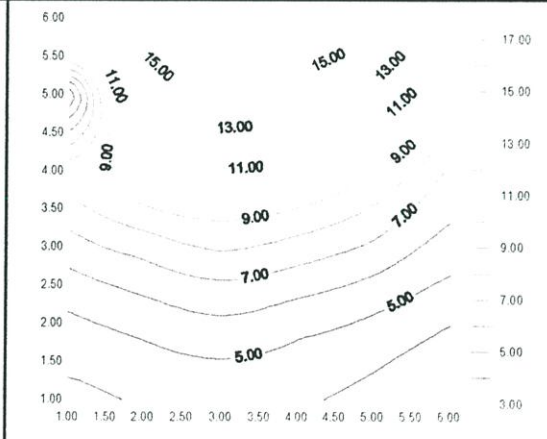
Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.5 หันไปทางทิศใต้



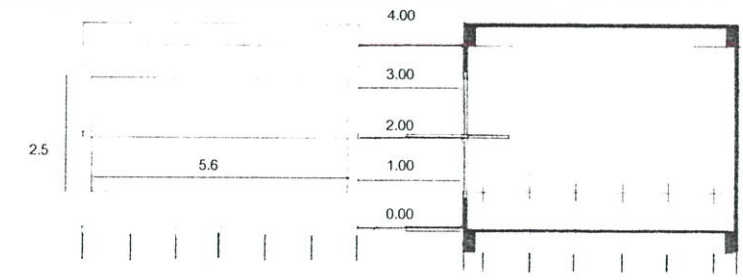
30.56%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%



Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.5 หันไปทางทิศเหนือ

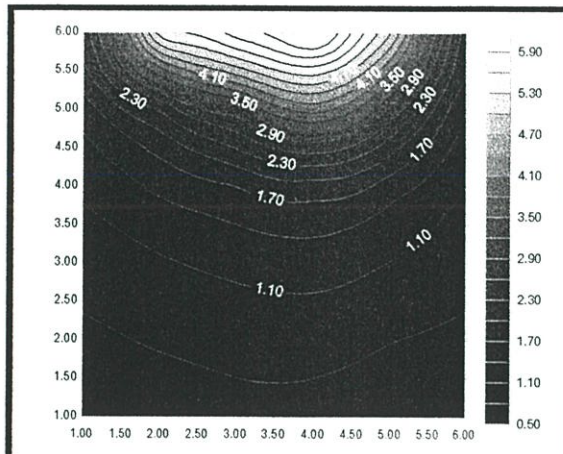


Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 5.6 x 2.5 หันไปทางทิศใต้

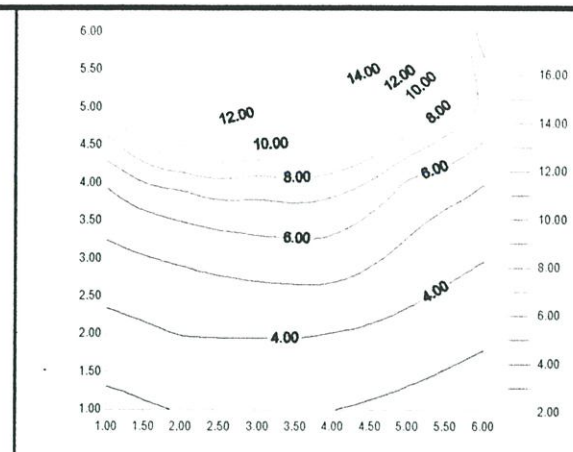


25%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%

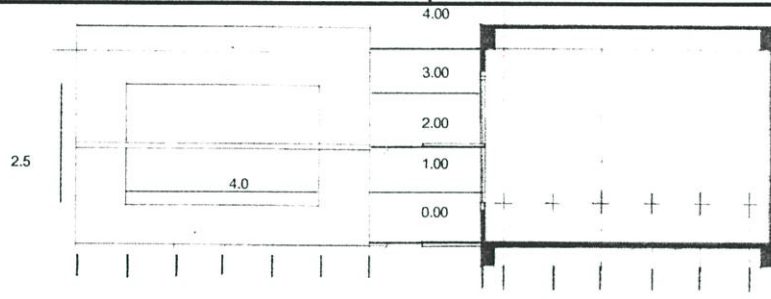
ตารางที่ 6.28 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 4 x 2.5 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



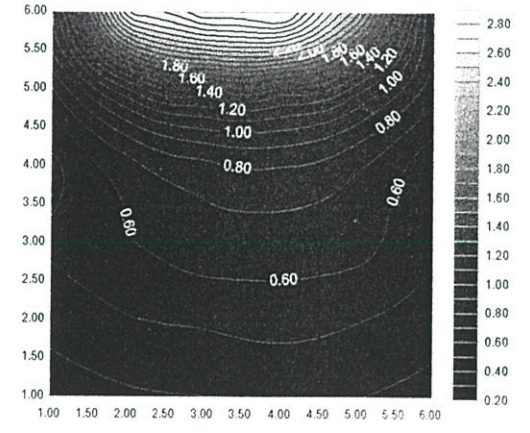
Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4 x 2.5 หันไปทางทิศเหนือ



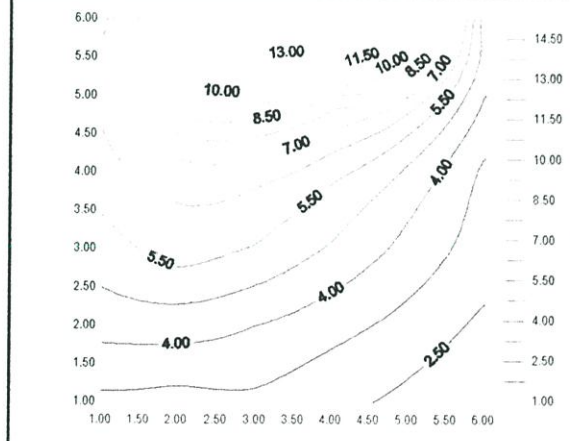
Light Shelf แบบภายนอก ขนาดช่องเปิด 4 x 2.5 หันไปทางทิศเหนือ



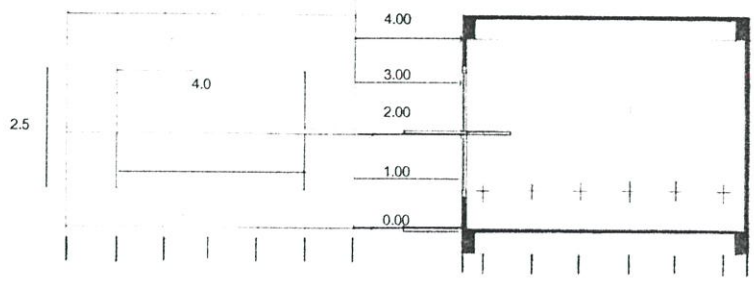
22.22%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%



Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4 x 2.5 หันไปทางทิศเหนือ

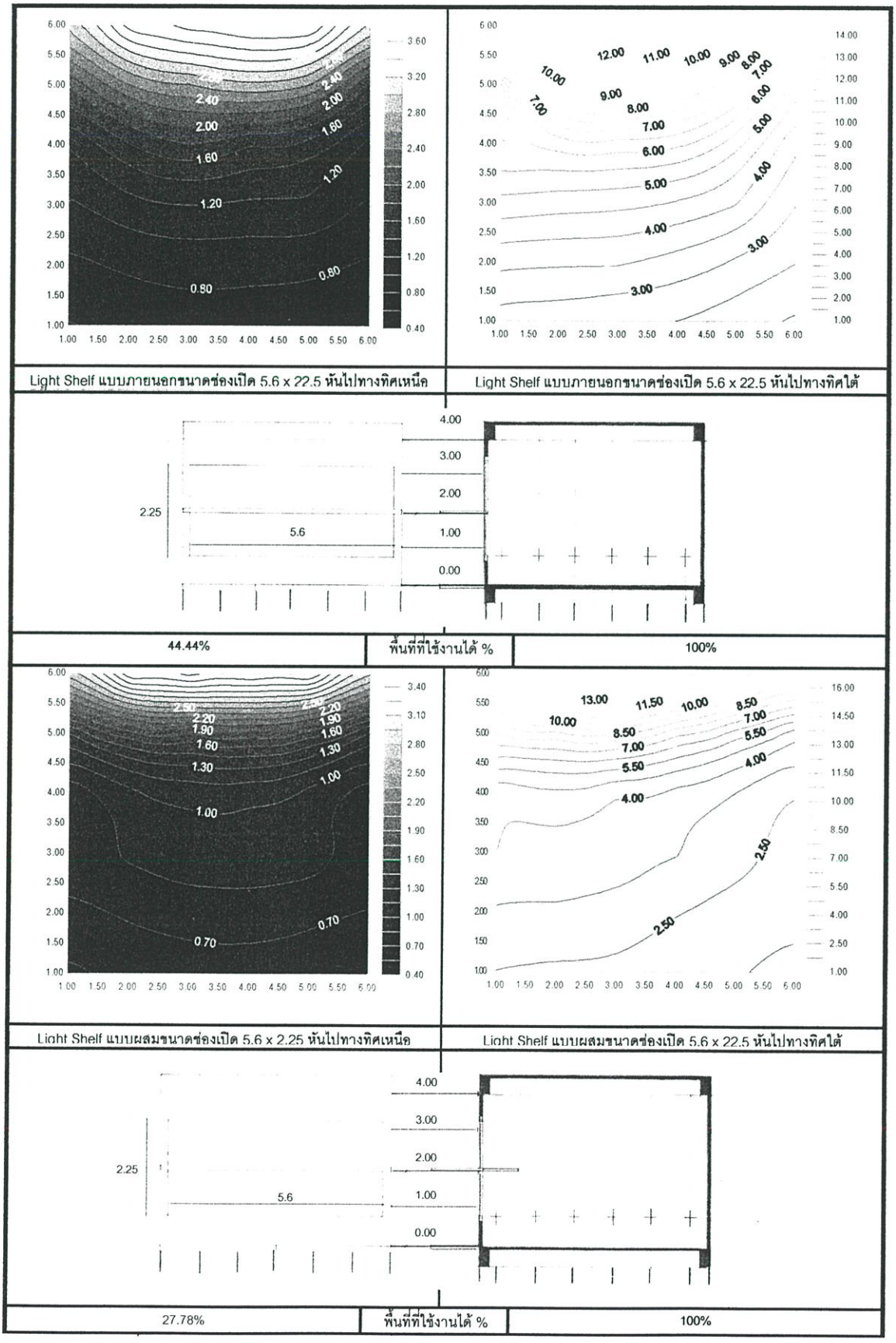


Light Shelf แบบผสม ขนาดช่องเปิด 4 x 2.5 หันไปทางทิศใต้

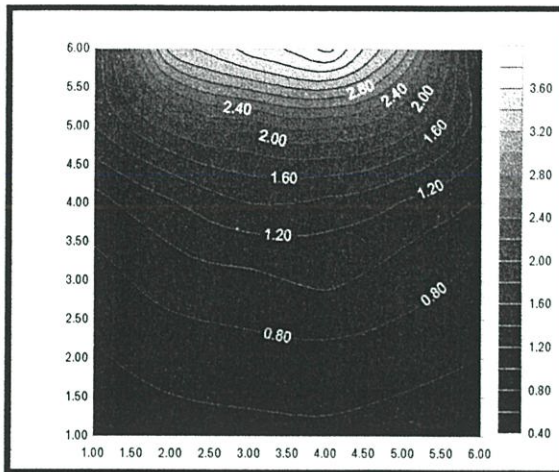


11.11%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	97.22%

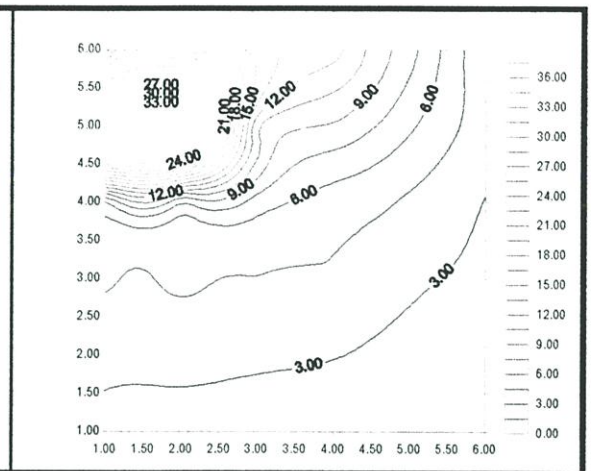
ตารางที่ 6.29 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 5.6 x 2.25 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



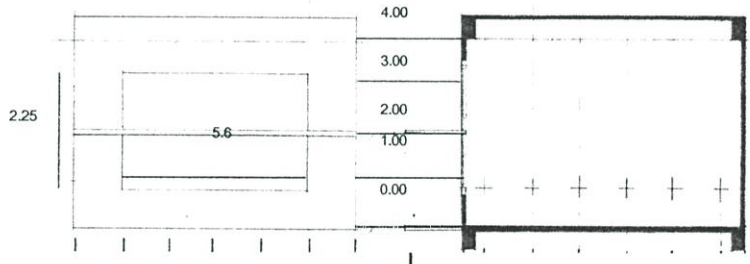
ตารางที่ 6.30 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดขนาด 4 x 2.25 เมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม



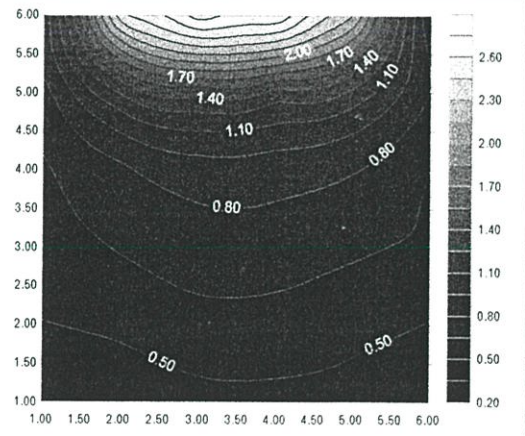
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 4 x 2.25 หันไปทางทิศเหนือ



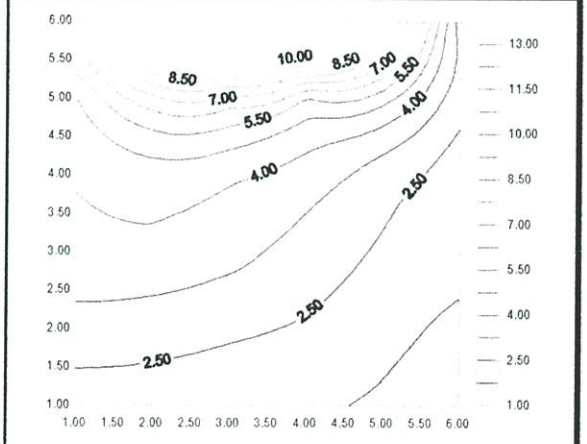
Light Shelf แบบภายนอกขนาดช่องเปิด 4 x 2.25 หันไปทางทิศใต้



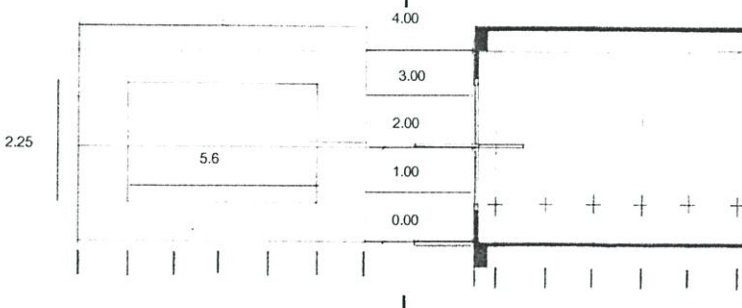
38.89%	พื้นที่ที่ใช้งานได้ %	100%



Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 4 x 22.5 หันไปทางทิศเหนือ



Light Shelf แบบผสมขนาดช่องเปิด 4 x 2.25 หันไปทางทิศใต้



11.11%	พื้นที่ที่ใช้งานได้ %	100%

จากตารางแสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 1.5 % เพื่อหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมพบว่า

1. เมื่อเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดโดยวิธีเพิ่มความกว้างของหน้าต่างพบว่ามีผลน้อยต่อการเพิ่มระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความกว้างของช่องเปิดมีผลน้อยต่อการเพิ่มระดับความสว่าง

1.1 ที่ความสูง 3.05 เมตร ช่องเปิดในด้านทิศเหนือใช้ Light Shelf แบบภายนอกพบว่า

- ช่องเปิดความกว้าง 5.6 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 58.33% ของทั้งหมด

- ช่องเปิดความกว้าง 4.0 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 50% ของทั้งหมด

- ช่องเปิดความกว้าง 3.0 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 50% ของทั้งหมด

ในด้านทิศใต้ช่องเปิดความสูง 3.05 เมตร กว้าง 5.6,4.0 และ 3.0 เมตร สามารถใช้งานเต็มพื้นที่

1.2 ที่ความสูง 2.75 เมตร ช่องเปิดในด้านทิศเหนือใช้ Light Shelf แบบภายนอกพบว่า

- ช่องเปิดความกว้าง 5.6 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 47.22% ของทั้งหมด

- ช่องเปิดความกว้าง 4.0 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 25% ของทั้งหมด

ในด้านทิศใต้ช่องเปิดความสูง 3.05 เมตร กว้าง 5.6,4.0 และ 3.0 เมตร สามารถใช้งานเต็มพื้นที่

1.3 ที่ความสูง 2.50 เมตร เปิดในด้านทิศเหนือใช้ Light Shelf แบบภายนอกพบว่า

- ช่องเปิดความกว้าง 5.6 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 44.44% ของทั้งหมด

- ช่องเปิดความกว้าง 4.0 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 38.89% ของทั้งหมด

ในด้านทิศใต้ช่องเปิดความสูง 3.05 เมตร กว้าง 5.6,4.0 และ 3.0 เมตร สามารถใช้งานเต็มพื้นที่

1.4 ที่ความสูง 2.25 เมตร เปิดในด้านทิศเหนือใช้ Light Shelf แบบภายนอกพบว่า

- ช่องเปิดความกว้าง 5.6 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 30.56% ของทั้งหมด

- ช่องเปิดความกว้าง 4.0 เมตร มีระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ถึงเกณฑ์มาตราฐาน คิดเป็น 22.22% ของทั้งหมด

ในด้านทิศใต้ช่องเปิดความสูง 3.05 เมตร กว้าง 5.6,4.0 และ 3.0 เมตร สามารถใช้งานเต็มพื้นที่

2. เมื่อลดความสูงของหน้าต่างลงจาก 3.05 เมตร เป็น 2.75,2.50 และ 2.25 เมตร ทำให้ระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ลดลง จาก 58.33% ไปถึง 30.56% เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของหน้าต่างเท่ากันเท่ากัน ดังนั้นสรุปได้ว่าความสูงของหน้าต่างมีอิทธิพลต่อระดับความสว่างและค่า Daylight Factor มากกว่าความกว้าง

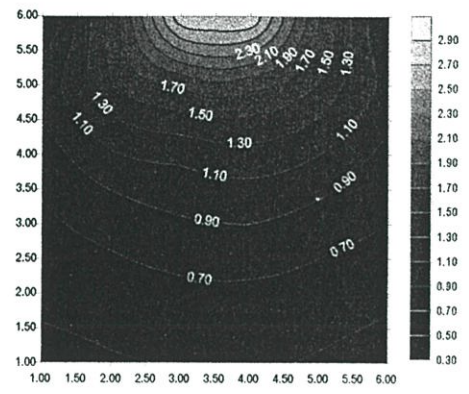
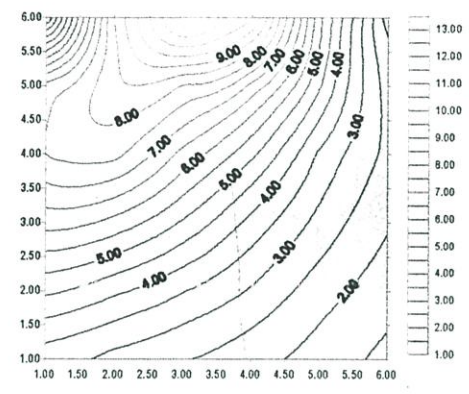
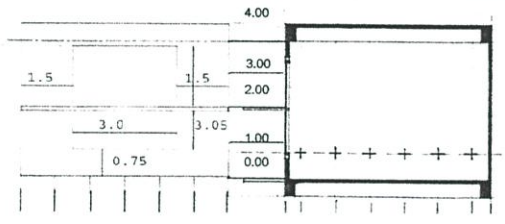
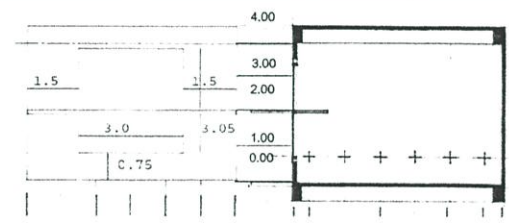
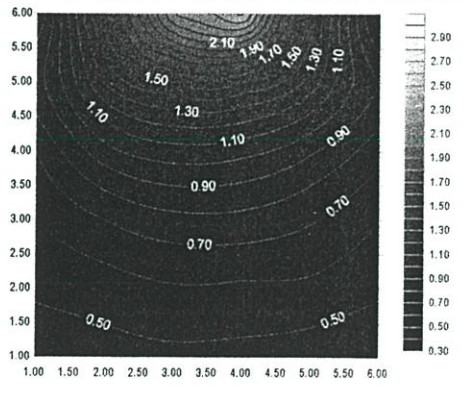
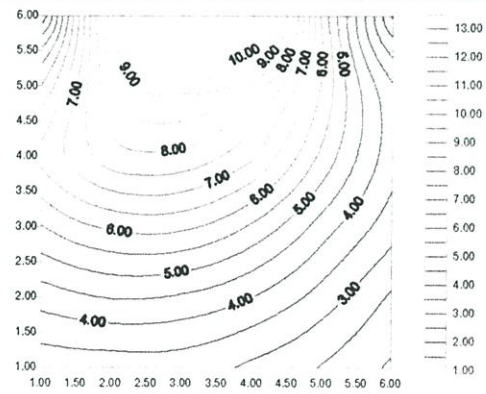
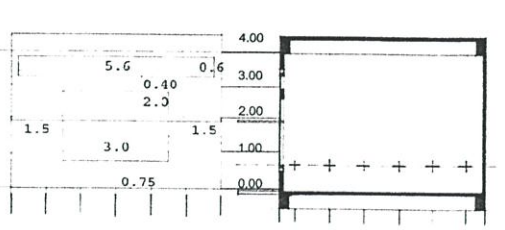
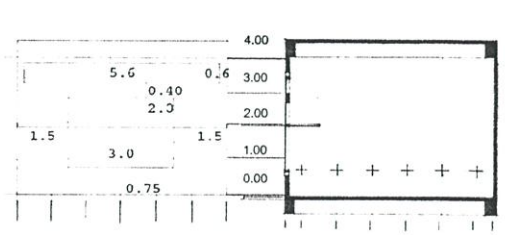
3. ที่ความสูงของช่องเปิด 3.05 เมตร พบว่าหน้าต่างความกว้าง 5.6 เมตร 4.0 เมตร และ 3.0 เมตร มีค่าระดับความสว่างและค่า Daylight Factor ไม่แตกต่างกันมาก ประมาณ 8.33% ดังนั้นจึงเลือกช่องเปิดขนาด 3.05 เมตร x 3.0 เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เล็กที่สุดที่เป็นไปได้มาทำการออกแบบช่องเปิดต่อไป

4. จากกราฟแสดงการกระจายตัวของแสงพบว่า ด้านทิศใต้เมื่อใช้ Light Shelf แบบผสมจะช่วยลดค่าความสว่างและค่า Daylight Factor ที่มากเกินไปบริเวณใกล้หน้าต่างลง และยังทำให้แสงมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Light Shelf แบบผสม มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับช่องเปิดทางด้านทิศใต้

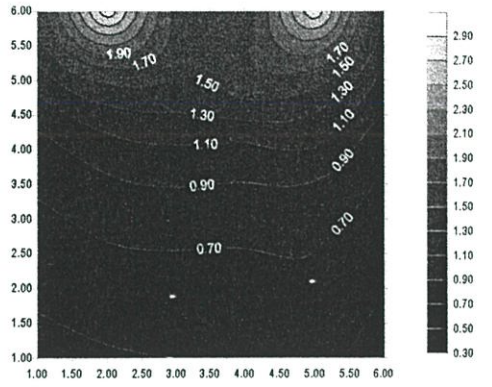
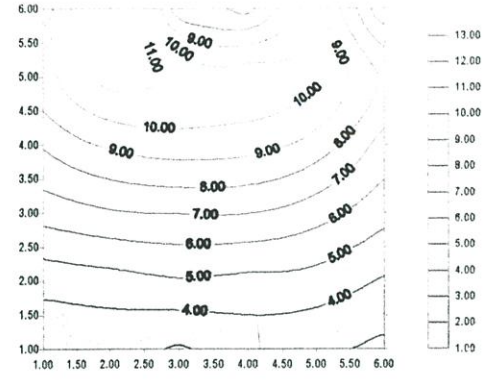
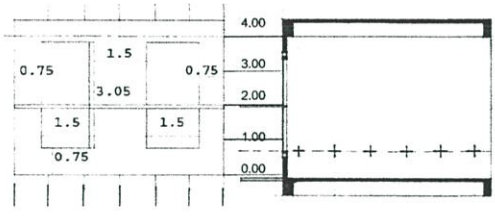
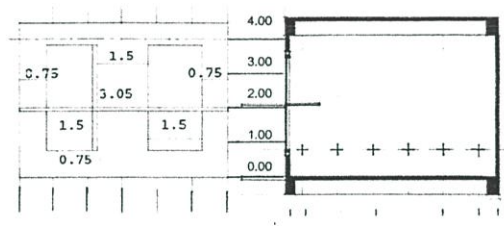
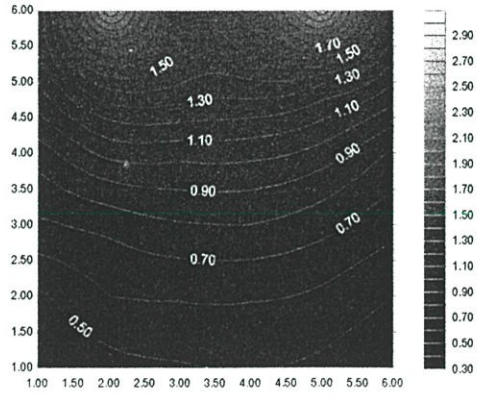
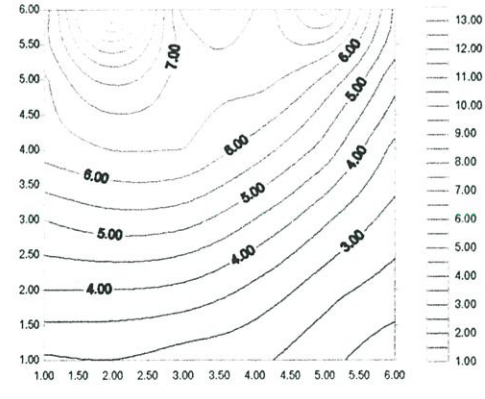
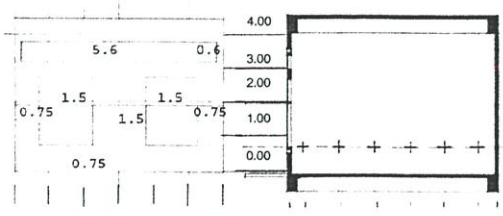
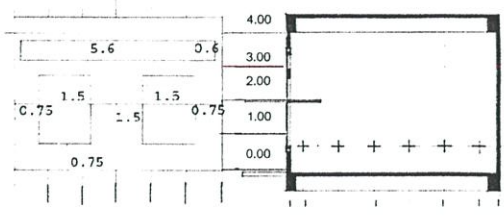
6.3.4 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของชุดการทดลองที่ 4.3.2

จุดประสงค์ : เพื่อหารูปแบบของช่องเปิดที่มีประสิทธิภาพของการกระจายแสงดีที่สุด

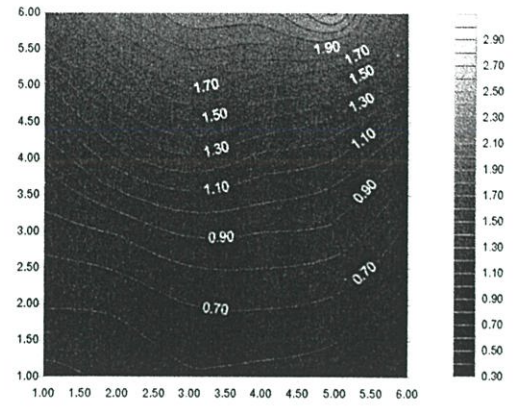
ตารางที่ 6.31 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 1 ช่อง, แบบ 1ช่อง + 1 ช่องบนเมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม

		
Light Shelf ภายนอกช่องเปิดแบบ 1ช่อง หันไปทางทิศเหนือ		Light Shelf แบบผสมช่องเปิดแบบ 1ช่อง หันไปทางทิศใต้
		
22.22%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	97.22%
		
Light Shelf ภายนอกช่องเปิดแบบ 1ช่อง+ 1ช่องบน หันไปทางทิศเหนือ		Light Shelf แบบผสมช่องเปิดแบบ 1ช่อง+ 1ช่องบน หันไปทางทิศใต้
		
8.33%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%

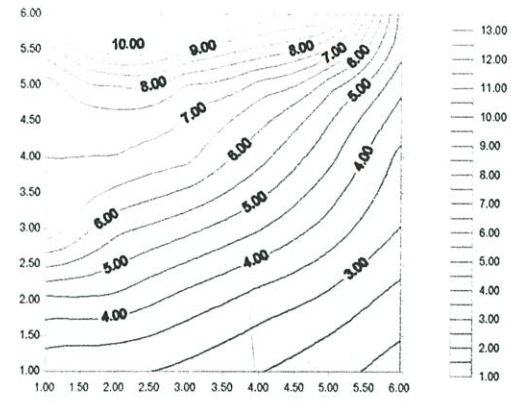
ตารางที่ 6.32 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 2 ช่อง,แบบ 2 ช่อง + 1 ช่องบนเมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Light Shelf ภายนอกช่องเปิดแบบ 2 ช่อง หันไปทางทิศเหนือ</td><td>Light Shelf แบบผสมช่องเปิดแบบ 2 ช่อง หันไปทางทิศใต้</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>22.22%</td><td>พื้นที่ที่ใช้งานได้%</td><td>100%</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Light Shelf ภายนอกช่องเปิดแบบ 2ช่อง+ 1ช่องบน หันไปทางทิศเหนือ</td><td>Light Shelf แบบผสมช่องเปิดแบบ 2ช่อง+ 1ช่องบน หันไปทางทิศใต้</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>13.89%</td><td>พื้นที่ที่ใช้งานได้%</td><td>100%</td></tr>
</table>

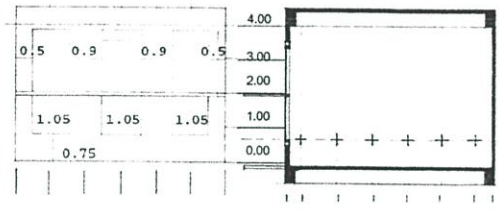
ตารางที่ 6.33 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสง และค่า Daylight Factor ของช่องเปิดแบบ 3 ช่อง,แบบ 3 ช่อง + 1 ช่องบนเมื่อใช้ Light Shelf แบบภายนอกและแบบผสม

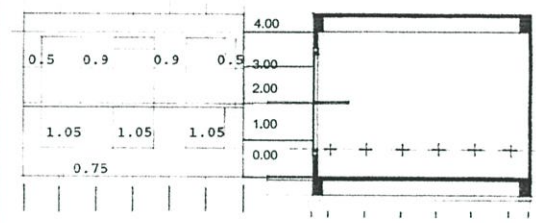


Light Shelf ภายนอกช่องเปิดแบบ 3 ช่อง หันไปทางทิศเหนือ

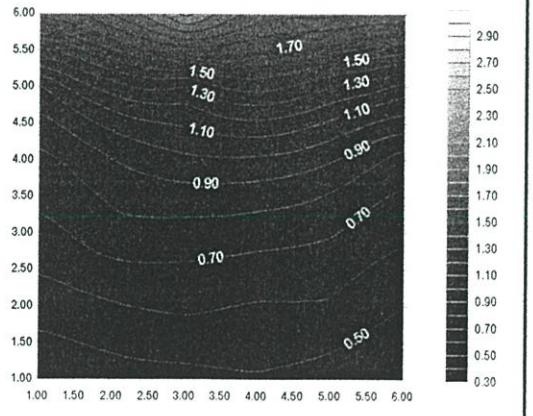


Light Shelf แบบผสมช่องเปิดแบบ 3 ช่อง หันไปทางทิศใต้

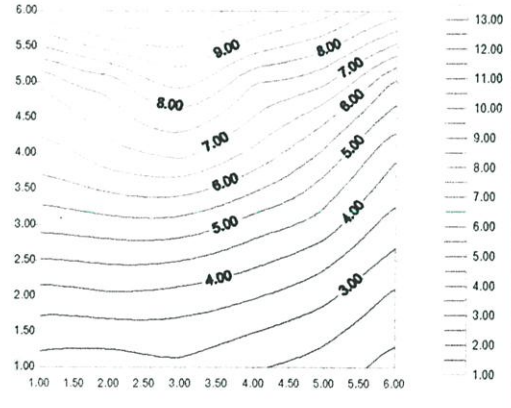




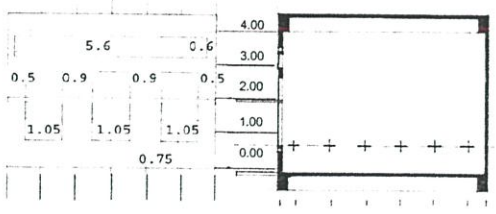
25%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%

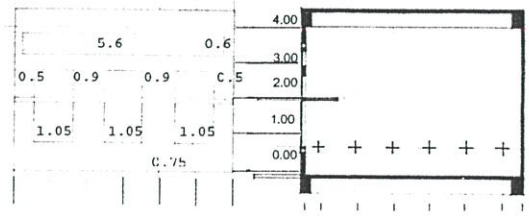


Light Shelf ภายนอกช่องเปิดแบบ 3 ช่อง+ 1ช่องบน หันไปทางทิศเหนือ



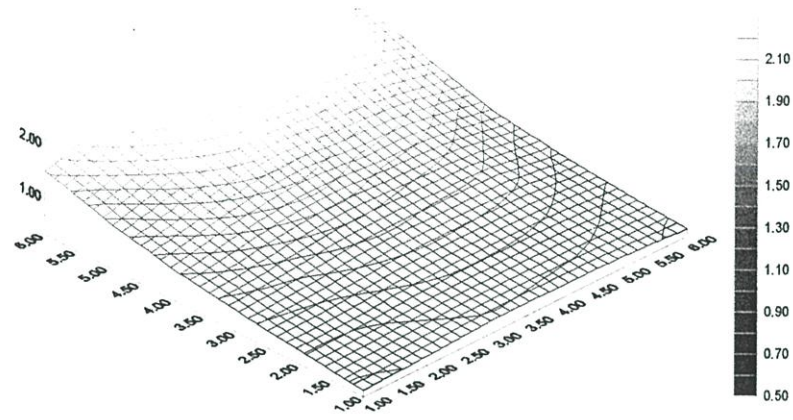
Light Shelf แบบผสมช่องเปิดแบบ 3 ช่อง+ 1ช่องบน หันไปทางทิศใต้





16.67%	พื้นที่ที่ใช้งานได้%	100%

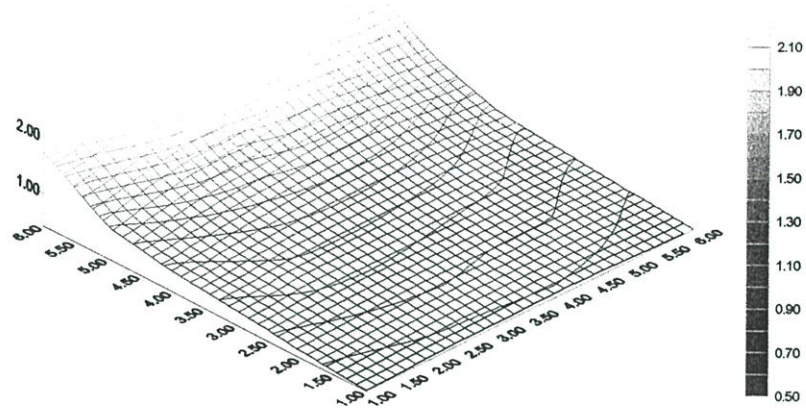
ตารางที่ 6.34 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 3 ช่อง



จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้แต่ละจุดของช่องเปิดแบบ 3 ช่อง

เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 1.52	DF 1.90	DF 2.07	DF 2.05	DF 2.34	DF 1.53
1. < 300 lux	0	0	0	0	0	0
2. 300-500 lux	7.292%	3.125%	1.042%	1.042%	0	7.292%
3. 500-750 lux	11.458%	6.25%	7.292%	7.292%	4.167%	10.417%
4. > 750 lux	81.25%	90.625%	91.67%	91.67%	95.83%	82.292%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 1.52	DF 1.51	DF 1.73	DF 1.59	DF 1.49	DF 1.2
1. < 300 lux	0	0	0	0	0	1.042%
2. 300-500 lux	7.292%	7.292%	4.167%	4.167%	7.292%	11.458%
3. 500-750 lux	11.458%	11.458%	11.458%	11.458%	11.458%	22.917%
4. > 750 lux	81.25%	81.25%	84.375%	84.375%	81.25	64.583%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.92	DF 1.16	DF 1.28	DF 1.16	DF 1.1	DF 0.85
1. < 300 lux	7.292%	3.175%	0	3.125%	4.167%	8.33%
2. 300-500 lux	16.67%	9.373%	9.375%	10.417%	11.458%	20.833%
3. 500-750 lux	54.167%	28.125%	18.75%	26.042%	31.25%	62.5%
4. > 750 lux	21.875%	59.375%	71.875%	60.417%	53.125%	8.33%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.75	DF 0.81	DF 0.92	DF 0.9	DF 0.88	DF 0.68
1. < 300 lux	10.416%	8.33%	7.292%	7.292%	8.33%	13.542%
2. 300-500 lux	32.292%	25%	7.708%	18.75%	18.75%	41.67%
3. 500-750 lux	55.208%	63.54%	53.125%	58.33%	60.417%	44.67%
4. > 750 lux	2.083%	3.125%	21.875%	15.625%	12.5%	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.61	DF 0.62	DF 0.7	DF 0.71	DF 0.68	DF 0.57
1. < 300 lux	18.75%	17.708%	13.542%	12.5%	13.542%	0.57%
2. 300-500 lux	61.458%	56.25%	40.625%	39.583%	41.67%	25%
3. 500-750 lux	19.792%	26.042%	45.833%	47.916%	44.791%	75%
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.47	DF 0.52	DF 0.59	DF 0.57	DF 0.55	DF 0.47
1. < 300 lux	39.583%	28.125%	20.83%	25%	26.04%	38.545%
2. 300-500 lux	60.417%	71.875%	79.167%	75%	73.958%	61.458%
3. 500-750 lux	0	0	0	0	0	0
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0

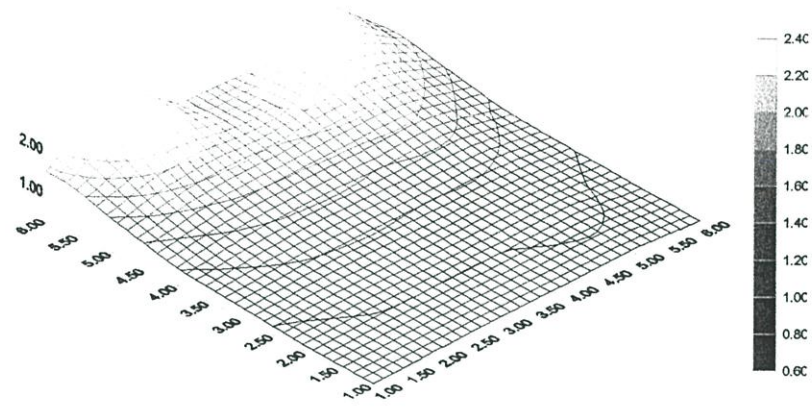
ตารางที่ 6.35 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 3+1 ช่อง



จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้แต่ละจุดของช่องเปิดแบบ 3+1 ช่อง

เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 1.74	DF 1.92	DF 2.24	DF 1.95	DF 1.93	DF 1.88
1. < 300 lux	0	0	0	0	0	0
2. 300-500 lux	4.167%	3.125%	0	2.083%	3.125%	4.167%
3. 500-750 lux	9.375%	6.25%	7.292%	6.25%	6.25%	6.25%
4. > 750 lux	86.458%	90.625%	92.708%	91.67%	90.625%	89.583%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.98	DF 1.26	DF 1.29	DF 1.44	DF 1.3	DF 1.16
1. < 300 lux	4.167%	1.042%	0	0	0	3.125%
2. 300-500 lux	17.708%	9.375%	8.33%	8.33%	8.33%	10.417%
3. 500-750 lux	42.708%	18.75%	19.792%	15.625%	19.792%	26.042%
4. > 750 lux	35.417%	71.875%	71.875%	76.042%	71.875%	60.417%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.77	DF 0.9	DF 0.98	DF 0.98	DF 0.91	DF 0.75
1. < 300 lux	9.375%	7.292%	4.167%	4.167%	7.292%	10.417%
2. 300-500 lux	32.292%	17.708%	17.708%	17.708%	17.708%	32.292%
3. 500-750 lux	56.25%	59.375%	42.708%	42.708%	57.292%	55.208%
4. > 750 lux	2.083%	15.625%	35.417%	35.417%	17.708%	2.083%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.67	DF 0.77	DF 0.76	DF 0.74	DF 0.71	DF 0.62
1. < 300 lux	15.625%	9.375%	9.375%	10.417%	12.5%	17.708%
2. 300-500 lux	41.67%	32.292%	32.292%	34.375%	39.583%	56.25%
3. 500-750 lux	42.708%	56.25%	56.25%	54.167%	47.916%	26.042%
4. > 750 lux	0	2.083%	2.083%	1.042%	0	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.54	DF 0.59	DF 0.62	DF 0.59	DF 0.59	DF 0.5
1. < 300 lux	26.042%	20.83%	17.708%	20.83%	20.83%	29.167%
2. 300-500 lux	70.83%	79.167%	56.25%	65.625%	65.625%	68.75%
3. 500-750 lux	3.125%	0	26.042%	13.542%	13.542%	2.083%
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.42	DF 0.46	DF 0.47	DF 0.49	DF 0.46	DF 0.41
1. < 300 lux	54.167%	41.67%	39.583%	33.33%	41.67%	55.208%
2. 300-500 lux	45.83%	58.33%	60.417%	64.583%	58.33%	44.792%
3. 500-750 lux	0	0	0	1.042%	0	0
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0

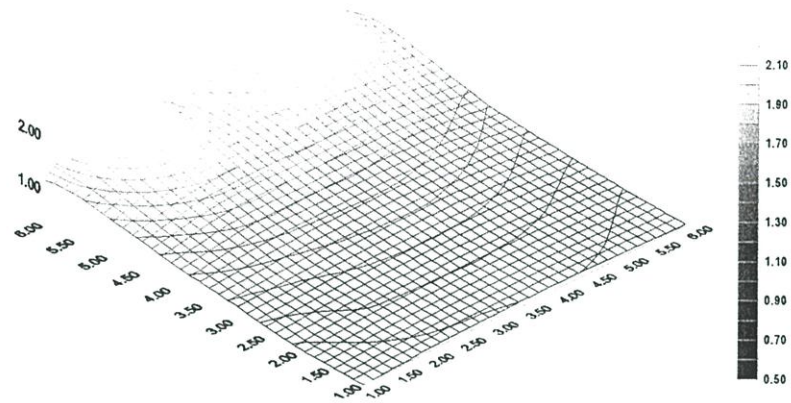
ตารางที่ 6.36 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 2 ช่อง



จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้แต่ละจุดของช่องเปิดแบบ 2 ช่อง

เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 1.54	DF 2.86	DF 1.61	DF 1.53	DF 2.67	DF 1.23
1. < 300 lux	0	0	0	0	0	1.042%
2. 300-500 lux	6.25%	0	4.167%	7.292%	0	10.417%
3. 500-750 lux	11.458%	3.125%	11.458%	10.417%	4.167%	21.875%
4. > 750 lux	82.292%	96.875%	84.375%	82.292%	95.833%	66.67%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 1.17	DF 1.52	DF 1.49	DF 1.67	DF 1.57	DF 1.02
1. < 300 lux	2.083%	0	0	0	0	4.167%
2. 300-500 lux	11.458%	7.292%	7.292%	4.167%	4.167%	13.542%
3. 500-750 lux	27.083%	11.458%	11.458%	12.5%	13.542%	38.542%
4. > 750 lux	59.375%	81.25%	81.25%	83.33%	82.292%	43.75%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.8	DF 1.01	DF 1.07	DF 1.03	DF 1.09	DF 0.72
1. < 300 lux	8.33%	4.167%	4.167%	4.167%	4.167%	12.5%
2. 300-500 lux	27.083%	13.542%	11.458%	13.542%	11.458%	35.417%
3. 500-750 lux	61.458%	37.5%	35.417%	37.5%	32.292%	51.042%
4. > 750 lux	3.125%	44.792%	48.958%	44.792%	47.917%	1.042%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.66	DF 0.76	DF 0.79	DF 0.77	DF 0.76	DF 0.61
1. < 300 lux	15.625%	9.375%	8.33%	9.375%	9.375%	18.75%
2. 300-500 lux	48.958%	32.292%	29.167%	32.292%	32.292%	61.458%
3. 500-750 lux	35.417%	56.25%	59.375%	56.25%	56.25%	19.792%
4. > 750 lux	0	2.083%	3.125%	2.083%	2.083%	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.53	DF 0.61	DF 0.61	DF 0.61	DF 0.68	DF 0.49
1. < 300 lux	27.083%	18.75%	18.75%	18.75%	13.542%	33.33%
2. 300-500 lux	69.792%	61.458%	61.458%	61.458%	41.67%	64.583%
3. 500-750 lux	3.125%	19.792%	19.792%	19.792%	44.792%	1.042%
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.44	DF 0.48	DF 0.5	DF 0.51	DF 0.55	DF 0.42
1. < 300 lux	46.875%	35.417%	29.167%	29.167%	25%	54.167%
2. 300-500 lux	53.125%	63.542%	68.75%	68.75%	68.75%	45.83%
3. 500-750 lux	0	1.042%	2.083%	2.083%	6.25%	0
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0

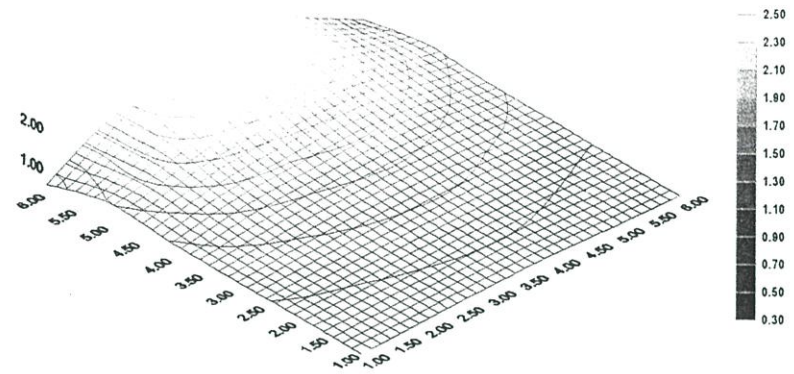
ตารางที่ 6.37 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 2+1 ช่อง



จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้แต่ละจุดของช่องเปิดแบบ 2+1 ช่อง

เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 1.21	DF 2.3	DF 1.46	DF 1.63	DF 2.28	DF 1.33
1. < 300 lux	1.042%	0	0	0	0	0
2. 300-500 lux	9.375%	0	8.33%	4.167%	0	8.33%
3. 500-750 lux	23.958%	7.292%	14.583%	11.458%	7.292%	17.708%
4. > 750 lux	65.625%	92.708%	77.083%	84.375%	92.708%	73.958%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 1.1	DF 1.45	DF 1.41	DF 1.39	DF 1.31	DF 1.11
1. < 300 lux	4.167%	0	0	0	0	4.167%
2. 300-500 lux	12.5%	8.33%	8.33%	8.33%	8.335	12.5%
3. 500-750 lux	30.208%	14.583%	16.647%	16.67%	19.7925	29.167%
4. > 750 lux	53.125%	77.083%	75%	75%	71.875%	54.167%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.84	DF 1.03	DF 1.03	DF 1.03	DF 0.96	DF 0.78
1. < 300 lux	8.33%	4.167%	4.167%	4.167%	4.167%	8.33%
2. 300-500 lux	20.83%	13.542%	11.458%	13.542%	19.792%	31.25%
3. 500-750 lux	64.583%	37.5%	35.417%	37.5%	45.8335	55.292%
4. > 750 lux	6.25%	44.792%	48.958%	44.792%	30.208%	3.125%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.68	DF 0.73	DF 0.79	DF 0.8	DF 0.74	DF 0.63
1. < 300 lux	13.542%	10.4175	8.33%	8.33%	10.4175	14.647%
2. 300-500 lux	41.67%	37.5%	29.167%	27.083%	34.375%	55.208%
3. 500-750 lux	44.792%	52.0835	59.375%	61.458%	54.1675	28.1255
4. > 750 lux	0	0	3.125%	3.125%	1.042%	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.48	DF 0.6	DF 0.61	DF 0.61	DF 0.58	DF 0.5
1. < 300 lux	35.417%	18.75%	18.75%	18.75%	22.917%	29.167%
2. 300-500 lux	63.5425	65.625%	61.458%	61.458%	67.708%	68.75%
3. 500-750 lux	1.0425	15.625%	19.792%	19.792%	9.375%	2.083%
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.41	DF 0.47	DF 0.49	DF 0.51	DF 0.48	DF 0.42
1. < 300 lux	55.208%	39.583%	33.33%	29.167%	35.417%	54.167%
2. 300-500 lux	44.792%	60.417%	64.583%	68.75%	63.542%	45.83%
3. 500-750 lux	0	0	1.042%	2.083%	1.042%	0
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0

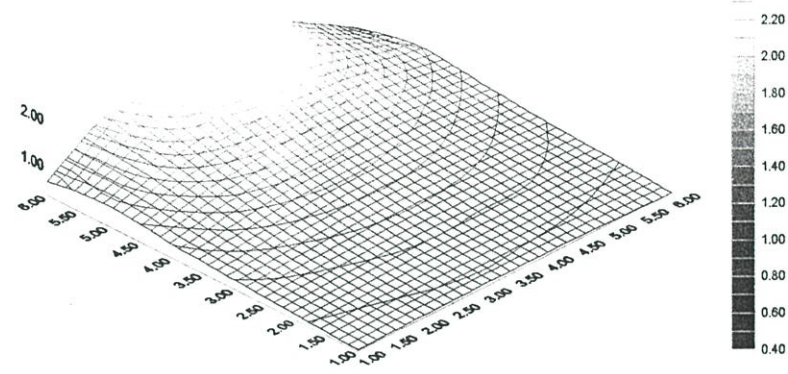
ตารางที่ 6.38 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 1 ช่อง



จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้แต่ละจุดของช่องเปิดแบบ 1 ช่อง

เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.66	DF 1.58	DF 2.86	DF 2.89	DF 1.7	DF 0.84
1. < 300 lux	15.625%	0	0	0	0	8.33%
2. 300-500 lux	48.958%	4.167%	0	0	4.167%	20.833%
3. 500-750 lux	35.417%	12.5%	3.125%	2.083%	9.375%	64.583%
4. > 750 lux	0	83.33%	96.875%	97.917%	86.458%	6.25%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 1.01	DF 1.5	DF 1.72	DF 1.76	DF 1.47	DF 1.05
1. < 300 lux	4.167%	0	0	0	0	4.167%
2. 300-500 lux	13.542%	7.292%	4.167%	4.167%	8.33%	12.5%
3. 500-750 lux	37.5%	11.458%	9.3755	9.375%	13.542%	37.5%
4. > 750 lux	44.792%	81.25%	86.4585	86.458%	78.125%	45.833%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.78	DF 1.08	DF 1.15	DF 1.23	DF 1.1	DF 0.83
1. < 300 lux	8.33%	4.167%	3.125%	1.042%	4.167%	8.33%
2. 300-500 lux	31.25%	11.458%	10.417%	10.417%	11.458%	20.83%
3. 500-750 lux	55.292%	32.292%	28.125%	21.875%	31.25%	64.583%
4. > 750 lux	3.125%	52.083%	58.33%	66.67%	53.125%	6.25%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.66	DF 0.77	DF 0.87	DF 0.9	DF 0.8	DF 0.7
1. < 300 lux	15.625%	9.375%	8.33%	7.292%	8.33%	13.542%
2. 300-500 lux	48.958%	32.292%	20.83%	17.708%	27.083%	40.625%
3. 500-750 lux	35.417%	56.25%	61.458%	59.375%	61.458%	45.83%
4. > 750 lux	0	2.083%	9.375%	15.625%	3.125%	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.56	DF 0.6	DF 0.65	DF 0.66	DF 0.61	DF 0.54
1. < 300 lux	25%	18.75%	15.625%	15.625%	18.75%	26.042%
2. 300-500 lux	69.792%	65.625%	48.958%	48.958%	61.458%	70.83%
3. 500-750 lux	5.208%	15.625%	35.417%	35.417%	19.792%	3.125%
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.42	DF 0.48	DF 0.51	DF 0.53	DF 0.48	DF 0.42
1. < 300 lux	54.167%	35.417%	29.167%	27.083%	35.417%	54.167%
2. 300-500 lux	45.83%	63.542%	68.75%	69.792%	63.542%	45.83%
3. 500-750 lux	0	1.042%	2.083%	3.125%	1.042%	0
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 6.39 แสดงจำนวนเปอร์เซนต์ที่ใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ของช่องเปิดแบบ 1+1 ช่อง



จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้แต่ละจุดของช่องเปิดแบบ 1+1 ช่อง

เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.7	DF 1.59	DF 2.31	DF 2.53	DF 1.43	DF 0.61
1. < 300 lux	13.542%	0	0	0	0	18.75%
2. 300-500 lux	40.625%	40.167%	0	0	8.33%	61.458%
3. 500-750 lux	45.83%	11.458%	6.25%	4.167%	15.625%	19.792%
4. > 750 lux	0	84.375%	93.75%	95.83%	76.042%	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.86	DF 1.32	DF 1.49	DF 1.48	DF 1.25	DF 0.9
1. < 300 lux	8.33%	0	0	0	1.042%	7.292%
2. 300-500 lux	9.792%	8.33%	7.292%	7.292%	9.375%	18.75%
3. 500-750 lux	63.542%	18.75%	11.458%	13.542%	18.75%	58.33%
4. > 750 lux	8.33%	72.917%	81.25%	79.167%	60.417%	15.625%
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.7	DF 0.97	DF 1.06	DF 1.03	DF 0.91	DF 0.73
1. < 300 lux	13.542%	4.167%	4.167%	4.167%	7.292%	10.417%
2. 300-500 lux	40.625%	18.75%	11.458%	13.542%	17.708%	37.5%
3. 500-750 lux	45.83%	42.708%	36.458%	37.5%	57.292%	52.083%
4. > 750 lux	0	34.375%	47.917%	44.792%	17.708%	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.6	DF 0.7	DF 0.77	DF 0.77	DF 0.71	DF 0.6
1. < 300 lux	18.75%	13.542%	9.375%	9.375%	12.5%	18.75%
2. 300-500 lux	65.625%	40.625%	32.292%	32.292%	39.583%	65.625%
3. 500-750 lux	15.625%	45.83%	56.25%	56.25%	47.916%	15.625%
4. > 750 lux	0	0	2.083%	2.083%	0	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.52	DF 0.55	DF 0.59	DF 0.58	DF 0.56	DF 0.542
1. < 300 lux	28.125%	26.04%	20.83%	22.917%	25%	28.125%
2. 300-500 lux	71.875%	73.958%	79.167%	9.375%	69.792%	71.875%
3. 500-750 lux	0	0	0	67.708%	5.208%	0
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0
เกณฑ์ค่าความสว่าง (Lux)	DF 0.43	DF 0.46	DF 0.48	DF 0.47	DF 0.45	DF 0.4
1. < 300 lux	42.708%	41.67%	35.417%	39.583%	42.708%	60.417%
2. 300-500 lux	57.292%	58.33%	63.542%	60.417%	57.292%	39.583%
3. 500-750 lux	0	0	1.042%	0	0	0
4. > 750 lux	0	0	0	0	0	0

จากตารางที่ 6.22,6.23 และ6.24 แสดงกราฟการกระจายตัวของแสงและค่า Daylight Factor จากเกณฑ์1.5 % เพื่อหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมพบว่า

1. การแบ่งช่องเปิด (ขนาดพื้นที่ช่องเปิดเท่ากันคือ 38.13% ของผนัง) ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง มีการกระจายตัวของแสงดีที่สุด แบบ 2 ช่องให้ความสว่างกระจายเป็น 2 จุด ณ.ตำแหน่งที่เป็นช่องเปิด ส่วนแบบ 1 ช่อง มีการกระจายตัวของแสงน้อยที่สุด โดยความสว่างจะรวมอยู่นริเวณกึ่งกลางช่องเปิดเท่านั้น

2. การเจาะช่องแสงแบบยาวตลอดแนวไว้ด้านบน ไม่ช่วยเพิ่มค่าความสว่างภายในให้มากขึ้น สังเกตุได้จากค่า Daylight Factor ในระยะที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร และ 4.5 เมตร ของช่องเปิดที่ทำการทดลอง ไม่ได้เพิ่มขึ้น

3. เมื่อพิจารณาพื้นที่ที่ใช้งานได้จากเกณฑ์มาตราฐาน Daylight Factor 1.5% พบว่า

- ในด้านทิศเหนือช่องเปิดแบบ 3 ช่องมีพื้นที่ใช้งานได้ 25% ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งมากที่สุด ส่วนแบบ 2 ช่องมีพื้นที่ใช้งานได้ 22.22% และแบบที่ 1 22.22%
- ในด้านทิศใต้ สามารถใช้งานพื้นที่ได้ทั้งหมดได้ทั้งหมด

บทที่ 7
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการออกแบบช่องเปิดด้านข้าง (Side Lighting) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องสมุด ต้องคำนึงถึงการป้องกันแสงแดดควบคู่กันไปด้วย การวิจัยนี้จึงประยุกต์การใช้หิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) เพื่อช่วยเพิ่มระดับความสว่างและประสิทธิภาพในการกระจายแสงเข้าสู่ภายในห้องสมุดอีกทั้งยังช่วยป้องกันแดดในเวลาเดียวกัน โดยใช้เกณฑ์มาตราฐานค่าการส่องสว่างของ CIE เป็นแนวทางในการพิจารณา

7.1 สรุปผลจากแต่ละหมวดการทดลอง

7.1.1 **หมวดที่** 1 เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf) ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกระจายแสงให้ได้ตามเกณฑ์มาตราฐานที่กำหนด จากการทดลองสรุปได้ว่า

<u>รูปแบบ</u>

- รูปแบบที่ดีที่สุดของช่องเปิดด้านทิศเหนือคือ Light Shelf แบบภายนอกระยะยื่น 1.20 เมตร
- รูปแบบที่ดีที่สุดของช่องเปิดด้านทิศใต้คือ Light Shelf แบบผสม ภายนอกระยะยื่น 1.20 เมตร ภายในระยะยื่น 1.00 เมตร

<u>วัสดุ</u>

- วัสดุที่เหมาะสมสำหรับทิศเหนือคืออลูมิเนียมที่มีค่าการสะท้อน 71.97%
- วัสดุที่เหมาะสมสำหรับทิศใต้คือ photoboard ที่มีค่าการสะท้อน 58.83%

<u>มุมเอียง</u>

- มุมเอียงที่เหมาะสมสำหรับทิศเหนือคือ มุมเอียง 30 องศา
- มุมเอียงที่เหมาะสมสำหรับทิศใต้คือ มุมตรง 90 องศา

7.1.2 **หมวดที่** 2 ระดับความสูงของเพดานและความสูงของ Light Shelf ที่เหมาะสมคือ ระดับความสูงเพดาน 4.00 เมตร และ Light Shelf สูงจากพื้น 2.00 เมตร จะช่วยเพิ่มระดับความสว่างภายในได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ ที่ทำการทดลอง

7.1.3 **หมวดที่** 3 การทดสอบคุณสมบัติของช่องเปิดที่เหมาะสมกับห้องสมุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้

<u>ขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม</u>

- ช่องเปิดพื้นที่ 38.125% ของผนังด้านช่องเปิดเป็นขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับทิศใต้

- ช่องเปิดพื้นที่ 38.125% - 50.83% ของผนังด้านช่องเปิดเป็นขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับทิศเหนือ

<u>รูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสม</u>

รูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสมทั้งทิศเหนือและใต้คือ ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง

7.1.4 **หมวดที่** 4 การทดสอบเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบโดย ด้านทิศเหนือใช้ Light Shelf แบบภายนอกร่วมกับช่องเปิดแบบ 3 ช่องขนาดช่องละ 1.05 เมตร x 3.05 เมตร ส่วนทิศใต้ใช้ Light Shelf แบบผสมสรุปได้ว่า

1. พื้นที่ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเปิดไฟ

<u>ทิศเหนือ</u>

เมื่อพิจารณาความส่วางภายในที่มากกว่า 500 Lux

- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร ไม่มีส่วนที่สามารถใช้งานได้
- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 4.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง19.792% - 47.916% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด
- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 3.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 44.79% - 75% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด
- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 2.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 70.83% - 90.625% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด
- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 1.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 87.5% - 95.833% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด
- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 0.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 92.709% - 100% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด

<u>ทิศใต้</u> สามารถใช้งานได้ทั้งหมด

2. พื้นที่ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเปิดไฟ

<u>ทิศเหนือ</u>

เมื่อพิจารณาความสว่างภายในที่ 300 – 500 – 750 Lux

- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 60.417% - 79.167% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด
- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 4.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 81.25% - 87.499% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด
- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 3.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 82.708% - 92.705% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด

- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 2.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 91.663% - 100% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด

- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 1.5 เมตร มีเวลาที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง98.958% - 100% เมื่อเทียบกับเวลาการใช้งานทั้งหมด

- บริเวณที่ห่างจากหน้าต่าง 0.5 เมตร สามารถใช้งานได้ตลอดช่วงเวลาใช้งาน

ทิศใต้

สามารถใช้งานได้ตลอดทุกช่วงเวลา

3. จากการนำค่า Daylight Factor เปลี่ยนกับไปเป็นค่าความสว่าง โดยนำไปเทียบกับค่าความส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนที่เก็บข้อมูลโดย สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) แล้วใช้เกณฑ์ค่าความสว่างของ CIE ในการพิจารณาสรุปได้ว่า

- บริเวณที่มีค่าความสว่างน้อยห่างจากหน้าต่าง 5.5 เมตร ถึง 3.5 เมตรมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 300 – 500 Lux ควรเป็นพื้นที่ที่ใช้เป็นหิ้งหนังสือ หรือเคาร์เตอร์

- บริเวณที่มีค่าความสว่างมากห่างจากหน้าต่าง 2.5 เมตร ถึง 0.5 เมตรมีค่าความมากว่า 500 Lux ควรเป็นพื้นที่ที่ใช้เป็นโต๊ะอ่านหนังสือ

7.2 สรุปผลจาก 4หมวดการทดลอง

จากหมวดการทดลองทั้ง 3 ชุดสรุปได้ว่า

1. ทิศเหนือควรใช้ Light Shelf แบบภายนอก ระยะยื่น 1.20 เมตร มุมเอียง 30 องศา วัสดุเป็นอลูมิเนียม มีค่าการสะท้อน 71.97% ทิศใต้ควรใช้ Light Shelf แบบผสม แบบตรง ภายนอกระยะยื่น 1.20 เมตร ภายในระยะยื่น 1.00 เมตร

2. ขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับทิศเหนือควรมีค่าอยู่ระหว่าง 38.125% - 50.83% ของผนังด้านช่องเปิด ส่วนทิศใต้ไม่ควรเกิน 38.125%

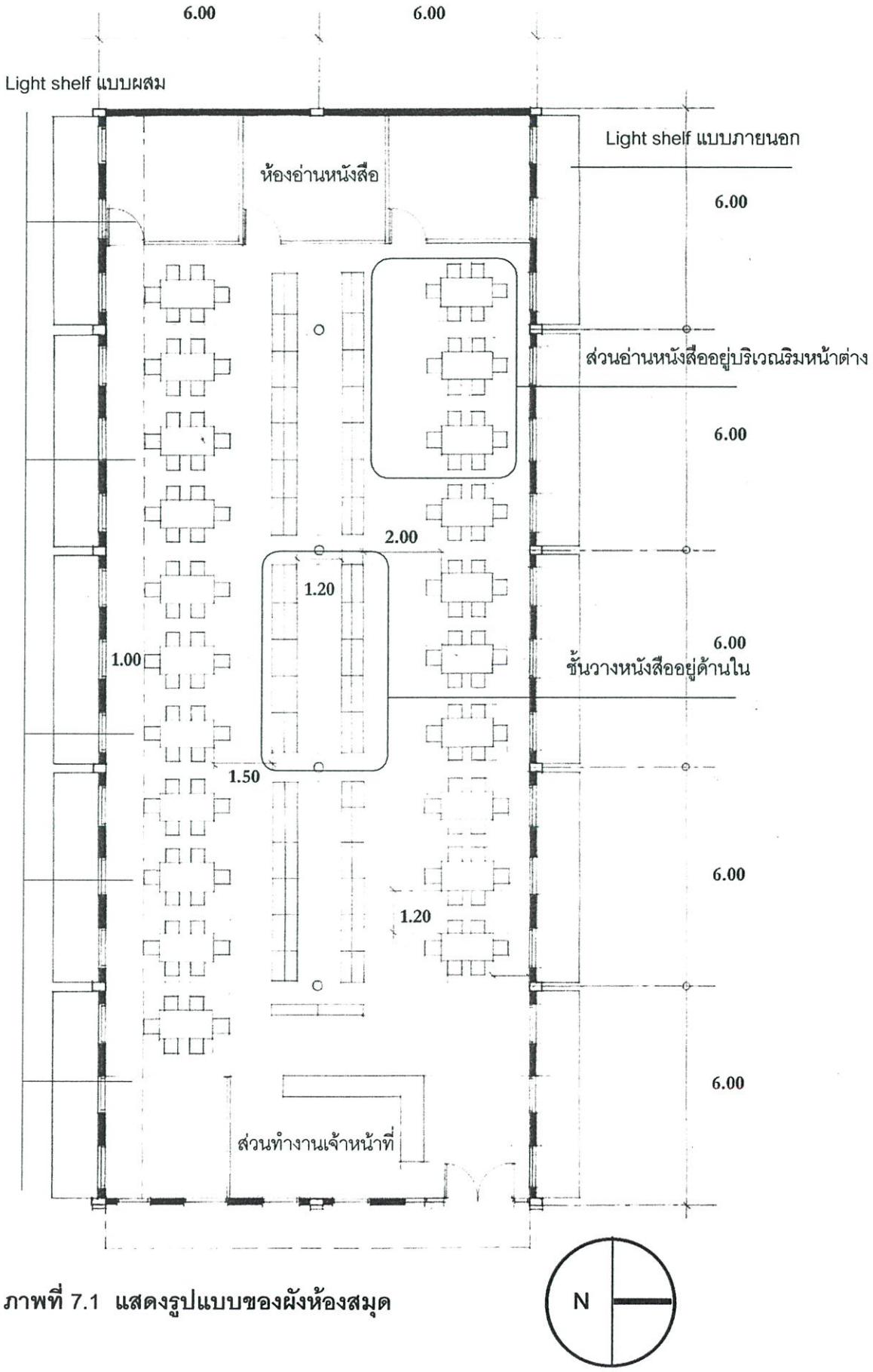
3. การเจาะช่องเปิดแบบ 3 ช่องมีความเหมาะสมทั้งทิศเหนือ และใต้

4. สภาพของเมฆและท้องฟ้ามีผลโดยตรงต่อค่าความสว่าง โดยเมฆที่ลอยต่ำมีผลให้ความสว่างลดลง ส่วนเมฆที่ลอยสูงและอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดจะช่วยให้ความสว่างเพิ่มขึ้น

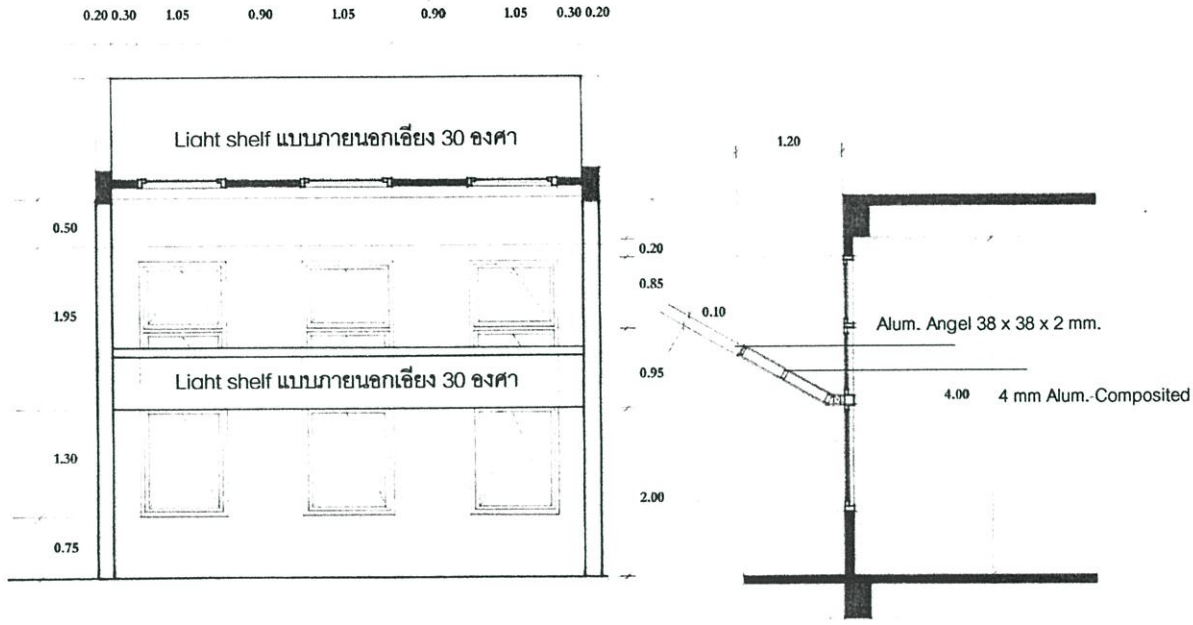
5. ช่องเปิดด้านทิศใต้มีค่าความสว่างมากกว่าทิศเหนือ

6. รูปทรงของห้องสมุดที่เหมาะสมควรมีลักษณะแคบ และยาว ความกว้างของห้องสมุดไม่ควรเกิน 12 เมตร เพราะถ้ามีความกว้างมากเกินไปแสงจะเข้าไปไม่ถึงด้านใน

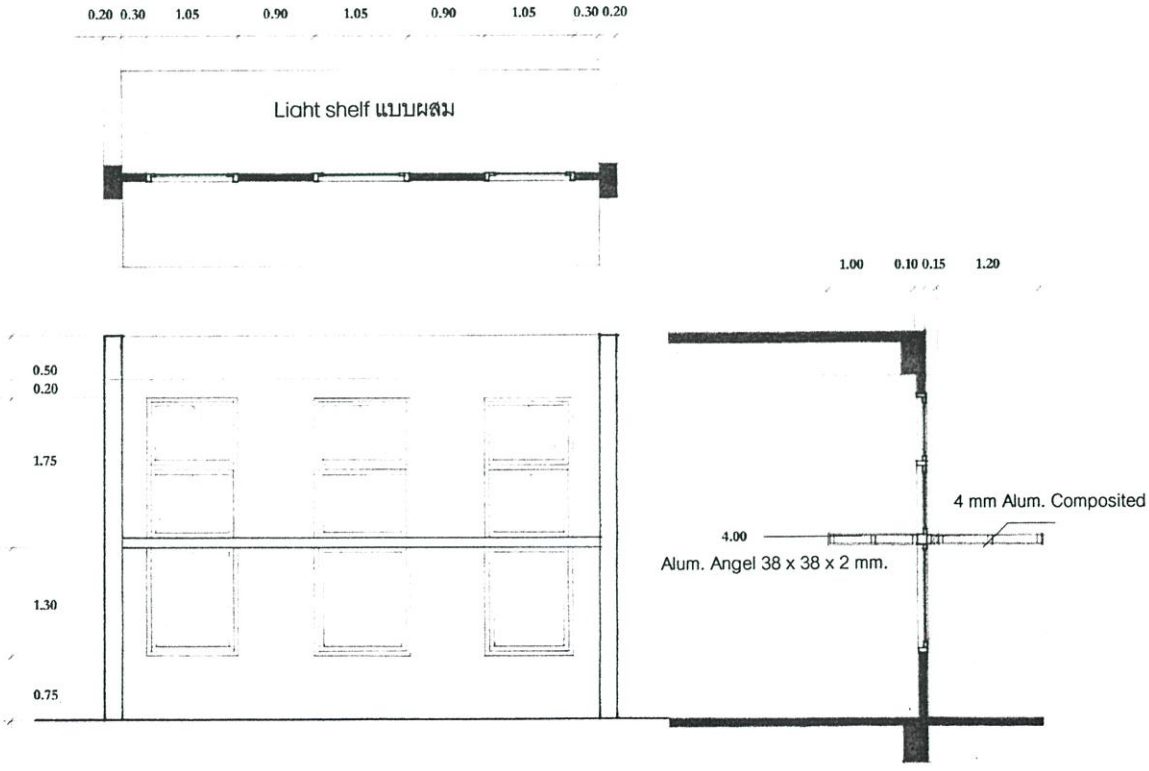
7.3 รูปแบบของผังเสนอแนะ



ภาพที่ 7.1 แสดงรูปแบบของผังห้องสมุด



ภาพที่ 7.2 แสดงแบบขยายของหน้าต่างและรูปทรงของ Light Shelf ที่เลือกใช้ด้านทิศเหนือ



ภาพที่ 7.3 แสดงแบบขยายของหน้าต่างและรูปทรงของ Light Shelf ที่เลือกใช้ด้านทิศใต้

7.4 ข้อเสนอแนะ

7.4.1 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยและการนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในงานออกแบบ

1. ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองทั้งทิศเหนือและทิศใต้ เพราะการที่จะนำรูปแบบช่องเปิดไปใช้งานจริงนั้น หน้าต่างสามารถเป็นได้ทั้งทิศเหนือและทิศใต้

ด้านทิศเหนือ การใช้ช่องเปิดแบบ 3 ช่อง ร่วมกับLight Shelf แบบภายนอกมุมเอียง 30 องศาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายแสงได้ตลอดทั้งปี

ด้านทิศใต้ ขนาดพื้นที่ของช่องเปิดไม่ควรมากไปกว่า 38.125% ของผนัง และการใช้ร่วมกับ Light Shelf แบบผสมที่วัสดุผิวมีค่าการสะท้อนที่ต่ำ 58.83% จะช่วยให้การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติทางทิศใต้เป็นไปได้มากขึ้น

2. จากผลของการวิจัยสามารถทำให้เรากำหนดส่วนที่จะใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ถ้าใช้รูปแบบช่องเปิด, Light Shelf ร่วมกับฝ้าเพดานที่สามารถกระจายแสงได้มากกว่านี้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้มากขึ้น

7.4.2 อุปสรรคและแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป

1. ควรเก็บข้อมูลในสภาพท้องฟ้าจริงทุกลักษณะในแต่ละเดือนซึ่งมีตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้จะมีความครบถ้วนและชัดเจนใกล้เคียงความจริง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

2. ควรศึกษาปัจจัยทางกายภาพอื่นๆ ของช่องเปิดที่นอกเหนือจากการทดลอง เนื่องจากมีเวลาจำกัดทำให้ผู้วิจัยไม่สามาถทดสอบตัวแปรของรูปแบบช่องเปิดได้ทั้งหมด

3. ควรมีการศึกษาการใช้ช่องเปิดร่วมกับ Light Shelf และเพดานแบบต่างๆ ให้มีความสัมพันธ์กัน เพราะยังมีรูปแบบ Light Shelf และเพดานแบบต่างๆอีกมากที่ยังไม่ได้ทำการทดสอบ เช่น ช่องเปิดแบบ 3ช่อง กับ Light Shelf แบบโค้งและฝ้าเพดานรูปทรงโค้งในรัศมีที่ต่างๆกัน

4. ข้อมูลที่ใช้อ้างอิงเป็นเป็นการคำนวณหาค่าเฉลี่ยทั้งปีจากข้อมูลสถิติปริมาณแสงสว่างภายนอกปี 2542 - 2543 จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) หากเก็บข้อมูลจริงทั้งปี และมีข้อมูลค่าความสว่างที่ปัจจุบันจะทำให้งานที่ได้มีความถูกต้องสมบูรณ์ขึ้น

5. ความคลาดเคลื่อนจากการเก็บข้อมูล เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าคือ Lux meter ซึ่งทำให้ต้องวัดค่าที่ละจุดซึ่งต้องใช้เวลาพอประมาณในการเก็บค่าซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดแสงบ้าง ควรใช้เครื่องมือที่สามารถวัดพร้อมกันทุกๆ จุดได้

7. อิทธิพลของเมฆที่มีผลต่อค่าความสว่างภายในเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของเมฆว่าให้ผลเป็นบวกคือ ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น หรือให้ผลเป็นลบ ค่าความสว่างลดลง

บรรณานุกรม

1. ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, **เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพฯ** : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, 2533, **การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ** : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น
3. พิบูลย์ ดิษฐอุดม, 2537, **การออกแบบระบบแสงสว่าง.** Illuminance Engineering. **กรุงเทพฯ** : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น
4. เรณู ด่านกุล, **การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในสถานศึกษา,** วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545
5. Chirarattananon, Surapong and Chaiwiwatworakul, Pipat. 2001. Daylight Availability Models for Global and Diffuse Horizontal Illuminance and Irrediance and Models for Sky Luminance for Bangkok. 1st ed. Pathum Thani. School of Environment Resources and Development Asian Institute of Technolgy.
6. Robbin, Claude L. 1986. Daylighting Design & Analysis. New york : Van Nostrand Reinhold Company.
7. M. David Egan and Victor Olgyay. 2002. Architectural Lighting. New york : Mc Graw – Hill
8. Andras Majoros. 1998. Daylighting, Brisbane : The University of Queenland Printery
9. M. David Egan, 1983. Concepts in Architectural lighting. New york : Mc Graw – Hill
10. Benjamin H.Evans, 1981. Daylight in Architecture, Architectural Record Book. New york : Mc Graw – Hill
11. Moore, Fuller, 1991. Concepts and Practice of Architectural Daylight/Fuller Moore. Van Nostrand Reinhold Company
12. Guzowski Mary. 2000. Daylighting for sustainable design. New york : Mc Graw – Hill
13. Baker, Torquil, 1977. Concept in Practice Lighting : Lighting Design in Architecture. London, B.T. Batsford
14. Ander, Gregg.D. 1995. Daylighting Performance and Design. New york : Van Nostrand
15. Maggie Toy, 1997. Light in Architecture. London : Acadamy Groups.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายวีร์ กังวานกิตติ
วัน เดือน ปีเกิด	14 ธันวาคม 2517
ที่อยู่ปัจจุบัน	11 ซอย 1 ถนน เสรี 4 หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10250
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2542 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
	พ.ศ. 2545 ได้รับทุนวิจัยจาก สำนักงานนโยบายและพลังงาน กระทรวงพลังงาน
	พ.ศ. 2547 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง